รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report)

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนา
กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ประจำงวดที่ 4

“โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาด หรือระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย”

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (สำนักงาน กสทช.)

รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report)

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนา
กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ประจำงวดที่ 4

“โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย”

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (สำนักงาน กสทช.)

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการส่งมอบงานงวดที่ 4 โดยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้จัดทำ **รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report)** โดยมีเนื้อหารายงานความหน้าฉบับที่ 2 และรายละเอียดรายงานเพิ่มเติม ประกอบด้วย ข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ผลการเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง และผลการดำเนินงานฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช. ตามขอบเขตการดำเนินงานของ **“โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย”** ตามสัญญาเลขที่ B2-2-11/58 ลงวันที่ 10 เมษายน 2560 ให้กับ กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ภายใน 365 วัน (สามร้อยหกสิบห้าวัน) นับถัดจากได้ทำสัญญาการรับทุนวิจัยและพัฒนา (วันที่ 10 เมษายน 2561) ดังรายละเอียดในแต่ละส่วนของรายงาน

10 เมษายน 2561

สารบัญ

หน้าที่

ตอนที่ 1: การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1 - 1

บทที่ 2 การใช้งานคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ..... 2 - 1

2.1 ประเทศเนเธอร์แลนด์ ..... 2 - 2

2.2 ประเทศนอร์เวย์ ..... 2 - 4

2.3 ประเทศสหรัฐอเมริกา ..... 2 - 7

2.4 ประเทศจีน ..... 2 - 10

2.5 ประเทศเวียดนาม ..... 2 - 12

2.6 ประเทศเกาหลีใต้ ..... 2 - 15

2.7 ประเทศสิงคโปร์ ..... 2 - 19

บทที่ 3 วิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ..... 3 - 1

3.1 ประเทศเนเธอร์แลนด์ ..... 3 - 1

3.2 ประเทศนอร์เวย์ ..... 3 - 4

3.3 ประเทศสหรัฐอเมริกา ..... 3 - 5

3.4 ประเทศจีน ..... 3 - 5

3.5 ประเทศเวียดนาม ..... 3 - 8

3.6 ประเทศเกาหลีใต้ ..... 3 - 10

3.7 ประเทศสิงคโปร์ ..... 3 - 11

บทที่ 4 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ หรือควรให้เป็นย่านความถี่เฉพาะ ..... 4 - 1

4.1 สถาปัตยกรรมอ้างอิงของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ..... 4 - 1

4.2 การเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ..... 4 - 3

4.3 การเปรียบเทียบการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน ..... 4 - 9

4.4 สรุปข้อดี-ข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ ..... 4 - 14

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ ..... 5 - 1

5.1 สรุป ..... 5 - 1

5.2 ข้อเสนอแนะ ..... 5 - 3

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

ตอนที่ 2: ความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย

บทที่ 6 ย่านความถี่สำหรับการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 6 - 1
6.1 สถาปัตยกรรมโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 6 - 1
6.2 ความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 6 - 5
6.3 ความท้าทายด้านโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 6 - 18

บทที่ 7 ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน 7 - 1
7.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนระหว่างคลื่นความถี่ 450 MHz กับ 900 MHz 7 - 1
7.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนระหว่างเทคโนโลยี 3G/GPRS/RF Mesh/PLC 7 - 13
7.3 สรุปผลการศึกษา 7 - 14

บทที่ 8 ผลการวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 8 - 1
8.1 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 8 - 1
8.2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 8 - 9
8.3 การไฟฟ้านครหลวง 8 - 21
8.4 วิเคราะห์ความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 8 - 34

บทที่ 9 แนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 9 - 1
9.1 กรณีคลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 9 - 1
9.2 การจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด 9 - 2

บทที่ 10 สรุปและข้อเสนอแนะ 10 - 1
10.1 สรุป 10 - 1
10.2 ข้อเสนอแนะ 10 - 7

ตอนที่ 3: ข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย

บทที่ 11 แนวทางการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย 11 - 1
11.1 การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 11 - 11
11.2 การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed 11 - 13
11.3 การใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคม 11 - 15

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

เอกสารอ้างอิง ..... **อ - 1**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก มาตรฐานของระบบสื่อสารที่นิยมใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ..... ก - 1

ภาคผนวก ข สรุปผลการศึกษาการครอบครองคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในย่านความถี่ต่าง ๆ ของประเทศเนเธอร์แลนด์ ..... ข - 1

ตอนที่ 1

การใช้คลื่นความถี่
สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ

บทที่ 1
บทนำ

กระทรวงพลังงาน ได้จัดทำแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 ซึ่งวางกรอบทิศทางการพัฒนานโยบายระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศในภาพรวม โดยระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตจะสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัด อุปกรณ์ประมวลผล อุปกรณ์ระบบอัตโนมัติ และอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล พร้อมทั้งควบคุมทิศทางการไหลของพลังงานไฟฟ้าและข้อมูลสารสนเทศให้สามารถไหลได้สองทิศทาง และยังสามารถรองรับแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่กระจายอยู่ทั่วไป รวมไปถึงรองรับการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต และเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวิถีชีวิตและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวคิดของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดแสดงดังรูปที่ 1-1

รูปที่ 1-1 แนวคิดของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคต

ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้น (Layer) [1] ดังนี้

1) ชั้น Application – การประยุกต์ใช้งานฟังก์ชันและบริการต่าง ๆ ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้ให้บริการด้านไฟฟ้า
2) ชั้น Communication – การสื่อสารข้อมูลภายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งชั้น Communication จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Structure) ประกอบด้วยโครงข่าย WAN (Wide Area Network) โครงข่าย NAN/FAN (Neighborhood Area Network/Field Area Network) และโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network) เช่น โครงข่าย HAN/BAN/IAN (Home Area Network/Building Area Network/Industrial Area Network)

3) ชั้น Power Control – ระบบบริหารจัดการ ควบคุม และเฝ้าระวัง สำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้า เช่น ระบบ SCADA
4) ชั้น Power System – การไหลของกระแสไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า

การพัฒนาของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เหนือกว่าระบบโครงข่ายไฟฟ้าแบบเดิมอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ ชั้น Application และชั้น Communication ซึ่งระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีองค์ประกอบพื้นฐานทางเทคโนโลยีที่มีคุณสมบัติสามารถตรวจวัด รับส่งสัญญาณข้อมูล และทำงานร่วมกับอุปกรณ์และระบบอื่น ๆ ได้ ทั้งด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และพีเพิลแวร์ ตัวอย่างเช่น

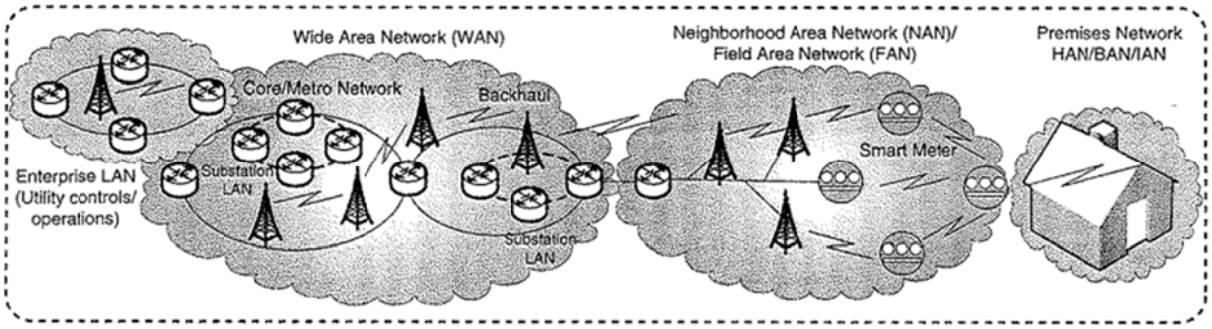
1) เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information and Communication Technology: ICT)
2) เทคโนโลยีด้านการผลิตไฟฟ้า การส่งจ่ายไฟฟ้า
3) เทคโนโลยีการควบคุมระบบโครงข่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
4) เทคโนโลยีสมาร์ทมิเตอร์ ระบบ AMI (Advanced Metering Infrastructer) และ Demand Response
5) เทคโนโลยีการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า (Energy Management System: EMS) ทั้งภายในบ้าน (Home EMS: HEMS) ภายในอาคาร (Building EMS: BEMS) ภายในโรงงาน (Factory EMS: FEMS) และภายในชุมชน (Community: CEMS)

เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ถือเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่จะช่วยเชื่อมโยงข้อมูลภายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เพื่อให้ระบบสามารถรับรู้ข้อมูลสถานะต่าง ๆ เพื่อใช้ในการตัดสินใจอย่างอัตโนมัติ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะเกิดขึ้นทั่วทั้งระบบโครงข่ายไฟฟ้า ครอบคลุมตั้งแต่ ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ไปจนถึงผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้จะเกิดการส่งผ่านข้อมูลจำนวนมากในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังนั้น ระบบสารสนเทศและการสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด จึงจำเป็นต้องรองรับความต้องการในหลายด้าน เช่น

- มีความเชื่อถือได้ (Reliability) สูง
- สามารถขยายขนาดของระบบได้ง่าย (Scalability)
- มีความพร้อมใช้งาน (Availability) สูง
- มีความปลอดภัย (Security) ในทุก ๆ ส่วนของโครงข่าย
- รองรับการรับส่งข้อมูลแบบเวลาจริง เนื่องจากบางฟังก์ชันของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดต้องการการรับส่งข้อมูลแบบเวลาจริง
- มีคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service: QoS) สูง เช่น มีความหน่วงของสัญญาณ (Latency) ต่ำ และมีค่า Bit Error Rate (BER) ต่ำ
- มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน (Cost Effectiveness)
- อยู่บนพื้นฐานของมาตรฐานสากล เพื่อรองรับการทำงานร่วมกัน (interoperability) ระหว่างอุปกรณ์และระบบจำนวนมาก

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว โครงสร้างของระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจะมีลักษณะเป็นลำดับชั้น ประกอบด้วยโครงข่าย WAN โครงข่าย NAN/FAN และโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network) รวมทั้ง

อาจรวมไปถึงโครงข่ายภายในของผู้ให้บริการด้านไฟฟ้า เช่น Enterprise LAN ดังแสดงในรูปที่ 1-2 ซึ่งโครงข่ายในแต่ละลำดับชั้นก็จะมีความต้องการในด้านต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไป ดังนี้



รูปที่ 1-2 โครงสร้างของระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

<u>โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network)</u>

โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าเช่น HAN, BAN และ IAN มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อรองรับระบบการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน (HEMS) อาคาร (BEMS) และโรงงาน (FEMS) รวมไปถึงรองรับฟังก์ชันอื่น ๆ เช่น AMI, Demand Response, Demand Side Managementและ Direct Load Control เป็นต้น และอาจรวมถึงการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคตด้วย ซึ่งโดยทั่วไป โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดผ่านทางสมาร์ทมิเตอร์

โดยปกติแล้ว โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ต้องการแบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลและพื้นที่ครอบคลุม (Coverage Area) มากนัก ความต้องการหลัก ๆ ของเทคโนโลยีระบบสื่อสารสำหรับโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าได้แก่ ใช้พลังงานต่ำ มีค่า latency ต่ำ และมีความปลอดภัยสูง ซึ่งเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่เหมาะสมสำหรับใช้งานในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า และพบการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ ตัวอย่างเช่น Zigbee (IEEE 802.15.4), Z-Wave และ Wi-Fi (IEEE 802.11) เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่นิยมใช้ในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า

เทคโนโลยี	ความถี่	ความเร็ว	พื้นที่ครอบคลุม
Zigbee	868 MHz, 915 MHz, 2.4 GHz	20 – 250 kbps	10 เมตร – 1.5 กิโลเมตร
Z-Wave	868 MHz, 908 MHz	9.6 – 40 kbps	1 เมตร – 70 เมตร
Wi-Fi	2.4 GHz, 5 GHz	11 – 248 Mbps	30 เมตร – 100 เมตร

<u>โครงข่าย NAN/FAN</u>

โครงข่าย NAN จะมีพื้นที่ครอบคลุมกว้างกว่าโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยจะมีหน้าที่หลักคือการเชื่อมต่อการสื่อสารของสมาร์ทมิเตอร์ (หรืออุปกรณ์อื่น ๆ) ในพื้นที่ใกล้เคียง หรืออาจกล่าวได้ว่า โครงข่าย NAN จะเชื่อมต่อโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าหลายโครงข่ายเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ โครงข่าย NAN อาจจะเชื่อมต่อกับแหล่งผลิตไฟฟ้าต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ทั่วไปด้วย

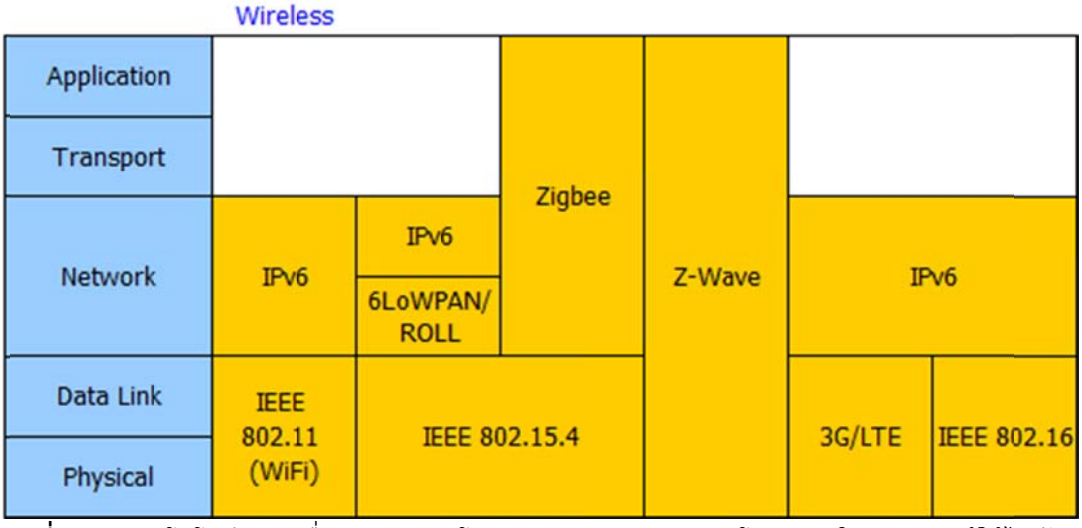
ทั้งนี้ โครงข่าย NAN อาจเรียกว่าโครงข่าย FAN ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Field Device ต่าง ๆ เช่น IED (Intelligent Electronic Device) ซึ่งฟังก์ชันหลักของโครงข่าย FAN ในที่นี้คือการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Field Device ต่าง ๆ เพื่อรองรับการทำงานของระบบ Distribution Automation เป็นต้น

โครงข่าย NAN/FAN จะเชื่อมต่อกับโครงข่าย WAN ผ่านโครงข่าย Backhaul ซึ่งจะรวบรวมข้อมูลจากหลายโครงข่าย NAN/FAN เพื่อส่งต่อไปยังโครงข่าย WAN (พิจารณารูปที่ 1-2)

ความต้องการของโครงข่าย NAN/FAN ด้านแบนด์วิดท์และพื้นที่ครอบคลุมจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดของพื้นที่ และฟังก์ชันที่ใช้งาน เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่นิยมใช้งานในโครงข่าย NAN/FAN ได้แก่ เทคโนโลยี 3G, 4G เช่น UTMS/HSPA/HSPA+, LTE และ WiMax (IEEE 802.16) เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1-2 เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถใช้งานโพรโทคอลในชั้น MAC/PHY ร่วมกับโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น Zigbee, Z-Wave และ Wi-Fi ได้

ตารางที่ 1-2 เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่นิยมใช้ในโครงข่าย NAN/FAN

เทคโนโลยี	ความถี่	ความเร็ว	พื้นที่ครอบคลุม
UTMS/HSPA/HSPA+ (3G)	มีการใช้งานหลายย่านความถี่แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ เช่น 850 MHz, 900 MHz, 1700 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz เป็นต้น	384 kbps – 42 Mbps	โดยทั่วไปประมาณ 1.6 – 8 กิโลเมตร (อาจมากหรือน้อยกว่านี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ย่านความถี่ที่ใช้ สภาพพื้นที่ และสถานีฐาน)
LTE	มีการใช้งานหลายย่านความถี่แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ โดยส่วนใหญ่ใช้ย่านความถี่เดียวกับระบบ 3G	ความเร็วสูงสุด 100 Mbps	โดยทั่วไปประมาณ 1.6 – 8 กิโลเมตร (อาจมากหรือน้อยกว่านี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ย่านความถี่ที่ใช้ สภาพพื้นที่ และสถานีฐาน)
WiMax	ช่วงความถี่ใช้งานกว้างมาก คือ ตั้งแต่ 2 GHz -66 GHz	ความเร็วสูงสุด 75 Mbps	โดยทั่วไปประมาณ 1.6 – 10 กิโลเมตร (อาจมากหรือน้อยกว่านี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น มาตรฐาน/ย่านความถี่ที่ใช้ สภาพพื้นที่ และสถานีฐาน)



รูปที่ 1-3 เทคโนโลยีระบบสื่อสารสำหรับโครงข่าย NAN/FAN และโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า

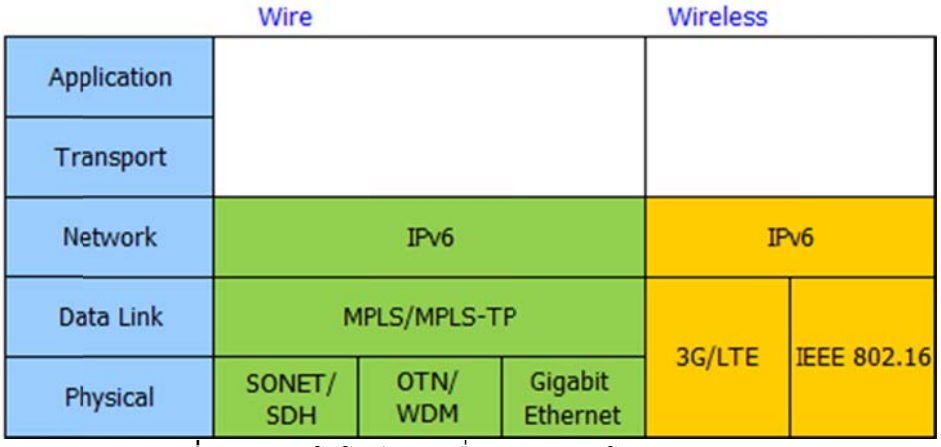
โครงข่าย WAN

โครงข่าย WAN ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นโครงข่ายส่วนที่เชื่อมต่อกับผู้ให้บริการด้านไฟฟ้า ประกอบด้วยโครงข่ายหลัก (Core/Backbone Network) โครงข่าย MAN (Metropolitan Area Network) และโครงข่าย Backhaul

โครงข่ายหลักของผู้ให้บริการด้านไฟฟ้าจะเป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อกับระบบ LAN ของสถานีไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ Optical Fiber รวมทั้งเชื่อมต่อกับระบบ LAN ขององค์กร (Enterprise LAN) และระบบอินเทอร์เน็ตสาธารณะ ส่วนโครงข่าย MAN ในที่นี้หมายถึงโครงข่ายที่เชื่อมต่อหลายโครงข่าย Backhaul เข้าด้วยกันภายในพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น เมืองขนาดใหญ่ หรือระหว่างหลายเมือง สำหรับโครงข่าย Backhaul จะเป็นโครงข่ายที่เชื่อมโยงระหว่างโครงข่าย WAN กับโครงข่าย NAN/FAN และอาจรวมไปถึงการเชื่อมต่อกับระบบอื่น ๆ ของผู้ให้บริการด้านไฟฟ้า เช่น ระบบ LAN ของสถานีไฟฟ้า, ระบบ Mobile Workforce, ระบบ SCADA, ระบบ RTU (Remote Terminal Unit) และระบบ PMU (Phasor Measurement Unit) เป็นต้น

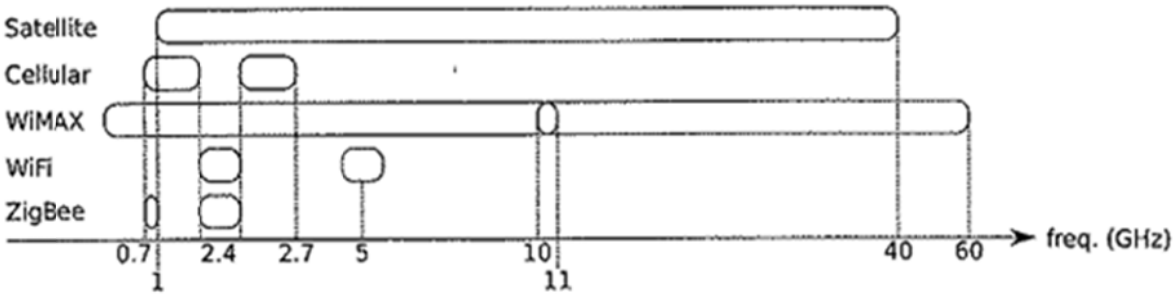
โครงข่าย WAN มีหน้าที่หลัก คือ การส่งผ่านข้อมูลในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดทั้งหมดด้วยความเชื่อถือได้และประสิทธิภาพสูงจากระยะทางที่ไกลมาก ดังนั้น โครงข่าย WAN จึงต้องการแบนด์วิดท์สูงมาก รวมทั้งยังต้องรองรับความต้องการในด้านอื่น ๆ เช่น ความเชื่อถือได้ ความพร้อมใช้งาน ความปลอดภัย และคุณภาพการให้บริการ เป็นต้น ดังนั้น โครงข่าย WAN ในปัจจุบันมักจะเป็นโครงข่าย Optical Fiber โดยเลือกใช้โพรโทคอลในชั้น MAC/PHY เช่น MPLS, MPLS-TP, SONET, SDH, OTN, WDM, และ Metro Ethernet เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งเทคโนโลยี 3G/4G ก็ยังสามารถนำมาปรับใช้ในโครงข่าย WAN ได้ เนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็วในการติดตั้งใช้งานมากกว่าโครงข่าย Optical Fiber



รูปที่ 1-4 เทคโนโลยีระบบสื่อสารสำหรับโครงข่าย WAN

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่นิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ จะประกอบด้วย Zigbee และ WiFi สำหรับโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า และเทคโนโลยีโครงข่าย Cellular ต่าง ๆ และ WiMax สำหรับโครงข่าย NAN/FAN สรุปการใช้คลื่นความถี่ของเทคโนโลยีข้างต้น ดังรูปที่ 1-5



รูปที่ 1-5 คลื่นความถี่ของเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่นิยมใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

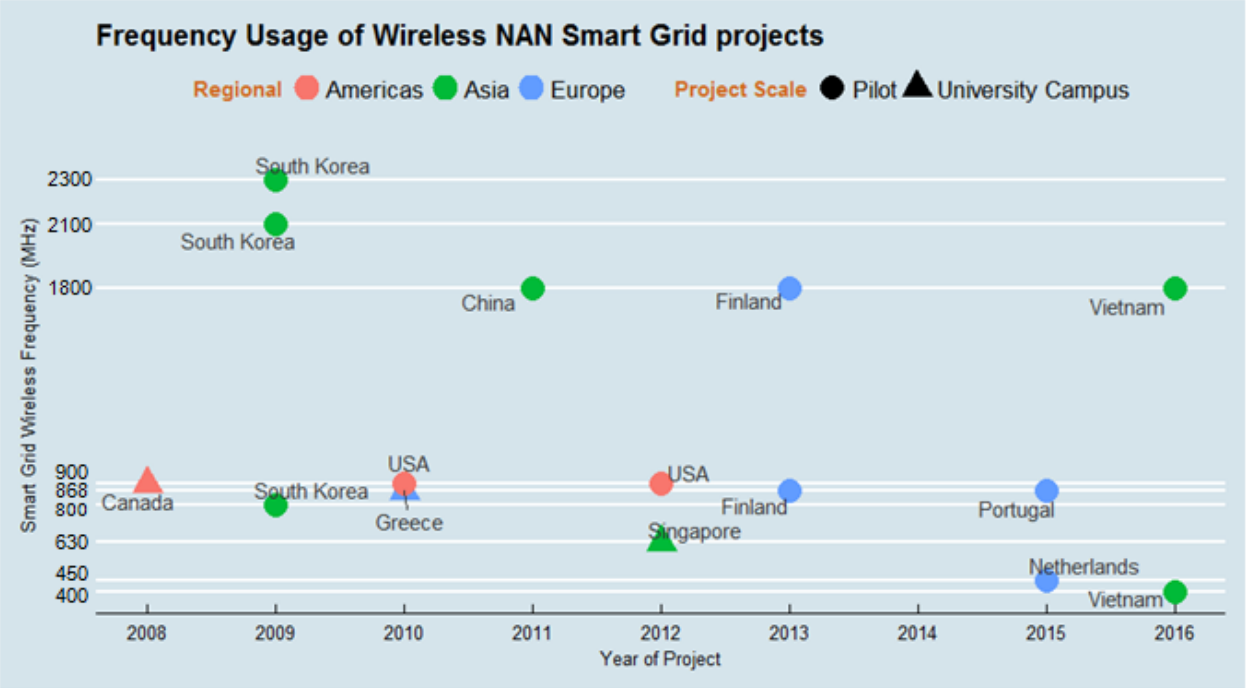
จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่นิยมใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีอยู่หลายเทคโนโลยี ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีจะมีความเหมาะสมในการใช้งาน ตลอดจนมีลักษณะการใช้คลื่นความถี่ที่แตกต่างกัน ดังนั้น การจัดสรรคลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดถือเป็นประเด็นที่สำคัญมาก เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายถือเป็นปัจจัยสำคัญทั้งสำหรับระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ตลอดจนระบบสื่อสารข้อมูลอื่น ๆ จำนวนมาก เนื่องจากมีข้อดีกว่าระบบสื่อสารแบบมีสาย เช่น สะดวกต่อการติดตั้งใช้งาน มีความยืดหยุ่นสูง กำหนดขนาดของระบบได้ง่าย และมีต้นทุนที่ต่ำกว่า ดังนั้น หากไม่มีการจัดสรรคลื่นความถี่ที่เหมาะสม การใช้งานเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดก็อาจประสบปัญหาได้ โดยเฉพาะปัญหาด้านการรบกวนกับสัญญาณของเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงถือเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาคลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เพื่อสนับสนุนให้สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารได้ตามวัตถุประสงค์ของแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 ทั้งนี้ เพื่อเป็นไปตามนัยวัตถุประสงค์แห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์และ กิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 มาตรา 52 (2)

บทที่ 2
การใช้งานคลื่นความถี่
สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดถือเป็นระบบโครงข่ายไฟฟ้าในอนาคตเพื่อรองรับปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มมากขึ้น ตลอดจนพัฒนาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอย่างเต็มรูปแบบยังคงมีความท้าทายอยู่มากทั้งในด้านระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร ดังนั้น แนวโน้มการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรกจะเป็นลักษณะการจัดทำโครงการนำร่องเพื่อสาธิตและศึกษาการทำงานของเทคโนโลยีต่าง ๆ ก่อนที่จะนำไปดำเนินการจริง

เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายถือเป็นส่วนสำคัญของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาต่ำกว่าระบบสื่อสารแบบมีสาย นอกจากนี้ ระบบสื่อสารไร้สายหลายเทคโนโลยี เช่น ZigBee LTE และ WiMAX ถือเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพิสูจน์แล้ว (Mature) ไม่เพียงแต่เฉพาะสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด แต่ยังรวมไปถึง Application อื่นๆ เช่น Wireless Sensor Network (WSN), Machine to Machine (M2M) หรือ Internet of Things (IoT) ดังนั้น ระบบสื่อสารไร้สายจึงเป็นตัวเลือกที่สำคัญสำหรับอนาคตของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด อย่างไรก็ตาม ยังมีประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาตัดสินใจในการเลือกเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่เหมาะสม เช่น การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed หรือคลื่นความถี่แบบ Unlicensed การพิจารณาความต้องการของระบบสื่อสาร เช่น ความเชื่อถือได้ (Reliability) ความหน่วงของสัญญาณ (Latency) และพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายสื่อสาร (Coverage)

ในบทที่ 2 จะเป็นการศึกษาตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ โดยศึกษาจากโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศต่าง ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-1 ซึ่งแสดงภาพรวมของการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบสื่อสารไร้สายในโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะนำมาพิจารณาเลือกกรณีศึกษาที่มีการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่แตกต่างกันทั้งกรณีคลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed เพื่อนำไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ ในบทถัดไป



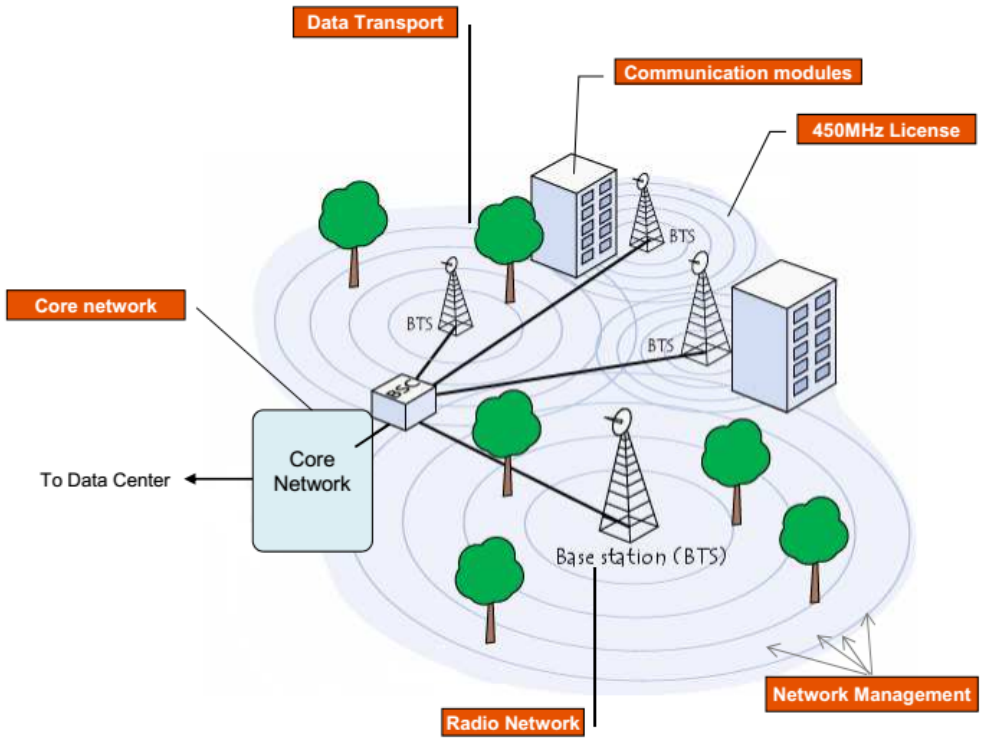
รูปที่ 2-1 ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับโครงการด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ

2.1 ประเทศเนเธอร์แลนด์ [2-5]

บริษัท Alliander ซึ่งเป็นผู้ให้บริการระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System Operator: DSO) และระบบจำหน่ายก๊าซขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้เริ่มติดตั้งระบบสมาร์ทมิเตอร์สำหรับลูกค้าของตนตั้งแต่ ศ.ศ. 2015 โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวัดและควบคุมมิเตอร์ไฟฟ้า มิเตอร์ก๊าซ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างสาธารณะ โดยระบบสื่อสารที่เลือกใช้ในโครงการนี้ ได้แก่ CDMA 450 ทั้งนี้ เทคโนโลยี CDMA 450 ถือเป็นโอกาสใช้งานที่เป็นเอกลักษณ์สำหรับประเทศเนเธอร์แลนด์ เนื่องจากในประเทศเนเธอร์แลนด์มีการกำหนดใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่สำหรับย่านความถี่ 450 MHz ซึ่งบริษัท Alliander เห็นว่า CDMA 450 เป็นทางเลือกเชิงกลยุทธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการพัฒนาโครงข่ายส่วนบุคคลเพื่อรองรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยที่บริษัท Alliander ได้รับสิทธิในการใช้คลื่นความถี่ 450 MHz จากบริษัท KPN ซึ่งเป็นผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 450 MHz และทั้งสองบริษัทยังได้ร่วมกันพัฒนาโครงข่ายไร้สายบนย่านความถี่ 450 MHz ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ถึงแม้ว่าเทคโนโลยี CDMA 450 จะยังไม่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายมากนัก แต่ในยุโรปได้มีการใช้งานเทคโนโลยี CDMA 2000 (1xEV-DO) มาอย่างยาวนานแล้ว ซึ่งเทคโนโลยี CDMA 450 ก็อาจพิจารณาได้ว่าเป็นเทคโนโลยี CDMA 2000 บนย่านความถี่ 450 MHz นั่นเอง ทั้งนี้ CDMA 450 มีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในโครงข่ายสื่อสารของอุปกรณ์ (M2M) ดังนี้:

- มีความปลอดภัยมากกว่า เนื่องจากใช้เทคโนโลยี Spread Spectrum ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับใช้งานสำหรับกองทัพ ซึ่งมีการเข้ารหัสข้อมูลในลำดับแบบสุ่มและกระจายไปทั่วช่องสัญญาณแถบกว้าง

- มีสมรรถนะที่ดีกว่า เนื่องจากการใช้เทคโนโลยี Spread Spectrum ช่วยให้สามารถใช้ช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และรองรับผู้ใช้งานต่อเซลล์ได้มากขึ้น เป็นการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงาน ส่งผลให้ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Total Cost of Ownership) ลดลง
- รองรับโพรโทคอล TCP (Transmission Control Protocol) และ PPP (Point-to-Point Protocol)
- เหมาะสำหรับระบบสื่อสารในโครงข่าย M2M ที่สำคัญ เนื่องจากมี Latency ต่ำ และรองรับ QoS



รูปที่ 2-2 ภาพรวมโครงข่าย CDMA 450 ของบริษัท Alliander

บริษัท Alliander ในประเทศเนเธอร์แลนด์ถือเป็นบริษัทแรกที่นำคลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 450 MHz (เทคโนโลยี CDMA 450) มาใช้สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดและสมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งประโยชน์ของการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 450 MHz สรุปได้เป็น 3 ข้อหลัก ได้แก่

1) มีระยะครอบคลุมที่กว้างและสามารถผ่านผนังอาคารได้ดี เนื่องจากมีความถี่ต่ำ
2) มีความมั่นคงปลอดภัยและคุณภาพการให้บริการสูง เนื่องจากเป็นย่านความถี่เฉพาะ
3) มีความพร้อมใช้งานอย่างต่อเนื่องในระยะยาว โดยไม่ต้องกังวลว่าจะมีผลกระทบจากเทคโนโลยีอื่น

อย่างไรก็ตาม การลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานระบบโครงข่ายบนย่านความถี่ 450 MHz จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการเลือกใช้เทคโนโลยีที่มีการใช้งานอยู่แล้วซึ่งมักจะใช้ย่านความถี่ 915 MHz และ 2.4 GHz อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในเอกสาร [3] แสดงให้เห็นว่าการใช้งานย่านความถี่ 450 MHz ก็ถือว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นในตลาด

ในยุโรป ยังได้มีการรวมกลุ่มระหว่างผู้ให้บริการสาธารณูปโภคทั้งด้านไฟฟ้า ก๊าซ น้ำ และหน่วยงานด้านโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญอื่น ๆ จัดตั้งเป็น European Utilities Telecom Council (EUTC) เพื่อให้ความร่วมมือและแลกเปลี่ยนข้อมูลทางด้านโทรคมนาคมระหว่างกัน โดย EUTC ได้ออก Position Paper เมื่อปี ค.ศ. 2013 [4] ระบุว่าจำเป็นต้องมีการจัดสรรคลื่นความถี่ให้กับผู้ให้บริการสาธารณูปโภคเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดย EUTC เสนอให้จัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน UHF (450-470 MHz) สำหรับใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากย่านความถี่ดังกล่าวมีความเหมาะสมทั้งในเชิงกลยุทธ์และในด้านเทคนิคที่จะรองรับการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์ โดยเฉพาะข้อได้เปรียบด้านระยะสื่อสารซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมที่กว้าง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร นอกจากนี้ ในย่านความถี่ 450-470 MHz ยังมีหลายเทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานสากลรองรับและผ่านการพิสูจน์การใช้งานจริงในระดับ Large Scale มาแล้ว ดังนั้น จึงถือว่ามีความเป็นไปได้ในทางเทคนิค อีกทั้งเป็นที่คาดหมายว่าย่านความถี่ดังกล่าวจะมีแบนด์วิดท์เพียงพอต่อการใช้งานระบบสมาร์ทมิเตอร์ ได้แก่ 2 x 3 MHz (กล่าวคือแบนด์วิทด์ 3 MHz ที่อยู่ติดกัน 2 บล็อก)

นอกจากย่านความถี่ 450-470 MHz แล้ว EUTC ยังเสนอให้จัดสรรพื้นที่ 10 MHz ในย่านความถี่ L-band (1,500 MHz) เพื่อรองรับ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่มีความต้องการด้านข้อมูลสูง รวมไปถึงการพิจารณาจัดสรรย่านความถี่อื่น ๆ เพิ่มเติมตามความเหมาะสม

2.2 ประเทศนอร์เวย์ [6, 7]

ประเทศนอร์เวย์ได้มีการจัดตั้ง Norwegian Smart Grid Center (NSGC) ขึ้นในปี ค.ศ. 2010 เพื่อเตรียมพร้อมรับมือกับความท้าทายในการพัฒนาและติดตั้งระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่ง NSGC มีลักษณะเป็นสมาคม ปัจจุบันมีสมาชิกประมาณ 50 รายจากหลายภาคส่วนทั้ง การวิจัยและพัฒนา อุตสาหกรรม การศึกษา และการค้า เป้าหมายของโครงการนี้ คือ การมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้ประโยชน์ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และรองรับการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น

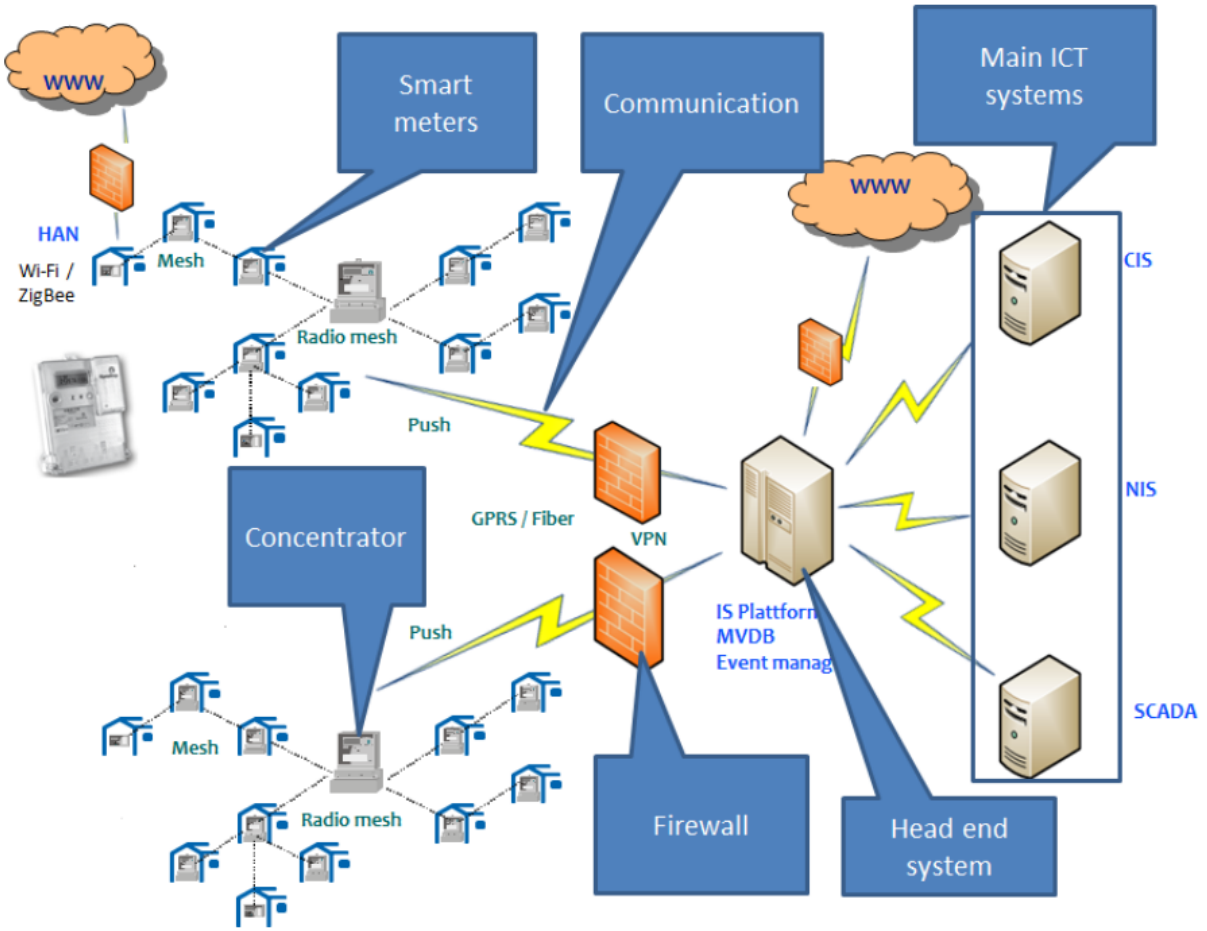
เพื่อที่จะศึกษาและได้รับประสบการณ์จากการใช้งานเทคโนโลยีระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด NSGC จึงมุ่งเน้นไปที่การจัดตั้งห้องปฏิบัติการและโครงการสาธิตนำร่องขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีส่วนสำคัญต่อการวิจัยและการศึกษาตลอดจนเพิ่มโอกาสให้กับภาคอุตสาหกรรมและผู้ผลิตในการทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่สมจริง ดังนั้น NSGC ถือว่าเป็นโครงการที่มีส่วนช่วยในการพัฒนาและสาธิตนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเพื่อการศึกษาเรียนรู้และเพิ่มประสบการณ์ใช้งานจริงในระดับประเทศ

โครงการสาธิตนำร่องภายใต้ NSGC ประกอบด้วย 3 โครงการ ได้แก่ 1) Demo Steinkjer 2) Smart Energy Hvaler และ 3) Demo Lyse โดยในปี ค.ศ. 2013 ทั้ง 3 โครงการได้ดำเนินการติดตั้งระบบสำคัญในระยะแรกแล้วเสร็จ ซึ่งระบบสำคัญในโครงการดังกล่าว ได้แก่ ระบบสมาร์ทมิเตอร์ซึ่งใช้งานเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่แตกต่างกัน โดย NSGC มองว่าระบบสมาร์ทมิเตอร์เป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาตลาดพลังงานที่มีประสิทธิภาพ สนับสนุนการใช้งานพลังงานอย่างคุ้มค่า และการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าที่ดียิ่งขึ้น

หน่วยงานกำกับดูแลของประเทศนอร์เวย์ได้ระบุวัตถุประสงค์สำหรับการใช้งานระบบสมาร์ทมิเตอร์ ดังนี้:

- การเรียกเก็บค่าไฟฟ้าที่ถูกต้องแม่นยำ
- ง่ายต่อการเปลี่ยนผู้จำหน่ายไฟฟ้า
- เพิ่มการแข่งขันระหว่างผู้จำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งจะนำไปสู่อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลง และผลิตภัณฑ์/บริการใหม่ ๆ
- เพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- เพิ่มข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ระบบสมาร์ทมิเตอร์ในโครงการสาธิตนำร่องมีขนาดรวมประมาณ 10,000 เครื่อง โดยเลือกใช้สมาร์ทมิเตอร์หลายรุ่น หลายยี่ห้อ รวมทั้งเลือกใช้งานเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่แตกต่างกัน ตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานของระบบสมาร์ทมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสมาร์ทมิเตอร์ในประเทศนอร์เวย์

โครงการนำร่องทั้งหมดเลือกใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Radio Mesh (RM) สำหรับโครงข่าย NAN ซึ่งสามารถรองรับการสื่อสารแบบสองทาง โดยใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 433-444 MHz หรือ 868 MHz ทั้งนี้ สมาร์ทมิเตอร์ทั้งหมดยังเสมือนเป็นโนดสื่อสารในโครงข่ายแบบ Mesh ทำหน้าที่รับและส่งต่อข้อมูล

โดยที่มิเตอร์แต่ละเครื่องทำงานเป็นอิสระต่อกัน ถ้ามิเตอร์เครื่องใดถูกนำออกจากโครงข่าย โครงข่ายจะกำหนดเส้นทางการสื่อสารใหม่โดยอัตโนมัติ และหากมีการเพิ่มมิเตอร์เข้าสู่โครงข่าย มิเตอร์เครื่องนั้นจะดำเนินการกำหนดเส้นทางการสื่อสารโดยอัตโนมัติเช่นกัน นอกจากนี้ คลื่นความถี่ที่เลือกใช้งานอยู่ในช่วงคลื่นวิทยุที่สามารถทะลุทะลวงอาคารได้ดีทั้งทางหน้าต่างและผนังอาคาร

โครงการนำร่องบางโครงการยังได้นำระบบสื่อสาร FTTH (Fiber-to-the-home) มาใช้งานด้วย เนื่องจากผู้ให้บริการระบบจำหน่ายไฟฟ้า (DSO) หลายแห่งในประเทศนอร์เวย์เป็นบริษัทในเครือของบริษัทที่ดำเนินธุรกิจโทรคมนาคม ดังนั้น จึงสามารถใช้โครงข่าย FTTH ที่มีอยู่แล้วในการเชื่อมโยงข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ได้

โครงการนำร่องเหล่านี้มุ่งเน้นไปที่การทดสอบเทคโนโลยีและระบบสื่อสารที่แตกต่างกัน เพื่อสร้างฐานความรู้ในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแบบเต็มรูปแบบในอนาคต สำหรับโครงสร้างพื้นฐานที่ทดสอบในโครงการนี้ เส้นทางการสื่อสารจากมิเตอร์ไปยังระบบ Head-end (HES) ส่วนใหญ่จะเป็นการเชื่อมโยงผ่านอุปกรณ์รวบรวมข้อมูล (Concentrator) หรือเกตเวย์ภายในบ้าน โดยที่อุปกรณ์ Concentrator จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการรวบรวมข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์จำนวนมากที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกันผ่านโครงข่าย NAN ซึ่งข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ในบริเวณใกล้เคียงจะถูกส่งต่อผ่านสมาร์ทมิเตอร์ระหว่างทางไปรวบรวมที่อุปกรณ์ Concentrator ดังนั้น การสื่อสารแบบ Radio Mesh ในโครงข่าย NAN จะเป็นการสื่อสารจำนวนหลาย Hop จากมิเตอร์ไปถึงอุปกรณ์ Concentrator นอกจากนี้ สมาร์ทมิเตอร์บางเครื่องยังสามารถเชื่อมโยงกับระบบ Head-end ได้โดยตรงผ่านโครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/EDGE พิจารณาตารางที่ 2-1 ซึ่งแสดงระยะเวลาในการตอบสนองของระบบสื่อสารในแต่ละเทคโนโลยีที่ทดสอบในโครงการนี้

ตารางที่ 2-1 ระยะเวลาตอบสนองสำหรับการส่งข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ของโครงการนำร่องในประเทศนอร์เวย์

การเชื่อมโยง	**เทคโนโลยี**		**ระยะเวลา (วินาที)**
มิเตอร์ ⟶ Head-end (point-to-point)	GPRS		10-30
	EDGE		8-30
การเชื่อมโยง	**เทคโนโลยี**		**ระยะเวลา (วินาที)**
	มิเตอร์ ⟶ Concentrator	มิเตอร์ ⟶ Head-end	
มิเตอร์ ⟶ Concentrator ⟶ Head-end	Radio Mesh 433 MHz - 1 Hop	GPRS	7
	Radio Mesh 433 MHz - 2 Hop	GPRS	8
	Radio Mesh 433 MHz - 3 Hop	GPRS	9
	Radio Mesh 433 MHz - 4 Hop	GPRS	11
	Radio Mesh 868 MHz	GPRS	30-35
	Radio Mesh 868 MHz	EDGE	12-15
	WiFi	Fiber	<2

การทดสอบระบบสื่อสารในโครงการนำร่องข้างต้น พบปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้:

- ระบบ Radio Mesh มีสมรรถนะที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ และสมาร์ทมิเตอร์บางเครื่องเข้าถึงโครงข่ายได้ยาก หากไม่มีการติดตั้งสายอากาศเสริม
- ระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้งานยังต้องพึ่งพาโครงข่ายของบุคคลที่สาม (โครงข่ายเซลลูลาร์) ส่งผลให้ความพร้อมใช้งานและประสิทธิภาพการทำงานยังคงเป็นข้อกังวล
- การใช้บริการโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม ควรมีข้อพิจารณาว่าเทคโนโลยีและมาตรฐานด้านโทรคมนาคมมักมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยกว่าเทคโนโลยีในธุรกิจระบบไฟฟ้า

นอกจากนี้ ในระหว่างการทดสอบยังพบปัญหาในด้านการบูรณาการระบบ (System Integration) และความสามารถในการทำงานร่วมกัน (Interoperability) เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างระบบที่เกี่ยวข้อง เช่น สมาร์ทมิเตอร์ อุปกรณ์ Concentrator และระบบ Head-end ดังนั้น เพื่อให้การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูลที่มีความเหมาะสมในด้านต้นทุน จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานด้านอินเทอร์เฟซการเชื่อมต่อเพื่อหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายด้านการบูรณาการระบบในภายหลัง

2.3 ประเทศสหรัฐอเมริกา [8-12]

กรณีศึกษาของประเทศสหรัฐอเมริกา การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีทั้งการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed อย่างไรก็ตาม ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่ในสหรัฐอเมริกามักจะเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มากกว่า [8]

ในกรณีที่เลือกใช้ความถี่แบบ Licensed ผู้ให้บริการไฟฟ้าจะต้องยื่นขออนุญาตใช้คลื่นความถี่บนย่านความถี่ที่ต้องการจากคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร (Federal Communications Commission: FCC) เพื่อที่จะได้รับสิทธิในการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่นั้น ๆ ในบริเวณพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed นั้น FCC จะอนุญาตให้ส่งสัญญาณวิทยุด้วยกำลังส่งที่สูงบนย่านความถี่ที่ได้รับอนุญาต อีกทั้งยังได้รับการปกป้องจากการรบกวน กล่าวคือ หากมีผู้ใดส่งสัญญาณที่ทำให้เกิดการรบกวนภายในย่านความถี่ที่ได้รับอนุญาต ผู้ได้รับใบอนุญาตมีสิทธิดำเนินการตามกฎหมายเพื่อเรียกเก็บค่าเสียหายและขอให้หยุดการส่งสัญญาณรบกวนเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม มีผู้ให้บริการไฟฟ้าจำนวนน้อยรายที่เลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed (ย่านความถี่ 700-960 MHz) เนื่องจากคลื่นความถี่เป็นทรัพยากรที่มีจำกัด โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาซึ่งมีการแข่งขันสูงในกิจการโทรคมนาคม ดังนั้น การขอใช้คลื่นความถี่ถือเป็นเรื่องยากและมีค่าใช้จ่ายสูงในการได้มา ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าที่ขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มักจะได้คลื่นความถี่ที่มีขนาดแบนด์วิดท์เพียงไม่กี่ร้อย kHz ส่งผลให้การนำมาใช้งานมีข้อจำกัด ซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะรองรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะยาว

สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed นั้น FCC ได้จัดสรรหลายย่านความถี่ให้สามารถใช้งานเชิงพาณิชย์ได้โดยไม่ต้องขออนุญาต เช่น ย่านความถี่ ISM ทั้งในย่านความถี่ 900 MHz (902-928 MHz) ย่านความถี่ 2.4 GHz (2.4-2.5 GHz) และย่านความถี่ 5 GHz อย่างไรก็ตาม FCC จำกัดกำลังส่งในย่านความถี่ดังกล่าว เพื่อลดปัญหาการรบกวนระหว่างกัน และป้องกันไม่ให้สัญญาณมีระยะสื่อสารที่ไกลเกินไป ทั้งนี้ ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่

มักเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 900 MHz สำหรับการพัฒนาระบบ AMI และระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณในย่านความถี่ 900 MHz จะมีระยะครอบคลุมที่กว้างกว่าและสามารถทะลุทะลวงผ่านผนังอาคารได้ดีกว่าย่านความถี่สูง

ในประเทศสหรัฐอเมริกามีโครงการด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจำนวนมากทั้งที่ติดตั้งแล้วเสร็จและอยู่ในระหว่างดำเนินการติดตั้ง ซึ่ง Application หลัก ๆ สำหรับโครงการเหล่านี้มักเป็นระบบ AMI ทั้งนี้ โครงสร้างของระบบสื่อสารที่ต้องพิจารณามากที่สุดสำหรับระบบ AMI ได้แก่ โครงข่าย NAN ซึ่งเป็นโครงข่ายที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อมิเตอร์จำนวนหลายเครื่องที่ติดตั้งอยู่ตามบ้านหรืออาคารไปยังอุปกรณ์ Concentrator เพื่อรวบรวมส่งต่อไปยังศูนย์ข้อมูลกลาง (Date Center) ต่อไป ซึ่งโครงการด้านระบบ AMI ในสหรัฐอเมริกาเกือบทั้งหมดจะใช้ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับโครงข่าย NAN เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำกว่าระบบสื่อสารแบบมีสาย ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่ในระบบ AMI ขนาดใหญ่ เช่น ระบบ AMI ของบริษัท Oncor [9] ซึ่งเป็นผู้ให้บริการระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดในรัฐเท็กซัส ได้ดำเนินการพัฒนาระบบ AMI สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าของบริษัททั้งหมด 3.4 ล้านราย เพื่อพิสูจน์ถึงประโยชน์ที่ได้รับในการใช้งานระบบ AMI ร่วมกับระบบบริหารจัดการข้อมูลมิเตอร์ (Meter Data Management System: MDMS) และระบบบริหารจัดการไฟดับ (Outage Management System: OMS) ใน ค.ศ. 2012 โดยมีเป้าหมายเพื่อรวบรวมและใช้ประโยชน์จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมิเตอร์ทุกช่วงเวลา 15 นาที ระบบสื่อสารในส่วนของโครงข่าย NAN เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลจากมิเตอร์ไปยังอุปกรณ์ Concentrator เลือกใช้แพลตฟอร์ม Gridstream RF Mesh ของบริษัท Landis+Gyr ซึ่งแพลตฟอร์มดังกล่าวมีพื้นฐานจากเทคโนโลยี Zigbee บนย่านความถี่ 902-928 MHz โดยใช้เทคนิค FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) เพื่อช่วยลดปัญหาการรบกวนบนย่านความถี่แบบ Unlicensed

บริษัท San Diego Gas & Electric (SDG&E) [10] ซึ่งเป็นผู้ให้บริการไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติรายใหญ่ในเมืองซานดีเอโก รัฐแคลิฟอร์เนีย ได้พัฒนาระบบ AMI โดยเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 900 MHz สำหรับการสื่อสารระหว่างมิเตอร์กับอุปกรณ์ Concentrator ในโครงข่าย NAN เช่นกัน แต่ก็มีการพิจารณาที่จะใช้เทคโนโลยี WiMAX ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 3.65-3.70 GHz เพื่อรองรับบาง Application ด้านการตรวจสอบและการควบคุมระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งเป็น Application ที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งบริษัท SDG&E มองว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed น่าจะเหมาะสมสำหรับ Application ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมในโครงข่ายไฟฟ้า โดยที่บริษัท SDG&E ยังอยู่ในระหว่างการพิจารณาในด้านค่าใช้จ่ายว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับ Application ที่มีความสำคัญจะมีความเหมาะสมหรือไม่

จากประสบการณ์การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่ผ่านมา บริษัท SDG&E ยังไม่สามารถระบุถึงปัญหาด้านการรบกวนของสัญญาณได้ เนื่องจากระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่บริษัทดำเนินการติดตั้ง ยังมีขนาดไม่เพียงพอที่จะตอบโจทย์ได้ว่าการเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จะก่อให้เกิดปัญหาด้านการรบกวนหรือไม่หากมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอนาคต อย่างไรก็ตาม บริษัท SDG&E เห็นว่าการใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันน่าจะไม่สามารถรองรับยุทธศาสตร์ด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของบริษัทได้ และจำเป็นต้องได้รับคลื่นความถี่ที่มากกว่านี้ โดยประมาณการว่าบริษัทต้องการคลื่นความถี่แบบ Licensed อีกอย่างน้อยที่สุด 2 MHz ไปจนถึง 5 MHz เพื่อ

รองรับ Application ในระดับ Wide Area ในอนาคต ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้ว ย่านความถี่ 3.65-3.70 GHz จะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่า แม้ว่าย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz จะมีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับระบบสื่อสารในโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่า แต่ก็จะมีค่าใช้จ่ายสูงเช่นกันในการขอใช้คลื่นความถี่

เอกสาร [11] เสนอกรณีตัวอย่างของโครงการด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดขนาดใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 กรณีตัวอย่างโครงการด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดขนาดใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกา

บริษัท	สถานที่	Application	ระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
Austin Energy	Texas	- AMI - Metering Reading - Pricing - Distribution Automation - Service Switch Operation - Demand Response	Optical Fiber และ RF Mesh (Unlicensed 902-928 MHz)	- 410,000 สมาร์ทมิเตอร์ - 86,000 สมาร์ทเทอร์โมสตัต - 2,500 เซนเซอร์ - 3,000 คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์โครงข่าย
City of Glendale Water and Power	California	- AMI - Metering Reading - Pricing - Distribution Automation - Distribution Energy Storage - Customer Info and Messaging - Home Display	Ethernet/Internet และ Wireless Mesh (Licensed 900 MHz ใช้โครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม)	- 86,526 สมาร์ทมิเตอร์ - ระบบสื่อสารสำหรับ AMI - MDMS - 80,000 โครงข่ายHAN - Customer Web Portal Access - 30,000 In-Home Display - อุปกรณ์กักเก็บพลังงานแบบกระจาย 1.5 MW - อุปกรณ์ Distribution Automation
Baltimore Gas and Electric Company	Maryland	- AMI - Metering Reading - Pricing - Customer Information and Messaging - Demand Response (DLC)	Optical Fiber และ RF Mesh (Licensed ไม่ได้ระบุความถี่ ใช้โครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม)	- 1,272,911 สมาร์ทมิเตอร์ - ระบบสื่อสารสำหรับ AMI - MDMS - Customer Web Portal Access - 400,000 อุปกรณ์ DLC

สำหรับตัวอย่างกรณีอื่น ๆ [12] เช่น บริษัท Pacific Gas and Electric (PG&E) ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับระบบ AMI โดยใช้เทคโนโลยี RF Mesh ย่านความถี่ 902-928 MHz สำหรับมิเตอร์ไฟฟ้า และย่านความถี่ 450-470 MHz สำหรับมิเตอร์ก๊าซ เป็นต้น

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าโครงการด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศสหรัฐอเมริกามักใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่ย่านความถี่ 900 MHz (902-928 MHz) แต่ในบางโครงการก็มีการใช้งานคลื่นความถี่แบบ Licensed โดยในกรณีนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้บริการโครงข่ายจากผู้ให้บริการโทรคมนาคม โดยเฉพาะผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งความถี่ที่ใช้คือย่านความถี่ 900 MHz เช่นเดียวกัน

2.4 ประเทศจีน [13, 14]

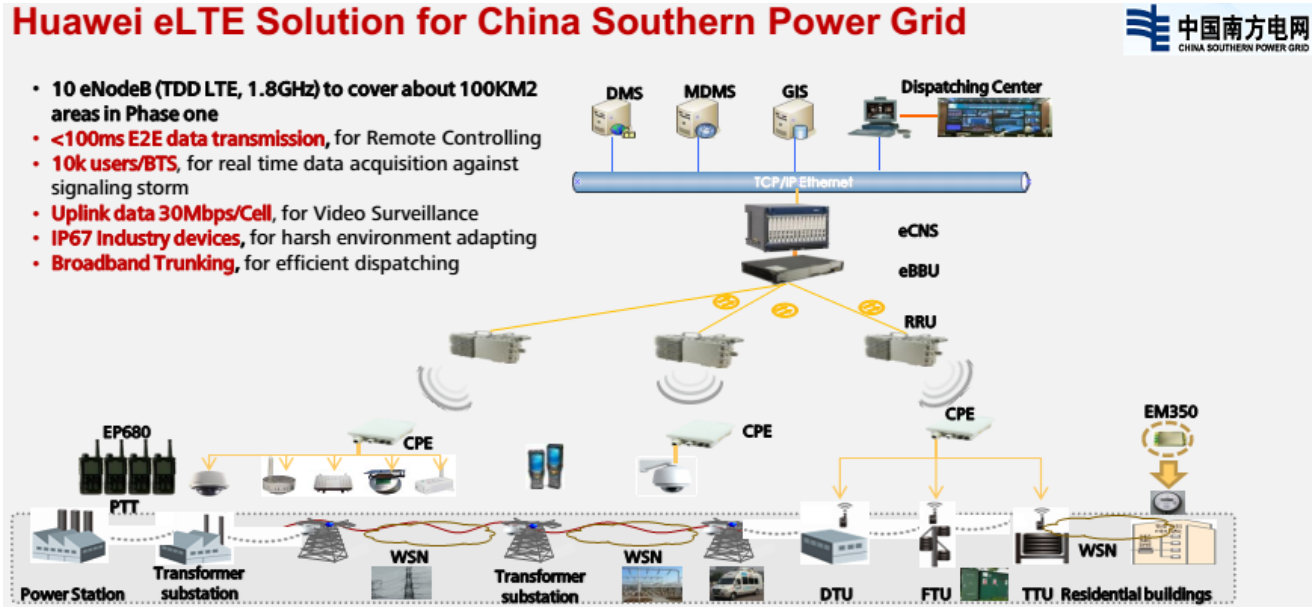
China Southern Grid (CSG) ซึ่งเป็นผู้ให้บริการไฟฟ้าที่รัฐบาลจีนเป็นเจ้าของ รับผิดชอบการให้บริการไฟฟ้าใน 5 จังหวัดชายแดนทางภาคใต้ของประเทศจีน (ได้แก่ กวางตุ้ง กว่างซี ยูนนาน กุ้ยโจว และไห่หนาน) ครอบคลุมพื้นที่ 1 ล้านตารางกิโลเมตร ประชากร 230 ล้านคน และประมาณ 17% ของค่า GDP ของประเทศ และเพื่อรองรับการใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง CSG ได้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบสื่อสารภายในโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งเป็นโครงข่าย Optical Fiber เกือบทั้งหมด หลังจากนั้น CSG ยังได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบสื่อสารเพื่อรองรับการใช้งานระบบควบคุมระบบจำหน่ายอัตโนมัติ หรือ Distribution Automation (DA) อย่างไรก็ตาม โครงข่ายเหล่านี้มีโนดสื่อสารและบริการด้านการปฏิบัติการจำนวนมาก จึงเป็นเรื่องยากที่จะติดตั้ง Optical Fiber ไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วน นอกจากนี้ สภาพแวดล้อมของระบบ Distribution Automation ยังไม่เหมาะสมต่อการทำงานของอุปกรณ์สื่อสารในโครงข่าย Optical Fiber อีกทั้งโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบ Distribution Automation ที่มีอยู่เดิมยังค่อนข้างล้าสมัย และไม่สามารถให้แบนด์วิดท์ที่เพียงพอสำหรับการรองรับบริการใหม่ ๆ เช่น การจัดกลุ่ม (Clustering) ระบบกล้องวงจรปิด และการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ภาคสนาม ปัจจัยเหล่านี้ทำให้การสร้างโครงข่ายสื่อสารยังมีความท้าทายอยู่มาก นอกจากนี้ ในบางพื้นที่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองเก่ายังมีอุปสรรคอย่างมากในการติดตั้งอุปกรณ์ Optical Fiber ในโครงข่ายไฟฟ้า อีกทั้งโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในพื้นที่ดังกล่าวยังเป็นลักษณะการใช้งานวงจรเช่าสาธารณะ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัยและคุณภาพของการสื่อสารได้

จากปัญหาข้างต้นของการใช้งานโครงข่ายแบบมีสาย และด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดขึ้นของเทคโนโลยี LTE ทำให้ CSG เล็งเห็นทางเลือกใหม่ในการพัฒนาระบบ Distribution Automation โดยเปลี่ยนไปใช้ระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมทางภูมิศาสตร์ที่ยากลำบากได้ ดังนั้น ในปี ค.ศ. 2011 CSG ได้ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ถึงความต้องการทางธุรกิจและเทคโนโลยีทางเลือกต่าง ๆ โดยพิจารณาทั้งในแง่ของประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และความสามารถในการวิวัฒนาการของเทคโนโลยี และในท้ายที่สุด CSG พิจารณาเลือกใช้งานระบบ eLTE (Enterprise LTE) ของบริษัท Huawei ซึ่งถือเป็นแพลตฟอร์มแรกของโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบ Distribution Automation ที่ใช้เทคโนโลยี LTE โดยเทคโนโลยีที่ใช้ คือ LTE-TDD (LTE Time-Division Duplex) ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 1800 MHz

หลังจากเสร็จสิ้นการศึกษา CSG ได้เปิดตัวโครงการระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดแบบไร้สาย โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบ Distribution Automation ด้วยการสนับสนุนด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบสื่อสารจากบริษัท Huawei ในการพัฒนาโครงข่าย LTE-TDD ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 1800 MHz โดย

เลือกพื้นที่จัดทำโครงการ คือ เขตเศรษฐกิจพิเศษจูไห่ (Zhuhai Special Economic Zone) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่ไม่มากนัก แต่ก็มีการเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งด้านประชากรและด้านเศรษฐกิจ ซึ่งการให้บริการไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าวรับผิดชอบโดย Zhuhai Power Supply Bureau (ZPSB)

โครงการดังกล่าวในระยะที่ 1 ประกอบด้วยการติดตั้ง eNodeB (LTE-TDD 1.8 GHz) ในสถานีไฟฟ้าและอาคารสำนักงานของ ZPSB จำนวน 10 แห่ง มีระยะสื่อสารครอบคลุมสถานีไฟฟ้า 53 สถานี พื้นที่ติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์ 10 แห่ง และพื้นที่ระบบ Televiewing อีก 2 แห่ง (รูปที่ 2-4)



รูปที่ 2-4 ระบบ eLTE สำหรับโครงการ Distribution Automation ของ China Southern Grid

เพื่อรองรับความต้องการของระบบ Distribution Automation ของ CSG บริษัท Huawei ได้พัฒนาแพลตฟอร์มระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง eLTE ซึ่งใช้เทคโนโลยี LTE-TDD ที่ย่านความถี่ 1800 MHz (1785-1805 MHz) แพลตฟอร์มดังกล่าวพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการควบคุมและการตรวจวัดแบบอัตโนมัติในระบบจำหน่าย โดยเฉพาะ รวมทั้งระบบเฝ้าระวังด้วยกล้องวงจรปิด แพลตฟอร์มนี้สามารถให้แบนด์วิดท์ที่กว้างและแข็งแรง มีระยะสื่อสารครอบคลุมพื้นที่กว้าง ตลอดจนมีความยืดหยุ่น ความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ และสามารถรักษาระดับการรบกวนให้อยู่ในระดับต่ำที่สุด

ถึงแม้ว่าปริมาณข้อมูลในระบบ Distribution Automation จะมีขนาดเล็ก เมื่อพิจารณา ณ แต่ละโนด เช่น ข้อมูลการตรวจวัดและข้อมูลคำสั่ง แต่เมื่อรวมข้อมูลจากทุกโนดแล้ว ปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายต้องรองรับอาจจะมีขนาดใหญ่มาก ในการออกแบบระบบ eLTE อุปกรณ์ปลายทาง 1 โนด จะสามารถรองรับการใช้งานได้สูงสุด 1,200 ผู้ใช้งาน ขณะที่สถานีฐาน (Base Transceiver Station: BTS) 1 สถานี สามารถรองรับการใช้งานได้สูงสุด 5,400 ผู้ใช้งาน ซึ่งเพียงพอต่อการรองรับระบบ Distribution Automation เนื่องจากแม้แต่ในพื้นที่หนาแน่นก็จะมีจำนวนอุปกรณ์ของระบบ Distribution Automation เพียงประมาณ 350 ตัว ต่อพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตรเท่านั้น โดยที่หนึ่งสถานีฐานของ eLTE สามารถครอบคลุมการสื่อสารในระบบ Distribution Automation ได้ประมาณ 4 ตารางกิโลเมตร

2.5 ประเทศเวียดนาม [15-17]

ประเทศเวียดนามมีโครงการนำร่องด้านระบบสมาร์ทมิเตอร์จำนวนหลายโครงการ ซึ่งในที่นี้จะแสดงกรณีตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่ของโครงการนำร่องในประเทศเวียดนามจำนวน 3 โครงการ ซึ่งทั้งหมดดำเนินการโดยบริษัทในเครือของบริษัท Vietnam Electricity (EVN) ซึ่งเป็นผู้ให้บริการไฟฟ้ารายใหญ่ที่สุดในประเทศเวียดนาม ให้บริการตั้งแต่ระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังรายละเอียดต่อไปนี้

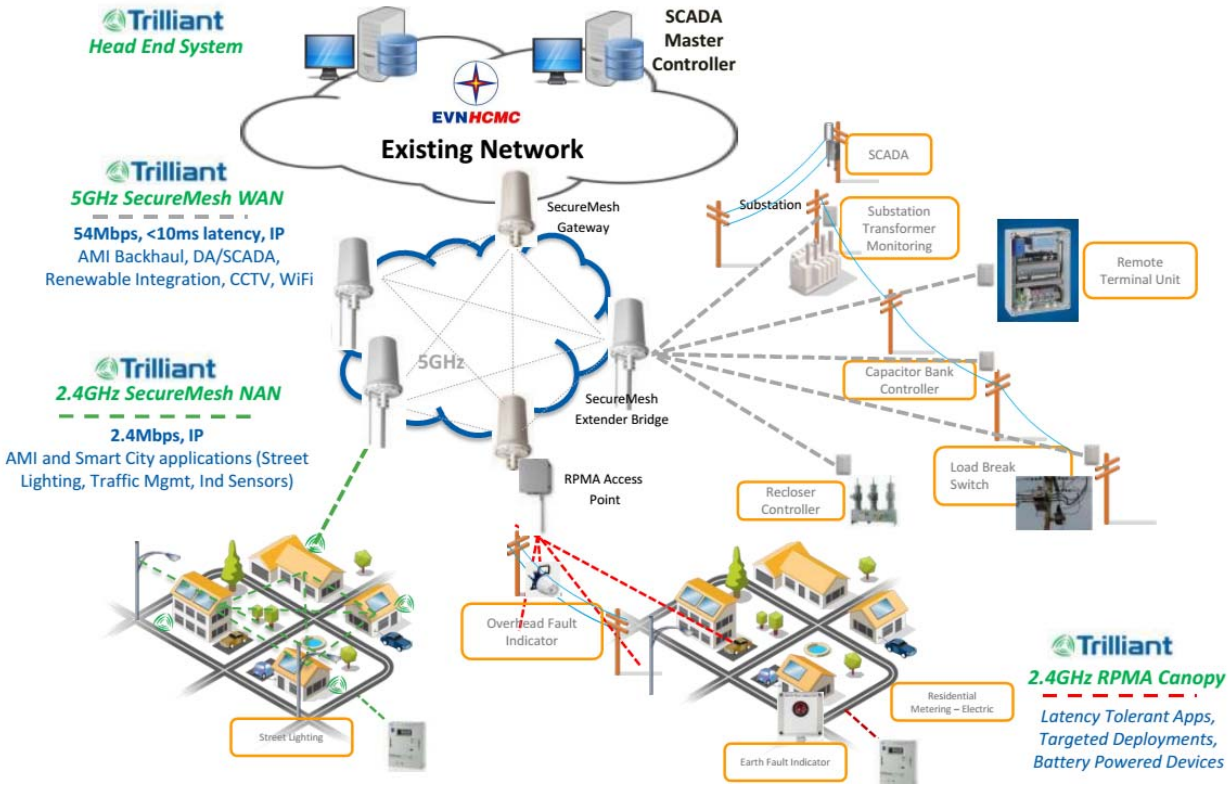
<u>กรณีตัวอย่างที่ 1</u> บริษัท EVNNPC (EVN - Northern Power Corporation) ได้เปิดตัวโครงการนำร่องระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติ (Automatic Meter Reading: AMR) ที่จังหวัดท้ายเงวียน (Thái Nguyên) ทางตอนเหนือของประเทศเวียดนาม ในเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2016 โครงการนี้ประกอบด้วยสมาร์ทมิเตอร์จำนวน 14,000 เครื่อง (ทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส) และอุปกรณ์ Concentrator จำนวน 44 ตัว โครงข่ายสื่อสารของระบบ AMR ในโครงการนี้เลือกใช้เทคโนโลยี RF Mesh ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 400 MHz (408.925 MHz) สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับอุปกรณ์ Concentrator (โครงข่าย NAN) และใช้ระบบสื่อสารเซลลูลาร์ 3G/4G สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ Concentrator กับศูนย์ข้อมูลท้องถิ่น (โครงข่าย WAN)

จากรายงานโครงการของ EVNNPC ให้ข้อมูลว่าสมาร์ทมิเตอร์บางเครื่องไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ Concentrator ได้ด้วยตนเอง เนื่องจากช่องสัญญาณมีการรบกวนสูง (Noisy Channel) และจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พกพา (Portable Device) เพื่อช่วยในการอ่านและถ่ายโอนข้อมูล อีกทั้งต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ Concentrator ใหม่ จำนวน 9 ตัวจากทั้งหมด 44 ตัว นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการอ่านค่ามิเตอร์สามารถอ่านค่าได้เพียง 85% ของจำนวนสมาร์ทมิเตอร์ทั้งหมดในโครงการ และอุปกรณ์ Concentrator บางตัวสามารถเชื่อมต่อกับสมาร์ทมิเตอร์ได้เพียงประมาณ 60% จากที่ออกแบบไว้เท่านั้น ดังนั้น อาจถือได้ว่าระบบ AMR ในโครงการนำร่องที่จังหวัดท้ายเงวียน ยังไม่มีความเสถียรและมีความเชื่อถือได้ต่ำ

<u>กรณีตัวอย่างที่ 2</u> บริษัท EVNHCMC (EVN - Ho Chi Minh Power Corporation) ได้จัดทำโครงการ Smart City Communications Platform ที่นิคมอุตสาหกรรม Saigon Hi-Tech Park ซึ่งอยู่ห่างจากใจกลางนครโฮจิมินห์ประมาณ 15 กิโลเมตร นิคมอุตสาหกรรมแห่งนี้เป็นที่ตั้งของบริษัทชั้นนำด้านเทคโนโลยีหลายบริษัท มีพื้นที่ประมาณ 3.5 ตารางกิโลเมตร และอยู่ระหว่างการขยายเป็น 9 ตารางกิโลเมตร วัตถุประสงค์ของโครงการ Smart City Communications Platform มีดังนี้:

- เพื่อพิจารณาเลือกแพลตฟอร์มระบบสื่อสารที่ตอบสนองต่อความต้องการทางธุรกิจของบริษัท EVN เช่น เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ลดการสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า สนับสนุนโครงการด้านการส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ได้ข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อช่วยในการตัดสินใจต่าง ๆ และเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้า
- เพื่อให้มั่นใจว่าแพลตฟอร์มที่เลือก มีความสามารถในการสนับสนุนระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดและ Application ในอนาคตได้นานกว่า 15 ปี
- เพื่อพัฒนาองค์ความรู้และความเข้าใจต่อผลกระทบต่อกระบวนการดำเนินธุรกิจที่มาพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี
- เพื่อพิสูจน์ความสามารถในการให้บริการที่ดีกว่าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ที่มีความต้องการสูง

ระบบสื่อสารไร้สายในโครงการนี้เลือกใช้แพลตฟอร์ม Trilliant Smart Communications ของบริษัท Trilliant ซึ่งใช้เทคโนโลยี WiFi (คลื่นความถี่แบบ Unlicensed) บนย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย NAN เช่น การรวบรวมข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ในระบบ AMI และ Application ของ Smart City เช่น การควบคุมไฟสาธารณะ การจราจร และเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยในส่วนของโครงข่าย WAN จะใช้เทคโนโลยี WiFi ย่านความถี่ 5 GHz รองรับโครงข่าย Backhaul ของระบบ AMI และ Application ด้านโครงข่ายไฟฟ้า เช่น Distribution Automation, SCADA, การบูรณาการกับแหล่งพลังงานหมุนเวียน และ CCTV เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 ระบบสื่อสารในโครงการ Smart City Communications Platform ของบริษัท EVNHCPN

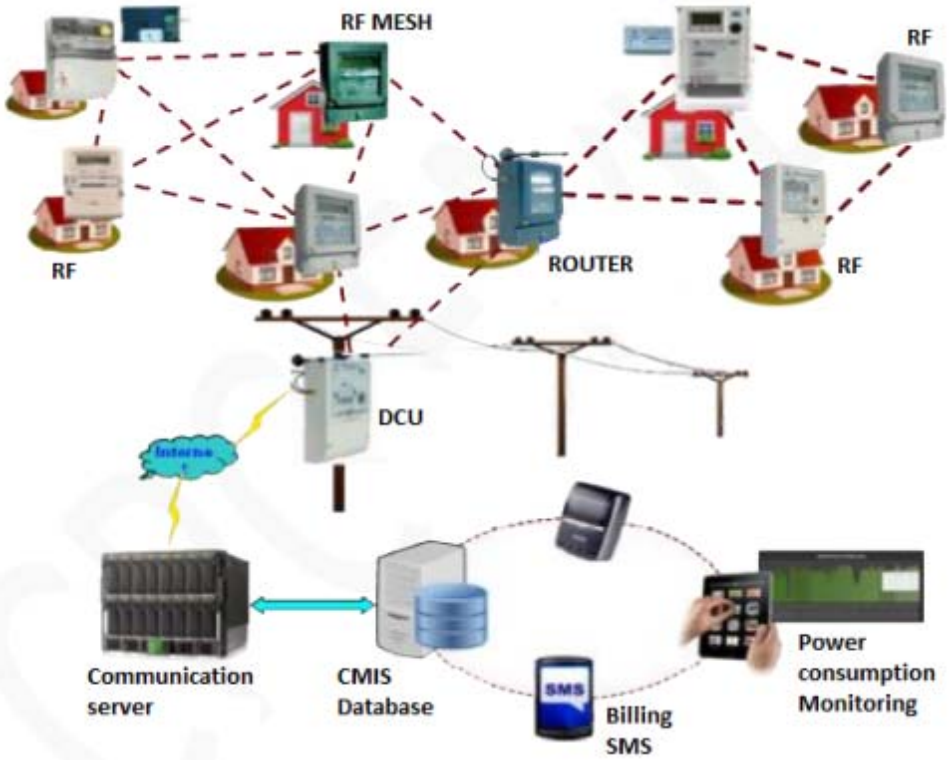
ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ สรุปได้ดังนี้

- แพลตฟอร์มระบบสื่อสารที่ใช้งาน สามารถรองรับความต้องการทางธุรกิจและรองรับสถานการณ์การใช้งานที่ยากลำบากได้
- การกำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุ (RF) ในประเทศเวียดนาม มีความสอดคล้องกับมาตรฐานสากล ซึ่งช่วยให้การใช้ระบบสื่อสารแบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz มีประสิทธิภาพการทำงานที่แข็งแกร่ง
- การสนับสนุนด้านข้อมูลแบบเวลาจริง ช่วยเพิ่มความสามารถในการตัดสินใจ ปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงาน และเพิ่มความสามารถในการให้บริการต่าง ๆ ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าของบริษัท EVN

- แพลตฟอร์มระบบสื่อสารที่สมบูรณ์ ช่วยลดความจำเป็นในการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการติดตั้ง มีค่าใช้จ่ายสูงทั้งการลงทุนในระยะสั้นและค่าบำรุงรักษาในระยะยาว
- แพลตฟอร์มที่ใช้งานมีความยืดหยุ่นสำหรับการต่อยอดการใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจากระบบ AMI เช่น ระบบ Distribution Automation และ Application อื่น ๆ ด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด และ Smart City ในอนาคต
- ได้รับบทเรียนที่มีคุณค่า เช่น ความต้องการด้านความรู้ความชำนาญ การเปลี่ยนแปลงทางธุรกิจ และความผูกพันของลูกค้า

<u>กรณีตัวอย่างที่ 3</u> ได้แก่ โครงการนำร่องระบบ AMR บริเวณตอนกลางของประเทศเวียดนาม ของบริษัท EVNCPC (EVN - Central Power Corporation) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งบริษัทในเครือของบริษัท EVN ระบบสื่อสารที่ใช้ในโครงข่าย NAN ของโครงการนี้ถูกตั้งชื่อว่า RF Spider ซึ่งมาจากการใช้งานระบบ RF Mesh คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 408.925 MHz และ 433.050 MHz สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับอุปกรณ์ Data Concentrator Unit (DCU)

ส่วนการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ DCU กับระบบข้อมูลกลางของบริษัท EVNCPC (โครงข่าย WAN) จะใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS และ 3G ของผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาพรวมของระบบสื่อสารแสดงดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 โครงข่าย RF Spider ในโครงการนำร่องระบบ AMR ของบริษัท EVNCPC

การออกแบบโครงข่ายสื่อสาร RF Spider ในโครงการนี้ มีการพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของพื้นที่ติดตั้ง เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างราบรื่น โดยกำหนดแนวทางในการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 แนวทางในการติดตั้งอุปกรณ์ในโครงการนำร่องระบบ AMR ของบริษัท EVNCPC

สภาพแวดล้อมของพื้นที่	ระยะห่างสูงสุดระหว่างอุปกรณ์		
	สมาร์ทมิเตอร์ – สมาร์ทมิเตอร์	DCU (หรือ Router) – สมาร์ทมิเตอร์	DCU (หรือ Router) – Router
โครงข่ายไฟฟ้าไม่ถูกแวดล้อมด้วยต้นไม้หรืออาคารสูง สมาร์ทมิเตอร์ติดตั้งอยู่ใน Composite Box บนเสาไฟฟ้า	150 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 3)	200 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 4)	300 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 4)
โครงข่ายไฟฟ้าถูกแวดล้อมด้วยต้นไม้หรืออาคารสูง สมาร์ทมิเตอร์ติดตั้งอยู่ใน Composite Box บนเสาไฟฟ้า	100 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 2)	150 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 2)	200 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 2)
โครงข่ายไฟฟ้าถูกแวดล้อมด้วยต้นไม้หรืออาคารสูง สมาร์ทมิเตอร์ติดตั้งอยู่ใน Steel Box บนเสาไฟฟ้า	70 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 2)	120 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 2)	200 เมตร (จำนวน Hop สูงสุด = 2)

ด้วยการออกแบบระบบสื่อสารที่มีการพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ อย่างรอบคอบ และประสบการณ์จากโครงการนำร่องระบบ AMR ในพื้นที่อื่นของประเทศเวียดนาม ทำให้โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารไร้สายในโครงการนี้สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีและมีเวลาตอบสนองที่เพียงพอต่อการทำงาน อย่างไรก็ตาม ยังพบปัญหาด้านการเชื่อมต่อบ้างในบางพื้นที่

ในระยะถัดไป บริษัท EVNCPC มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาต่อยอดโครงการระบบ AMR ทั้งหมดให้ไปสู่ระบบ AMI ซึ่งจะทำให้เกิดการสื่อสารแบบสองทางระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้ากับผู้ให้บริการไฟฟ้า โดยจะทดสอบการใช้งาน Application ขั้นสูงมากขึ้น เช่น อัตราค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง (Real Time Pricing) การตรวจจับการลักลอบใช้ไฟฟ้า และ Demand Response ซึ่งการที่จะรองรับ Application เหล่านี้ บริษัท EVNCPC วางแผนที่จะใช้งานเทคโนโลยี 4G สำหรับโครงข่าย WAN โดยปัจจุบันได้เปิดให้ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศเวียดนามยื่นข้อเสนอเพื่อให้บริษัท EVNCPC พิจารณา

2.6 ประเทศเกาหลีใต้ [18]

โครงการทดสอบด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่ใหญ่ที่สุดของประเทศเกาหลีใต้จัดทำขึ้นที่เกาะเชจู (Jeju Island) ตั้งแต่เดือนธันวาคม ค.ศ. 2009 ถึงเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2013 ซึ่งเป็นการทดสอบที่รวม Ecosystem ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เช่น ผู้ให้บริการไฟฟ้า บริษัทด้านระบบสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ และบริษัทด้านการบริหารรัฐกิจ เป้าหมายของโครงการนี้ คือ การทดสอบทางเทคนิคที่สำคัญของการพัฒนาระบบสื่อสารและระบบสารสนเทศ

กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า และเพื่อหารูปแบบธุรกิจที่เหมาะสมสำหรับภาคอุตสาหกรรม ภาพรวมของโครงการทดสอบที่เกาะเชจู แสดงดังรูปที่ 2-7

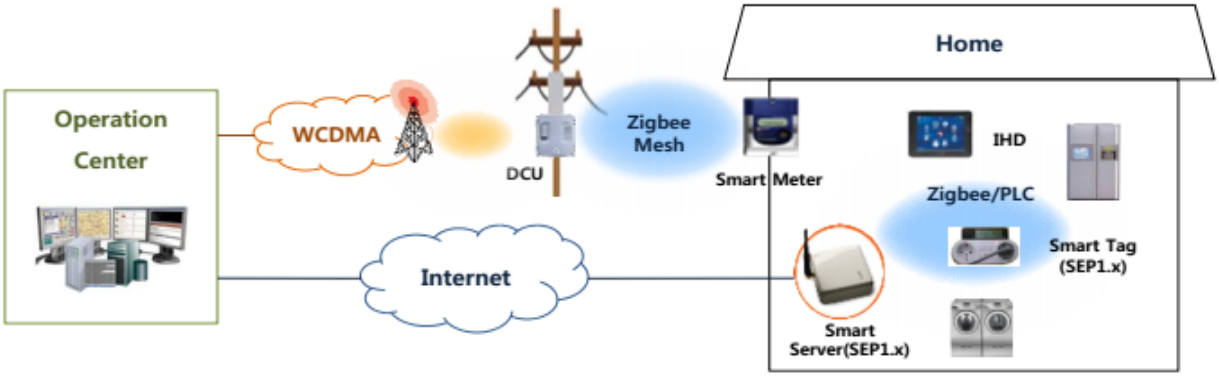
รูปที่ 2-7 โครงการทดสอบด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู ประเทศเกาหลีใต้

ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู แบ่งออกเป็น 5 ระบบย่อย ประกอบด้วย:

- Smart Power Grid: การพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้สามารถบูรณาการผู้จำหน่ายไฟฟ้าจากหลายแหล่งพลังงาน รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการพยากรณ์และแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องโดยอัตโนมัติ
- Smart Electrical Service: เตรียมความพร้อมในการให้บริการ เพื่อรองรับการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าเพื่อจูงใจให้เกิดการประหยัดพลังงาน รวมทั้งเตรียมความพร้อมสำหรับระบบซื้อขายไฟฟ้าแบบเวลาจริง
- Smart Customer: ติดตั้งระบบ AMI และสมาร์ทมิเตอร์ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ป้ายอัจฉริยะ (หรือ Smart Tag ซึ่งเป็นสวิทช์ที่สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละเครื่อง) อุปกรณ์เกตเวย์ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น โดยอุปกรณ์ทั้งหมดข้างต้นจะใช้สำหรับการตรวจสอบและการควบคุมการใช้พลังงานแบบเวลาจริงให้สอดคล้องกับอัตราค่าไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการประหยัดค่าไฟฟ้า ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปยังศูนย์ปฏิบัติการโครงข่ายของบริษัท KT Telecom ผ่านโครงข่าย WAN
- Smart Renewable Energy: สนับสนุนการผลิตไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน และการผลิตไฟฟ้าแบบ Distributed Energy Resource เพื่อสนับสนุนให้เกิดการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งานเอง
- Smart Transportation: สนับสนุนการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการอัดประจุไฟฟ้าและรูปแบบธุรกิจเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้า รวมทั้งพัฒนาระบบ Vehicle to Grid (V2G)

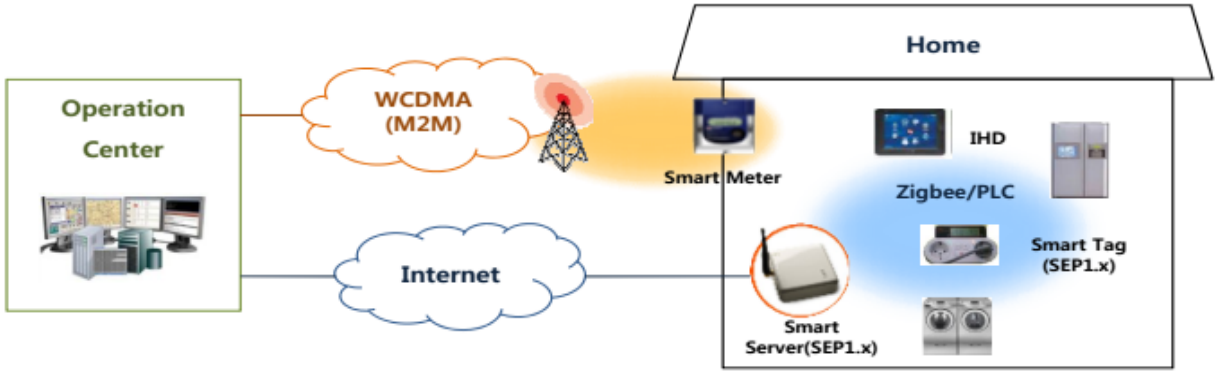
การใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย โดยหลักจะอยู่ที่ระบบ AMI และบริการด้านการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน ซึ่งระบบสื่อสารสำหรับระบบ AMI จะเป็นการสื่อสารระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง (Central Operation Center) แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1: ใช้เทคโนโลยี Zigbee Mesh ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย NAN เพื่อรวบรวมข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ในพื้นที่ใกล้เคียงไปยังอุปกรณ์ Data Concentrator Unit (DCU) จากนั้น อุปกรณ์ DCU จะสื่อสารกับศูนย์ปฏิบัติการกลางผ่านโครงข่าย WAN ซึ่งเลือกใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA ดังแสดงในรูปที่ 2-8



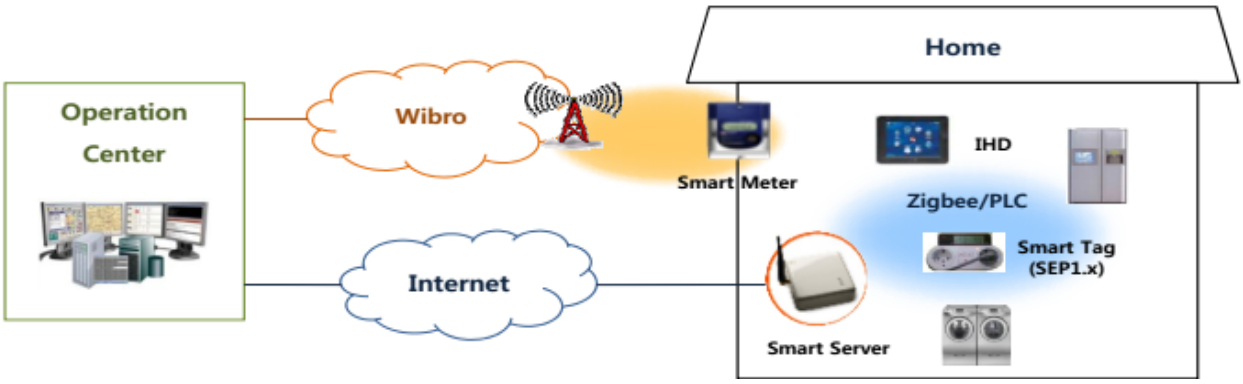
รูปที่ 2-8 ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบ AMI ที่เกาะเชจู รูปแบบที่ 1 Zigbee + WCDMA

รูปแบบที่ 2: ใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบ AMI ที่เกาะเชจู รูปแบบที่ 2 WCDMA (M2M)

รูปแบบที่ 3: ใช้โครงข่าย WiBro (เทคโนโลยี IEEE 802.16 ซึ่ง WiBro เป็นชื่อเรียกของ WiMax ในประเทศเกาหลีใต้) เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 ระบบสื่อสารสำหรับระบบ AMI ที่เกาะเชจู รูปแบบที่ 3 WiBro (M2M)

สำหรับบริการด้านการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านจะใช้การสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ตระหว่างอุปกรณ์ Smart Server ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในบ้าน กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง ส่วนโครงข่าย HAN ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ภายในบ้าน จะใช้เทคโนโลยี Zigbee สำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย และเทคโนโลยี PLC สำหรับการสื่อสารแบบมีสาย

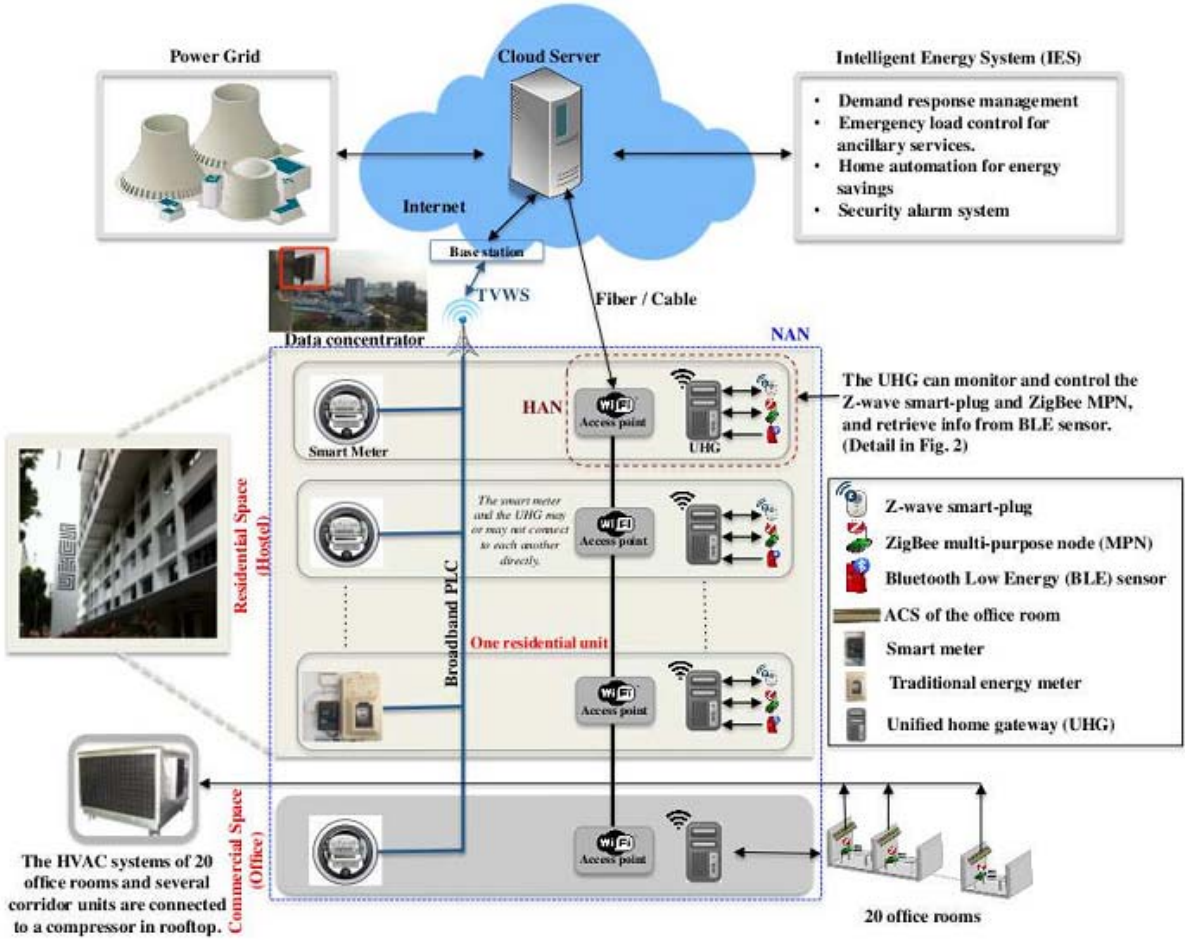
ตารางที่ 2-4 สรุปการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู ประเทศเกาหลีใต้

โครงข่าย	เทคโนโลยี	คุณลักษณะ
HAN	Zigbee (Unlicensed)	ใช้พลังงานต่ำ มีคุณลักษณะเหมาะสมสำหรับการใช้งานสำหรับสภาพแวดล้อมในอาคาร (Indoor)
NAN	Zigbee Mesh (Unlicensed)	- สร้างโครงข่ายแบบ Mesh เพื่อรองรับการใช้งาน Zigbee สำหรับสภาพแวดล้อมแบบ Outdoor - จำกัดจำนวนมิเตอร์ต่อ 1 DCU ตามความเหมาะสมของการใช้งาน Zigbee - มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษา (CAPEX และ OPEX) แต่ไม่ต้องเสียค่าบริการเพิ่มเติม
WAN	WCDMA (Licensed)	ต้องเสียค่าบริการโครงข่ายสำหรับอุปกรณ์ DCU ทุกตัว
	WCDMA M2M (Licensed)	ต้องเสียค่าบริการโครงข่ายสำหรับมิเตอร์ทุกเครื่อง
	WiBro (Licensed)	ต้องเสียค่าบริการโครงข่ายสำหรับมิเตอร์ทุกเครื่อง

2.7 ประเทศสิงคโปร์ [19]

Singapore University of Technology and Design (SUTD) เริ่มดำเนินโครงการทดสอบระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดแบบไร้สายในปี ค.ศ. 2012 ภายในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยและหอพักบุคลากร เป้าหมายของการทดสอบในโครงการนี้ คือ การพัฒนาวิธีการทางเทคนิคนวัตกรรมและมาตรการสนับสนุนเพื่อนำไปสู่การบริหารจัดการพลังงานอย่างชาญฉลาดผ่านการบูรณาการเชิงกลยุทธ์สำหรับบ้านอยู่อาศัยและภาคธุรกิจร่วมกับการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยี

ภาพรวมของโครงการทดสอบระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ SUTD แสดงดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 ภาพรวมของโครงข่าย HAN และ NAN ในโครงการทดสอบของ SUTD ประเทศสิงคโปร์

Application ที่นำมาทดสอบในโครงการนี้จะเน้นไปที่ Application ด้านการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร เช่น Demand Response และการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เพื่อประหยัดพลังงาน เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่เลือกใช้สำหรับการสื่อสารของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในอาคารและหอพักบุคลากร (โครงข่าย HAN/BAN) จะเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่น Z-Wave, Zigbee และ WiFi เป็นต้น ส่วนระบบสื่อสารไร้สายที่เลือกใช้สำหรับโครงข่าย NAN เพื่อเชื่อมโยงการสื่อสารไปยัง Cloud Server โครงการนี้เลือกใช้เทคโนโลยี TV White Space (TVWS) ซึ่งในประเทศสิงคโปร์ TVWS ยังเป็นการใช้งานคลื่นความถี่

แบบ Unlicensed โดยที่หน่วยงานกำกับดูแล Infocomm Development Authority of Singapore (IDA) ยังอยู่ระหว่างดำเนินการทดสอบเพื่อจัดทำมาตรฐานสำหรับ TVWS ในประเทศสิงคโปร์ ประโยชน์หลักที่ได้จากโครงการนี้ คือ การที่ TVWS ยังใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ จึงเป็นโอกาสที่ดีสำหรับผู้ให้บริการโทรคมนาคมรายเล็กหรือรายใหม่ในการติดตั้งระบบโครงข่ายสำหรับ Application ด้าน M2M (Machine to Machine) โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 2-5 รายละเอียดของระบบสื่อสารไร้สาย TV White Space ที่ใช้ในโครงการทดสอบของ SUTD

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ย่านความถี่	630 MHz – 742 MHz
แบนด์วิดท์ของหนึ่งช่องสัญญาณ	5 MHz
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	8 MHz (สามารถปรับเป็น 5, 6 หรือ 7 MHz)
อัตราข้อมูล	13.5, 12, 9, 6, 4.5, 3, 2.25, 1.5 Mbps
Step Size	1 MHz
Modulation	BPSK, QPSK, 16-QAM และ 64-QAM
Multiple Access	TDMA
ระยะสื่อสาร	รัศมี 1 กิโลเมตร
จำนวนโนด	สูงสุด 2000
กำลังส่ง	+12 to +30 dBm (ที่อุปกรณ์ Data Concentrator)
Receiver Sensitivity	-98 dBm
System Gain (ไม่รวมสายอากาศ)	128 dB (ที่อุปกรณ์ Data Concentrator)

ตารางที่ 2-5 แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของระบบสื่อสารไร้สาย TVWS ที่ใช้ในโครงการของ SUTD ซึ่งในปัจจุบัน IDA ยังอยู่ระหว่างการกำหนดมาตรฐานของ TVWS ในประเทศสิงคโปร์ ดังนั้น คลื่นความถี่ TVWS จึงยังสามารถใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ การสร้างโครงข่าย NAN ด้วย TVWS ยังมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน เช่น สามารถขยายขนาดของโครงข่ายได้เพียงแค่ติดตั้งสถานีฐานเพิ่มเติม ดังนั้น TVWS จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับระบบสื่อสารไร้สายในโครงข่าย NAN ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากมีระยะครอบคลุมที่กว้าง สามารถขยายโครงข่ายได้ง่าย และมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำ ดังนั้น การเลือกใช้งาน TVWS บนคลื่นความถี่แบบ Unlicensed จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed หรือระบบสื่อสารแบบมีสาย

สรุปการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ

ตารางที่ 2-6 การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ (โครงข่าย NAN/FAN)

ประเทศ	ลักษณะโครงการ	เจ้าของโครงการ	Application	การใช้คลื่นความถี่	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
เนเธอร์แลนด์	การใช้งานเชิงพาณิชย์	บริษัท Alliander	ระบบสมาร์ทมิเตอร์	Licensed	450 MHz/ 6 (2x3) MHz	CDMA 450	เป็นลักษณะความร่วมมือทางธุรกิจกับผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ ดังนั้น บริษัท Alliander จึงไม่ต้องขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง
นอร์เวย์	โครงการนำร่อง 1) Demo Steinkjer 2) Smart Energy Hvaler 3) Demo Lyse	Norwegian Smart Grid Center (NSGC)	ระบบสมาร์ทมิเตอร์	Unlicensed	• 433 MHz/ 1.74 MHz • 444 MHz/ 150 (6x25) kHz • 868 MHz/2 MHz	RF Mesh	ผลการทดสอบพบว่าย่านความถี่ 433-444 MHz ทำงานได้ดีกว่าย่านความถี่ 868 MHz
สหรัฐอเมริกา	การใช้งานเชิงพาณิชย์ และโครงการนำร่องจำนวนมาก	ผู้ให้บริการไฟฟ้าหลายราย	ระบบ AMI	Licensed และ Unlicensed	นิยมใช้ย่าน 900 MHz/26 MHz (Unlicensed)	RF Mesh/ Zigbee	ส่วนใหญ่มักเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed แต่ก็มีผู้ให้บริการไฟฟ้าบางรายใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed

ประเทศ	ลักษณะโครงการ	เจ้าของโครงการ	Application	การใช้คลื่นความถี่	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
จีน	โครงการนำร่อง ที่ Zhuhai Special Economic Zone	China Southern Grid (CSG)	ระบบ Distribution Automation	Licensed	1,800 MHz/20 MHz	LTE TDD	ใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปของบริษัท Huawei ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง
เวียดนาม	โครงการนำร่อง ที่ 1) จังหวัด Thái Nguyên 2) นิคมฯ Saigon Hi-Tech Park 3) ตอนกลางของประเทศ	1) บริษัท EVNNPC 2) บริษัท EVNHCMC 3) บริษัท EVNCPC	ระบบ AMR และ Smart City	Unlicensed	<u>ระบบ AMR</u> • 408.925 MHz/ 50 kHz • 433 MHz/ 1.74 MHz <u>Smart City</u> • 2.4 GHz/100 MHz • 5 GHz/150 MHz	<u>ระบบ AMR</u> RF Mesh <u>Smart City</u> - WiFi	- โครงการ Smart City ใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปของบริษัท Trillian ซึ่งใช้เทคโนโลยี WiFI 2.4/5 GHz - ระบบ AMR ที่จังหวัด Thái Nguyên ถือว่าไม่ประสบความสำเร็จ
เกาหลีใต้	โครงการทดสอบด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู	ความร่วมมือระหว่างหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน	ทดสอบหลาย Application แต่การใช้งานระบบสื่อสารไร้สายจะอยู่ที่ระบบ AMI เป็นหลัก	Unlicensed	2.4 GHz/100 MHz	Zigbee Mesh	การทดสอบในโครงการยังรวมถึงการเชื่อมต่อกับสมาร์ทมิเตอร์โดยตรง ผ่านระบบ WCDMA และ WiBro (เป็นชื่อเรียกของ WiMax ในเกาหลีใต้)

ประเทศ	ลักษณะโครงการ	เจ้าของโครงการ	Application	การใช้คลื่นความถี่	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
สิงคโปร์	โครงการนำร่องที่ Singapore University of Technology and Design (SUTD)	Singapore University of Technology and Design (SUTD)	การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร	Unlicensed	630-742 MHz/ 112 MHz	TV White Space (TVWS)	TVWS ยังไม่มีการกำกับดูแลในสิงคโปร์

บทที่ 3
วิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่ สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

จากบทที่ 2 ซึ่งเป็นการศึกษาตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ จำนวน 7 ประเทศ ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์ สหรัฐอเมริกา จีน เวียดนาม เกาหลีใต้ และสิงคโปร์ โดยศึกษาจากโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในแต่ละประเทศข้างต้น ซึ่งแต่ละประเทศมีการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในย่านความถี่ที่แตกต่างกัน และเป็นทั้งกรณีคลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed ทั้งนี้ เนื่องจากบริบทในการเลือกใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน ซึ่งในบทที่ 3 นี้ จะเป็นการวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของแต่ละประเทศข้างต้น

3.1 ประเทศเนเธอร์แลนด์

ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้แก่ การติดตั้งระบบสมาร์ทมิเตอร์ของบริษัท Alliander ซึ่งเป็นผู้ให้บริการระบบจำหน่ายไฟฟ้าและระบบจำหน่ายก๊าซขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยบริษัท Alliander เลือกใช้เทคโนโลยี CDMA 450 ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 450 MHz เป็นระบบสื่อสารหลักของระบบสมาร์ทมิเตอร์

บริษัท Alliander ได้เริ่มดำเนินการศึกษา Proof of Concept สำหรับความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการใช้เทคโนโลยี CDMA เป็นระบบสื่อสารสำหรับระบบสมาร์ทมิเตอร์ รวมไปถึงประเด็นด้านความเหมาะสมทางธุรกิจตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009 โดยร่วมดำเนินการในลักษณะ Consortium กับผู้ให้บริการโทรคมนาคมจำนวน 2 ราย ได้แก่ บริษัท KPN และบริษัท Enexis จากนั้น ในปี ค.ศ. 2011 บริษัท Alliander ได้เริ่มศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยี CDMA สำหรับ Application อื่น ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด นอกเหนือไปจากระบบสมาร์ทมิเตอร์ รวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกระหว่างเทคโนโลยี CDMA กับเทคโนโลยีระบบสื่อสารอื่น ๆ ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้ดำเนินการมาทั้งหมด ในปี ค.ศ. 2012 บริษัท Alliander ตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยี CDMA 450 สำหรับการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์

ทั้งนี้ ในการศึกษาขั้นแรก บริษัท Alliander ได้พิจารณาทางเลือกระหว่างการพัฒนาระบบสื่อสารของตนเองเปรียบเทียบกับการเลือกใช้บริการโครงข่ายสื่อสารของผู้ให้บริการโทรคมนาคม โดยมองว่าระบบสื่อสารที่จะนำมาใช้งานนั้น จะต้องสามารถรองรับความต้องการด้านระบบสื่อสารสำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้า ดังนี้

1) ต้องรับประกันอายุการใช้งานและสนับสนุนการจัดหาอุปกรณ์เป็นระยะเวลานาน เช่น มากกว่า 15 ปี
2) มีค่าใช้จ่ายและค่าบำรุงรักษาต่ำตลอดช่วงอายุการใช้งาน
3) รองรับความต้องการของแต่ละ Application ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน

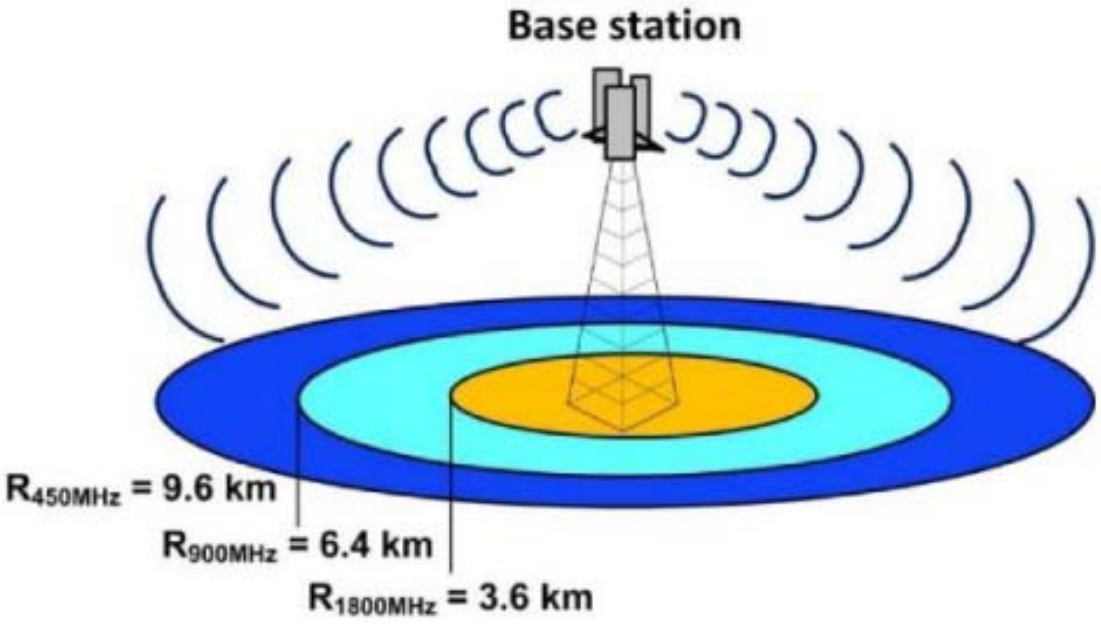
4) มีความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ และความพร้อมใช้งานสูง เนื่องจาก Application ในระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่ง

เมื่อพิจารณาแล้ว บริษัท Alliander มองว่าการพัฒนาระบบสื่อสารของตนเองเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า เนื่องจากการเลือกใช้บริการโครงข่ายสื่อสารของผู้ให้บริการโทรคมนาคมมีข้อด้อยที่ไม่ตอบโจทย์ความต้องการข้างต้นได้ เช่น เทคโนโลยีระบบสื่อสารมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งผู้ให้บริการโทรคมนาคมจำเป็นต้องปรับตัวตามเทคโนโลยี อีกทั้งมาตรฐานด้านการให้บริการและมาตรฐานด้านผลิตภัณฑ์ยังมุ่งเน้นไปที่การรองรับอุปกรณ์จำพวกสมาร์ทโฟน มากกว่าที่จะรองรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (Machine to Machine: M2M) นอกจากนี้ ระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่สูงมาก แต่จะมีจำนวนผู้ใช้งานหรือจำนวนอุปกรณ์ไม่มากนัก ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่แตกต่างจากการใช้งานของบริการโทรคมนาคมทั่วไป ซึ่งบริษัท Alliander ได้พิจารณาเลือกเทคโนโลยี CDMA 450 เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีแบบไร้สาย จึงมีข้อได้เปรียบด้านความสะดวกในการติดตั้งและมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำกว่าการเลือกใช้เทคโนโลยีแบบมีสาย อีกทั้งในประเทศเนเธอร์แลนด์มีการกำหนดใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 450 MHz โดยบริษัท Alliander มองว่าการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดควรใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เนื่องจากสามารถรับประกันความพร้อมใช้งาน ความเชื่อถือได้ และความปลอดภัย ซึ่งเทคโนโลยี CDMA 450 น่าจะเป็นทางเลือกเชิงกลยุทธ์ที่ดีที่สุดเนื่องจากมีข้อได้เปรียบดังนี้

- มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากใช้เทคโนโลยี Spread Spectrum ที่พัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานสำหรับกองทัพ ซึ่งมีการเข้ารหัสข้อมูลในลำดับแบบสุ่มและกระจายไปทั่วช่องสัญญาณแถบกว้าง
- มีสมรรถนะสูง เนื่องจากการใช้เทคโนโลยี Spread Spectrum ช่วยให้สามารถใช้ช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้รองรับผู้ใช้งานต่อเซลล์ได้มากขึ้น เป็นการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานลง ส่งผลให้ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Total Cost of Ownership) ลดลง
- รองรับโพรโทคอล TCP (Transmission Control Protocol) และ PPP (Point-to-Point Protocol)
- เหมาะสำหรับระบบสื่อสารในระบบ M2M ที่สำคัญ เนื่องจากมี Latency ต่ำ และรองรับ QoS

นอกจากนี้ ย่านความถี่ 450 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ต่ำ ยังมีลักษณะการกระจายสัญญาณที่เหมาะสมต่อระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด กล่าวคือ มีระยะทางสื่อสารที่ไกล ทำให้ขนาดของหนึ่งเซลล์สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้เป็นบริเวณกว้าง (รูปที่ 3-1) ส่งผลให้ช่วยลดจำนวนสถานีฐานที่จำเป็นต้องติดตั้ง ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการบำรุงรักษาจึงต่ำกว่ากรณีที่เลือกใช้ย่านความถี่ที่สูงกว่า อีกทั้งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำยังมีความสามารถในการทะลุทะลวงผนังบ้านหรืออาคารไปยังสมาร์ทมิเตอร์ที่อยู่ภายในได้ดี ซึ่งจากการศึกษาพบข้อแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยี CDMA 450 กับเทคโนโลยี GSM/GPRS ที่ย่านความถี่ 900 MHz ดังตัวอย่างการสรุปผลการประเมินทางเลือกเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายของบริษัท Alliander ในตารางที่ 3-1

บริษัท Alliander ได้จัดทำความร่วมมือทางธุรกิจกับบริษัท KPN ซึ่งเป็นผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 450 MHz ในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยบริษัท KPN จะเป็นผู้ติดตั้งและบริหารจัดการการใช้งานโครงข่ายสื่อสารไร้สาย CDMA 450 ให้กับบริษัท Alliander



รูปที่ 3-1 พื้นที่ครอบคลุมต่อเซลล์ เปรียบเทียบระหว่างย่านความถี่ 450 MHz 900 MHz และ 1,800 MHz

ตารางที่ 3-1 การประเมินเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของบริษัท Alliander

พารามิเตอร์ในการประเมิน	GSM 900 MHz	LTE 800 MHz	CDMA 450 MHz
รองรับการขยายขนาดโครงข่าย (Scalability)	มีเทคโนโลยีคู่แข่งในย่านความถี่เดียวกัน	มีเทคโนโลยีคู่แข่งในย่านความถี่เดียวกัน	ไม่มีเทคโนโลยีคู่แข่งในย่านความถี่เดียวกัน
มี Latency ต่ำ	ไม่ใช่	ใช่	ใช่
รองรับอัตราข้อมูลที่เพียงพอต่อความต้องการ	ยังไม่แน่นอน	ใช่	ใช่
มีความยืดหยุ่น	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ใช่
การทะลุทะลวงผนังอาคาร	พอใช้	พอใช้	ดี
ความพร้อมใช้งาน (Availability)	จำกัด	จำกัด	ใช่
ความเหมาะสมต่อ M2M Application	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม
การรบกวนกับระบบสื่อสารอื่น ๆ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ความคุ้มค่า/ความเป็นไปได้ในการลงทุนสำหรับพื้นที่กว้าง (เช่น ครอบคลุมทั้งประเทศ)	ใช่	ใช่	ใช่
การติดตั้ง	ง่าย	ง่าย	ง่าย
ความปลอดภัย	โครงข่ายสาธารณะ	โครงข่ายสาธารณะ	โครงข่ายปิด
การรองรับการใช้งานในระยะยาว	ไม่ใช่	ใช่	ใช่

นอกจากนี้ ในยุโรปยังได้มีการรวมกลุ่มระหว่างผู้ให้บริการสาธารณูปโภคทั้งด้านไฟฟ้า ก๊าซ น้ำ และหน่วยงานด้านโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญอื่น ๆ จัดตั้งเป็น European Utilities Telecom Council (EUTC) เพื่อให้ความร่วมมือและแลกเปลี่ยนข้อมูลทางด้านโทรคมนาคมระหว่างกัน โดย EUTC ได้ออก Position Paper เมื่อปี ค.ศ. 2013 [4] ระบุว่าจำเป็นต้องมีการจัดสรรคลื่นความถี่ให้กับผู้ให้บริการสาธารณูปโภคเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดย EUTC เสนอให้จัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน UHF (450-470 MHz) สำหรับใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากย่านความถี่ดังกล่าวมีความเหมาะสมทั้งในเชิงกลยุทธ์และในด้านเทคนิคที่จะรองรับการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์ โดยเฉพาะข้อได้เปรียบด้านระยะสื่อสารซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมกว้าง จะช่วยลดต้นทุนในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารได้อย่างมาก นอกจากนี้ ในย่านความถี่ 450-470 GHz ยังมีหลายเทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานสากล และผ่านการพิสูจน์การใช้งานจริงในระดับ Large Scale มาแล้ว ดังนั้น จึงถือว่ามีความเป็นไปได้ในทางเทคนิค อีกทั้งเป็นที่คาดหมายว่าย่านความถี่นี้มีแบนด์วิดท์เพียงพอต่อการใช้งานในระบบสมาร์ทมิเตอร์ ได้แก่ 2 x 3 MHz (กล่าวคือแบนด์วิทด์ 3 MHz ที่อยู่ติดกัน 2 บล็อก)

นอกจากย่านความถี่ 450-470 MHz แล้ว EUTC ยังเสนอให้จัดสรรพื้นที่ 10 MHz ในย่านความถี่ L-band (1,500 MHz) เพื่อรองรับ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่มีความต้องการด้านข้อมูลสูง รวมไปถึงการพิจารณาจัดสรรย่านความถี่อื่น ๆ เพิ่มเติมตามความเหมาะสม

3.2 ประเทศนอร์เวย์

ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศนอร์เวย์ ได้แก่ โครงการสาธิตนำร่องภายใต้ความร่วมมือของ Norwegian Smart Grid Center (NSGC) จำนวน 3 โครงการย่อย ได้แก่ 1) Demo Steinkjer 2) Smart Energy Hvaler และ 3) Demo Lyse เริ่มดำเนินการในปี ค.ศ. 2013 ซึ่งทุกโครงการนำร่องมุ่งเน้นไปที่การทดสอบระบบสมาร์ทมิเตอร์ที่ใช้งานเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่แตกต่างกัน

สรุปเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ NSGC เลือกใช้เพื่อการทดสอบใน 3 โครงการนำร่องดังกล่าว ดังนี้

- โครงข่าย NAN ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับอุปกรณ์ Concentrator ใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Radio Mesh (RM) โดยใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 433-444 MHz หรือ 868 MHz (ทดสอบการใช้งานทั้ง 2 ย่านความถี่)
- โครงข่าย WAN ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ Concentrator กับระบบ AMI Head-end ใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/EDGE ทั้งนี้ สมาร์ทมิเตอร์บางเครื่องยังสามารถเชื่อมโยงกับระบบ Head-end โดยตรงแบบ Point-to-Point ผ่านโครงข่ายเซลลูลาร์ได้เช่นกัน

การวิเคราะห์สาเหตุที่ NSGC เลือกใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Radio Mesh โดยใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 433-444 MHz หรือ 868 MHz สำหรับโครงข่าย NAN สามารถพิจารณาได้เป็น 2 ประเด็น โดยประเด็นแรก คือ การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed น่าจะเป็นเหตุผลจากการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในกรณีนี้ยังเป็นลักษณะโครงการนำร่อง และระบบสมาร์ทมิเตอร์ที่ทดสอบในทั้ง 3 โครงการย่อยมีขนาดรวมกันเพียง 10,000 มิเตอร์ ดังนั้น การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง จึงยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในระยะนี้ อีกทั้ง NSGC ยังต้องการทดสอบระบบสื่อสารที่หลากหลาย เช่น ทดสอบทั้งย่านความถี่ 433-

444 MHz และย่านความถี่ 868 MHz ส่วนอีกประเด็นหนึ่ง คือ การเลือกใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่ำ เนื่องจากย่านความถี่ต่ำมีลักษณะการกระจายสัญญาณที่เหมาะสม กล่าวคือ มีระยะทางสื่อสารไกล ทำให้ช่วยลดความจำเป็นในการติดตั้งอุปกรณ์ส่งต่อสัญญาณหรือขยายสัญญาณ โดยสามารถใช้งานสมาร์ทมิเตอร์เป็นโนดสื่อสารในโครงข่ายแบบ Mesh ได้ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติม อีกทั้งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำยังมีความสามารถในการทะลุทะลวงผนังอาคารได้ดี

และด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน การเลือกใช้โครงข่ายเซลลูลาร์สำหรับโครงข่าย WAN น่าจะมีเหตุผลมาจากความต้องการลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและลดระยะเวลาในการติดตั้งโครงข่ายสื่อสาร เนื่องจากยังเป็นเพียงโครงการนำร่องเท่านั้น ซึ่งโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดหลายแห่งก็มักเลือกใช้โครงการเซลลูลาร์เป็นโครงข่าย WAN เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่แล้ว และสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานเพิ่มเติม อีกทั้งโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดส่วนใหญ่มักจะเป็นระบบสมาร์ทมิเตอร์ (หรือระบบ AMI) ซึ่งไม่ใช่ Application ที่มีความสำคัญต่อการควบคุมโครงข่ายไฟฟ้า และยังมีขนาดจำนวนมิเตอร์ไม่มากนัก ดังนั้น การใช้โครงข่ายสาธารณะเช่นโครงข่ายเซลลูลาร์จึงถือเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ทั้งในมุมมองด้านความปลอดภัยและค่าใช้จ่ายในระยะยาว

อย่างไรก็ตาม โครงการนำร่องของ NGSC ก็พบปัญหาด้านระบบสื่อสารหลายประการ เช่น ระบบ Radio Mesh มีสมรรถนะที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยในบางพื้นที่พบปัญหาสมรรถนะการทำงานที่ไม่ดีนัก อีกทั้งการที่ยังต้องพึ่งพาโครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรคมนาคม ส่งผลไม่สามารถควบคุมและบริหารจัดการความพร้อมใช้งานและประสิทธิภาพในการทำงานของโครงข่ายสื่อสารได้ และควรมีข้อพิจารณาว่าเทคโนโลยีและมาตรฐานด้านโทรคมนาคมมักมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้งกว่าเทคโนโลยีในธุรกิจระบบโครงข่ายไฟฟ้า ดังนั้น ผู้ให้บริการโทรคมนาคมมีโอกาสปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีได้ตลอดเวลา ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะยาว

3.3 ประเทศสหรัฐอเมริกา

ประเทศสหรัฐอเมริกามีโครงการด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจำนวนมาก ทั้งที่ยังเป็นโครงการนำร่องและการใช้งานจริงเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะระบบสมาร์ทมิเตอร์หรือระบบ AMI เริ่มมีการใช้งานจริงแล้วในหลายพื้นที่ของประเทศ ด้วยการที่เป็นประเทศขนาดใหญ่และมีผู้ให้บริการไฟฟ้าจำนวนมากซึ่งรับผิดชอบการให้บริการไฟฟ้าในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในสหรัฐอเมริกา จึงพบการใช้คลื่นความถี่ทั้งแบบ Licensed และแบบ Unlicensed อย่างไรก็ตาม ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่มักเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มากกว่า

กรณีเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งต้องยื่นขออนุญาตใช้คลื่นความถี่จากคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร (Federal Communications Commission: FCC) จะมีข้อได้เปรียบหลัก คือ FCC จะอนุญาตให้สามารถส่งสัญญาณวิทยุด้วยกำลังส่งที่สูง อีกทั้งยังได้รับการปกป้องจากการรบกวนโดยสัญญาณอื่น ๆ กล่าวคือ หากมีผู้ใดส่งสัญญาณที่ทำให้เกิดการรบกวนภายในย่านความถี่ที่ได้รับอนุญาต ผู้ได้รับใบอนุญาตมีสิทธิดำเนินการตาม

กฎหมายเพื่อเรียกเก็บค่าเสียหายและขอให้หยุดการส่งสัญญาณรบกวนเหล่านั้นได้ จึงอาจกล่าวได้ว่าหากเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะสามารถรับประกันความเชื่อถือได้และความพร้อมใช้งานของโครงข่ายสื่อสารได้เป็นอย่างดี รวมทั้งไม่ต้องกังวลผลกระทบจากสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตาม การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในสหรัฐอเมริกาจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก เนื่องจากคลื่นความถี่เป็นทรัพยากรที่มีจำกัด และมีการแข่งขันสูงในกิจการโทรคมนาคม นอกจากนี้ การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มักจะได้รับคลื่นความถี่ที่มีขนาดแบนด์วิดท์แคบมาก (เช่น ไม่กี่ร้อย kHz) ส่งผลให้การนำมาใช้งานมีข้อจำกัด และอาจไม่เพียงพอที่จะรองรับความต้องการใช้งานของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะยาวได้

ดังนั้น ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่มักเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่ง FCC ได้จัดสรรหลายย่านความถี่ให้สามารถใช้งานเชิงพาณิชย์ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย เช่น ย่านความถี่ 900 MHz (902-928 MHz) ย่านความถี่ 2.4 GHz (2.4-2.5 GHz) และย่านความถี่ 5 GHz อย่างไรก็ตาม FCC ตั้งข้อกำหนดเพื่อจำกัดกำลังส่งในย่านความถี่แบบ Unlicensed เพื่อลดปัญหาการรบกวนระหว่างกัน และป้องกันไม่ให้สัญญาณมีระยะสื่อสารที่ไกลเกินไป ทั้งนี้ การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่มักเลือกใช้ย่านความถี่ 900 MHz สำหรับระบบสื่อสารในระบบ AMI เนื่องจากคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 900 MHz มีคุณสมบัติที่เหมาะสม เช่น มีระยะครอบคลุมที่กว้างและสามารถทะลุทะลวงผ่านผนังอาคารได้ดีกว่าย่านความถี่สูง โดยมีเทคโนโลยีที่นิยมในการใช้งาน ได้แก่ RF Mesh และ Zigbee บนย่านความถี่ 900 MHz

บริษัท San Diego Gas & Electric (SDG&E) ซึ่งเป็นผู้ให้บริการไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ ในเมืองซานดีเอโก รัฐแคลิฟอร์เนีย เลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 900 MHz สำหรับโครงข่าย NAN ในระบบ AMI เช่นกัน อย่างไรก็ตาม บริษัท SDG&E เห็นว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed น่าจะไม่สามารถรองรับยุทธศาสตร์ด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของบริษัทในระยะยาวได้ โดยมองว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed น่าจะเหมาะสมสำหรับระบบ AMI หรือ Application ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบโครงข่ายไฟฟ้าเท่านั้น แต่ในกรณี Application ด้านการตรวจสอบและควบคุมโครงข่ายไฟฟ้าในระดับ Wide Area ซึ่งที่มีความสำคัญสูงมาก รวมทั้งมีข้อมูลแบบเวลาจริงปริมาณมาก ควรจะใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จึงจะเหมาะสมมากกว่า อย่างไรก็ตาม ด้วยค่าใช้จ่ายที่สูงมากในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ทำให้บริษัท SDG&E ยังอยู่ในระหว่างการพิจารณาความเหมาะสมในประเด็นด้านค่าใช้จ่ายสำหรับการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับ Application ที่สำคัญต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งพิจารณาไปที่เทคโนโลยี WiMAX บนย่านความถี่ 3.65-3.70 GHz เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่า ถึงแม้ว่าย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz จะมีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่า แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูงมากในการขอใช้คลื่นความถี่ที่มีขนาดแบนด์วิดท์เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน

3.4 ประเทศจีน

ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศจีน ได้แก่ การพัฒนาระบบควบคุมระบบจำหน่ายอัตโนมัติ หรือ Distribution Automation (DA) ของ China Southern Grid (CSG) ซึ่งเป็นผู้ให้บริการไฟฟ้าที่รัฐบาลจีนเป็นเจ้าของ รับผิดชอบการให้บริการไฟฟ้าใน 5 จังหวัดชายแดนทางภาคใต้ของประเทศ

จีน โดยเลือกพื้นที่จัดทำโครงการ คือ เขตเศรษฐกิจพิเศษจูไห่ (Zhuhai Special Economic Zone) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ยังมีประชากรอาศัยอยู่ไม่มากนัก แต่ก็มีการเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งด้านประชากรและด้านเศรษฐกิจ

เดิมที CSG ได้พัฒนาโครงข่ายแบบมีสาย Optical Fiber เป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักของโครงข่ายสื่อสารภายในระบบโครงข่ายไฟฟ้า แต่ก็พบปัญหาหลายประการ เช่น ระบบ Distribution Automation มีโนดสื่อสารและบริการด้านการปฏิบัติการจำนวนมาก จึงเป็นเรื่องยากที่จะติดตั้ง Optical Fiber ไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ครบถ้วน อีกทั้งโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบ Distribution Automation ที่มีอยู่เดิมยังค่อนข้างล้าสมัย จึงยากต่อการบูรณาการกับโครงข่าย Optical Fiber ทำให้ไม่สามารถให้แบนด์วิดท์ที่เพียงพอสำหรับบริการใหม่ ๆ ได้ นอกจากนี้ ในบางพื้นที่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองเก่ายังมีอุปสรรคอย่างมากในการติดตั้งอุปกรณ์ Optical Fiber บนโครงข่ายไฟฟ้า อีกทั้งโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในพื้นที่ดังกล่าวยังเป็นลักษณะการใช้งานวงจรเช่าสาธารณะ (Public Leased Line) ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัยและคุณภาพของการสื่อสารได้

จากปัญหาข้างต้นของการใช้งานโครงข่ายแบบมีสาย ทำให้ CSG พิจารณาทางเลือกในการใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย โดยเริ่มดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ถึงความต้องการทางธุรกิจ และเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายทางเลือกต่าง ๆ โดยพิจารณาทั้งในแง่ของประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และความสามารถในการวิวัฒนาการของเทคโนโลยี และในท้ายที่สุด CSG พิจารณาเลือกใช้งานระบบ eLTE (Enterprise LTE) ของบริษัท Huawei ซึ่งถือเป็นแพลตฟอร์มแรกของโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบ Distribution Automation ที่ใช้เทคโนโลยี LTE โดยเทคโนโลยีที่ใช้ คือ LTE-TDD (LTE Time-Division Duplex) ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 1,800 MHz ทั้งนี้เนื่องจาก CSG มองว่าการเลือกใช้แพลตฟอร์มระบบสื่อสารแบบสำเร็จรูปจะช่วยลดปัญหาด้านการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ซึ่งจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการติดตั้ง มีค่าใช้จ่ายสูง และอาจเกิดปัญหาหลายประการในภายหลัง อีกทั้งแพลตฟอร์มดังกล่าวยังถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการควบคุมและการตรวจวัดแบบอัตโนมัติในระบบจำหน่ายโดยเฉพาะ และเทคโนโลยี LTE ก็เป็นเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศจีน เป็นเทคโนโลยีที่มีสมรรถนะสูง มีแบนด์วิดท์ที่กว้างและแข็งแรง มีระยะสื่อสารครอบคลุมพื้นที่ได้ไกลตลอดจนมีความยืดหยุ่น ความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ และสามารถรักษาระดับการรบกวนให้อยู่ในระดับต่ำที่สุด

นอกจากนี้ เนื่องจากระบบ eLTE เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Huawei ซึ่งได้รับใบอนุญาตในการใช้คลื่นความถี่ 1,800 MHz อยู่แล้ว ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ด้วยตนเอง อีกทั้งระบบสื่อสาร LTE ที่ใช้งานก็เป็นแพลตฟอร์มสำหรับระบบ Distribution Automation ของ CSG โดยเฉพาะ ดังนั้น CSG จึงสามารถควบคุมและบริหารจัดการโครงข่ายสื่อสารได้ทั้งหมด ซึ่งจะแตกต่างกับกรณีทั่วไปที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรคมนาคม ซึ่งเป็นลักษณะการขอใช้บริการโครงข่ายเท่านั้น จึงไม่สามารถควบคุมและบริหารจัดการความพร้อมใช้งานและประสิทธิภาพในการทำงานได้

ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในรูปแบบที่ผู้ให้บริการโทรคมนาคมซึ่งเป็นเจ้าของใบอนุญาตคลื่นความถี่ เป็นผู้พัฒนาระบบสื่อสารให้กับผู้ให้บริการไฟฟ้าสำหรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ถือเป็นอีกรูปแบบที่สามารถช่วยให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ได้ โดยไม่จำเป็นต้องขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายสูงมาก และอาจไม่คุ้มค่าหากนำมาใช้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเพียงอย่าง

เดียว รูปแบบธุรกิจดังกล่าวนี้ก็เริ่มเป็นที่นิยมในหลายประเทศ ตัวอย่างเช่น ความร่วมมือกันของบริษัท Alliander ซึ่งเป็นผู้ให้บริการไฟฟ้า กับบริษัท KPN ซึ่งเป็นผู้ให้บริการโทรคมนาคม สำหรับการใช้เทคโนโลยี CDMA 450 สำหรับระบบสมาร์ทมิเตอร์ ในประเทศเนเธอร์แลนด์

3.5 ประเทศเวียดนาม

ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศเวียดนามในรายงานฉบับนี้ มีกรณีตัวอย่าง 3 โครงการ ได้แก่

1) โครงการนำร่องระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติ (Automatic Meter Reading: AMR) จำนวน 14,000 มิเตอร์ที่จังหวัดท้ายเงวียน (Thái Nguyên) ทางตอนเหนือของประเทศเวียดนาม ของบริษัท EVNNPC ซึ่งเปิดตัวเมื่อเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2016 ระบบสื่อสารสำหรับโครงข่าย NAN เพื่อเชื่อมโยงสมาร์ทมิเตอร์หลายเครื่องในพื้นที่ใกล้เคียงไปยังอุปกรณ์ Concentrator เลือกใช้เทคโนโลยี RF Mesh ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 400 MHz (408.925 MHz) และเลือกใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G สำหรับโครงข่าย WAN ในการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ Concentrator กับศูนย์ข้อมูลท้องถิ่น ทั้งนี้ ระบบ AMR ในโครงการนี้ถือว่าไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากระบบสื่อสารไม่มีความเสถียรและมีความเชื่อถือได้ต่ำ โดยสามารถอ่านค่าจากมิเตอร์ได้เพียงประมาณ 85% ของจำนวนสมาร์ทมิเตอร์ทั้งหมดในโครงการ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ของโครงข่ายสื่อสารก็ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ
2) โครงการ Smart City Communications Platform ที่นิคมอุตสาหกรรม Saigon Hi-Tech Park ใกล้นครโฮจิมินห์ ของบริษัท EVNHCMC ดำเนินการแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 2016 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพิจารณาเลือกแพลตฟอร์มระบบสื่อสารที่ตอบสนองความต้องการทางธุรกิจของบริษัท EVN เช่น เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ลดการสูญเสียในโครงข่ายไฟฟ้า สนับสนุนโครงการด้านการส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ได้ข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อช่วยในการตัดสินใจต่าง ๆ และเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยการจัดทำโครงการในลักษณะ Smart City ครอบคลุมการใช้งานหลาย Application ระบบสื่อสารในโครงการนี้เลือกใช้แพลตฟอร์ม Trilliant Smart Communications ของบริษัท Trilliant ซึ่งใช้เทคโนโลยี WiFi บนย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย NAN เช่น การรวบรวมข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ในระบบ AMI และรองรับการสื่อสารสำหรับ Application ต่าง ๆ ของ Smart City เช่น การควบคุมไฟสาธารณะ การจราจร และระบบเซนเซอร์ ส่วนโครงข่าย WAN จะใช้เทคโนโลยี WiFi บนย่านความถี่ 5 GHz รองรับการทำงานเป็นโครงข่าย Backhaul ของระบบ AMI และการสื่อสารสำหรับ Application ด้านการตรวจสอบและควบคุมในระบบโครงข่ายไฟฟ้า เช่น Distribution Automation, SCADA, การบูรณาการกับแหล่งพลังงานหมุนเวียน และ CCTV เป็นต้น ซึ่งระบบสื่อสารในโครงการนี้สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี
3) โครงการนำร่องระบบ AMR บริเวณตอนกลางของประเทศเวียดนาม ของบริษัท EVNCPC ระบบสื่อสารที่ใช้ในโครงข่าย NAN ของโครงการนี้ถูกตั้งชื่อว่า RF Spider ซึ่งมาจากการใช้งานระบบ RF Mesh ซึ่งใช้

คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 408.925 MHz และ 433.050 MHz ในการเชื่อมต่อระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับอุปกรณ์ Data Concentrator Unit (DCU) ส่วนโครงข่าย WAN ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ DCU กับระบบข้อมูลกลางของบริษัท EVNCPC เลือกใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/3G ของผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารไร้สายในโครงการนี้สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีและมีเวลาตอบสนองที่เพียงพอต่อการทำงาน ถึงแม้ว่าจะพบปัญหาด้านการเชื่อมต่อบ้างในบางพื้นที่ก็ตาม

จากทั้ง 3 โครงการข้างต้น จะเห็นได้ว่ามี 2 โครงการที่เลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 400 MHz (408.925 MHz และ 433.050 MHz) และอีก 1 โครงการเลือกใช้เทคโนโลยี WiFi ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz

สำหรับโครงการที่เลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 400 MHz เนื่องจากเป็นโครงการนำร่องระบบ AMR ซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก และระบบ AMR ที่ใช้งานก็มีฟังก์ชันการทำงานเพียงแค่อ่านค่าการใช้ไฟฟ้าจากสมาร์ทมิเตอร์เท่านั้น ทำให้มีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่ไม่สูงมากนัก ดังนั้น จึงยังไม่มีความจำเป็นที่จะพิจารณาใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้ สาเหตุที่เลือกใช้ย่านความถี่ 400 MHz เนื่องจากคุณสมบัติที่เหมาะสมของย่านความถี่ 400 MHz เช่น มีระยะทางสื่อสารที่ไกล และสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดี ถึงแม้ว่าจะรองรับอัตราข้อมูลได้ต่ำ แต่ระบบ AMR ก็ไม่ได้มีความต้องการด้านอัตราข้อมูลที่สูงมากนัก ดังนั้น ย่านความถี่ 400 MHz จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตาม การออกแบบระบบ RF Mesh จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการออกแบบโครงข่ายเป็นอย่างดี เช่น ต้องพิจารณาจำนวนมิเตอร์และจำนวน Hop สูงสุด ภายในแต่ละโครงข่ายแบบ Mesh ให้เหมาะสม รวมทั้งต้องพิจารณาสภาพแวดล้อมซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ด้วย จะเห็นได้ว่าโครงการนำร่องระบบ AMR ของ EVNNPC (โครงการที่ 1) พบปัญหาด้านระบบสื่อสาร ทำให้ระบบ AMR ค่อนข้างมีปัญหาในการส่งข้อมูล ส่วนระบบ AMR ของ EVNCPC (โครงการที่ 3) สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ทั้งที่ 2 โครงการนี้เลือกใช้ระบบ RF Mesh ที่ย่านความถี่ 400 MHz เช่นเดียวกัน

ในส่วนของโครงข่าย WAN ทั้ง 2 โครงการเลือกใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เช่นเดียวกัน เนื่องจากสามารถนำมาใช้งานได้อย่างรวดเร็ว ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและระยะเวลาในการติดตั้งเมื่อเปรียบเทียบกับการพัฒนาโครงข่ายสื่อสารของตนเอง

กรณีโครงการ Smart City Communications Platform ของบริษัท EVNHCMC ซึ่งเลือกใช้เทคโนโลยี WIFi บนย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz เนื่องจากทาง EVNHCMC มองว่าการพัฒนาระบบ Smart City ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยจำนวนหลายระบบ และมีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่หลากหลาย ควรเลือกใช้แพลตฟอร์มระบบสื่อสารสำเร็จรูปแบบ End-to-End ซึ่งจะช่วยลดความจำเป็นในการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ซึ่งอาจทำให้เกิดความยุ่งยากในการติดตั้ง และมีค่าใช้จ่ายสูงทั้งการลงทุนในระยะสั้นและค่าบำรุงรักษาในระยะยาว ทั้งนี้ แพลตฟอร์มสำเร็จรูปของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยทั่วไป ผู้พัฒนามักนิยมเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่เป็นมาตรฐานสากลและนิยมใช้งานทั่วโลก เพื่อที่จะสามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้ในทุกพื้นที่ทั่วโลก เทคโนโลยีที่เป็นที่นิยม ได้แก่ WiFi และ Zigbee บนย่านความถี่ 2.4 GHz

รวมไปถึง WiFi บนย่านความถี่ 5 GHz โดยย่านความถี่ 5 GHz เริ่มเป็นที่นิยมใช้งานมากขึ้นในระยะไม่กี่ปีมานี้ เนื่องจากย่านความถี่ 2.4 GHz เริ่มมีการใช้งานที่หนาแน่นมากแล้ว ทั้งนี้ สำหรับ Application ด้าน Smart City ซึ่งมีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องรองรับ Application แบบเวลาจริง (เช่น การควบคุมระบบจำหน่ายไฟฟ้า) และ Application ที่มีปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ (เช่น ระบบกล้อง CCTV) ดังนั้น แพลตฟอร์ม Trilliant Smart Communications จึงเลือกใช้เทคโนโลยี WiFI ซึ่งจะมีความเหมาะสมต่อความต้องการดังกล่าวมากกว่า Zigbee

3.6 ประเทศเกาหลีใต้

ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศเกาหลีใต้ ได้แก่ โครงการทดสอบด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู (Jeju Island) ซึ่งเป็นโครงการด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่ใหญ่ที่สุดของประเทศเกาหลีใต้ เริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือนธันวาคม ค.ศ. 2009 ถึงเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2013 ซึ่งเป็นการทดสอบที่รวม Ecosystem ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ประกอบด้วยการทดสอบระบบย่อยจำนวน 5 ระบบ อย่างไรก็ตาม การใช้งานระบบสื่อสารไร้สายในโครงการนี้จะอยู่ที่ระบบ AMI และบริการด้านการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน เป็นหลัก

ระบบสื่อสารสำหรับระบบ AMI จะเป็นการสื่อสารระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง (Central Operation Center) ซึ่งในโครงการนี้จะทดสอบระบบสื่อสารไร้สายจำนวน 3 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1: ใช้เทคโนโลยี Zigbee Mesh ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย NAN และใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA สำหรับโครงข่าย WAN (รูปที่ 2-8)

รูปแบบที่ 2: ใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง (รูปที่ 2-9)

รูปแบบที่ 3: ใช้โครงข่าย WiBro (เป็นชื่อเรียกของ WiMax ในประเทศเกาหลีใต้) เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง (รูปที่ 2-10)

สำหรับบริการด้านการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านจะใช้การสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ตระหว่างอุปกรณ์ Smart Server (ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในบ้าน) กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง ส่วนโครงข่าย HAN ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในบ้าน จะใช้เทคโนโลยี Zigbee ในกรณีระบบสื่อสารไร้สาย และเทคโนโลยี PLC ในกรณีระบบสื่อสารแบบมีสาย

กล่าวโดยสรุป โครงข่าย HAN และโครงข่าย NAN ในโครงการทดสอบด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู จะเลือกใช้เทคโนโลยี Zigbee/Zigbee Mesh ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 2.4 GHz โดยพิจารณาจากข้อดีของเทคโนโลยี Zigbee ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานต่ำ จึงเหมาะสมกับระบบสื่อสารในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในบ้าน อีกทั้ง Zigbee สามารถรองรับความต้องการของการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในบ้านได้อย่างเพียงพอ เนื่องจากเป็นสภาวะแวดล้อมในอาคาร (Indoor) และมีระยะทางสื่อสารที่สั้น ทั้งนี้ เมื่อเลือกใช้เทคโนโลยี Zigbee สำหรับโครงข่าย HAN แล้ว จึงควรพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยี Zigbee สำหรับ

โครงข่าย NAN ด้วย เพื่อความสะดวกต่อการเลือกใช้อุปกรณ์ที่รองรับระบบสื่อสารเดียวกัน โดยในกรณีโครงข่าย NAN จะใช้สร้างโครงข่าย Zigbee แบบ Mesh เพื่อช่วยเพิ่มความทนทานและความเชื่อถือได้ให้กับโครงข่าย Zigbee ให้สามารถรองรับการทำงานในสภาพแวดล้อมภายนอก (Outdoor) อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยี Zigbee มีกำลังส่งที่ต่ำ จึงมีระยะทางสื่อสารที่สั้นและเสี่ยงต่อการถูกรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ ได้ง่าย ดังนั้น การใช้เทคโนโลยี Zigbee Mesh สำหรับโครงข่าย NAN จำเป็นต้องออกแบบอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะการพิจารณาจำกัดจำนวนมิเตอร์ต่ออุปกรณ์ DCU 1 ตัว ตามความเหมาะสมของเทคโนโลยี Zigbee และสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่

สำหรับโครงข่าย WAN ในโครงการทดสอบด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู จะใช้งาน 2 เทคโนโลยี ได้แก่ โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA และโครงข่าย WiBro (หรือ WiMax) ซึ่งทั้ง 2 เทคโนโลยีใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed โดยเป็นการใช้บริการโครงข่ายของผู้ให้บริการด้านโทรคมนาคม ดังนั้น ผู้ให้บริการไฟฟ้าจึงไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ แต่จะต้องเสียค่าบริการให้กับผู้ให้บริการโทรคมนาคม ทั้งนี้ เนื่องจากระบบ AMI และบริการด้านการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน ยังถือว่าไม่ใช่ Application ที่สำคัญของระบบโครงข่ายไฟฟ้า ดังนั้น จึงสามารถใช้โครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคมซึ่งเป็นโครงข่ายสาธารณะได้ เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการติดตั้งเมื่อเปรียบเทียบกับการพัฒนาโครงข่ายสื่อสารของตนเอง อย่างไรก็ตาม กรณีโครงข่ายสื่อสารสำหรับ Application ที่มีความสำคัญต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของโครงการนี้ เช่น การพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้สามารถบูรณาการผู้จำหน่ายไฟฟ้าจากหลายแหล่งพลังงาน หรือ การแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องโดยอัตโนมัติ ผู้ให้บริการไฟฟ้าจะใช้งานโครงข่ายสื่อสารของตนเอง เช่น โครงข่าย Optical Fiber และ PLC

3.7 ประเทศสิงคโปร์

ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศสิงคโปร์ ได้แก่ โครงการทดสอบระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดแบบไร้สาย ที่ Singapore University of Technology and Design (SUTD) ในปี ค.ศ. 2012 โดย Application ที่นำมาทดสอบในโครงการนี้จะเน้นไปที่ Application ด้านการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร เช่น Demand Response และการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เพื่อประหยัดพลังงาน เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่เลือกใช้สำหรับการสื่อสารของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในอาคารและหอพักบุคลากร (โครงข่าย HAN/BAN) จะเลือกใช้เทคโนโลยีสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่น Z-Wave, Zigbee และ WiFi เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้ถือเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในบ้านหรืออาคาร เนื่องจากเป็นการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องขออนุญาต และสามารถรองรับการทำงานในสภาวะแวดล้อมในอาคารได้อย่างเพียงพอ ซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่ในตลาดก็มักรองรับเทคโนโลยีเหล่านี้ ประเด็นที่น่าสนใจสำหรับกรณีประเทศสิงคโปร์ คือ การใช้เทคโนโลยี TV White Space (TVWS) บนย่านความถี่ 630 – 742 MHz สำหรับโครงข่าย NAN เพื่อเชื่อมโยงการสื่อสารจากแต่ละอาคารไปยัง Cloud Server ของโครงการ

TV White Space (TVWS) หมายถึง การนำคลื่นความถี่ของกิจการโทรทัศน์ในย่าน UHF (300-3,000 MHz) ที่ไม่มีการใช้งานในแต่ละพื้นที่มาใช้ประโยชน์สำหรับกิจการอื่น ๆ ซึ่งหลักการนี้ได้รับความสนใจอย่างมากในหลายพื้นที่ทั่วโลก โดยการนำคลื่นความถี่ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานสำหรับอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง และอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้กำลังส่งต่ำ โดย TVWS อาจเกิดขึ้นได้จากหลายวิธีการ เช่น

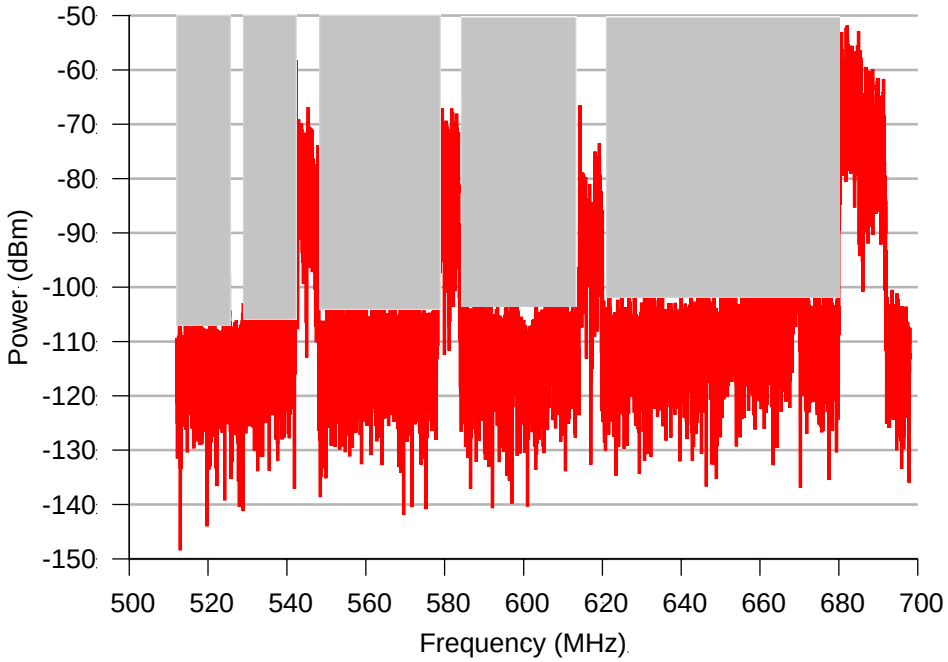
1) <u>การใช้งานช่วงความถี่ที่ว่างอยู่</u>: ในบางพื้นที่ การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ได้กำหนดให้มีช่องสัญญาณว่าง (Idle Channel) เอาไว้ เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนระหว่างกันของการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความถี่ใกล้เคียงกัน ซึ่งช่องสัญญาณว่างดังกล่าวสามารถนำมาใช้งานสำหรับ TVWS ได้ นอกจากนี้ สำหรับการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบแอนะล็อก ซึ่งสถานีส่งในพื้นที่ใกล้เคียงกันจะใช้งานความถี่ต่างกันเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนสัญญาณระหว่างกัน ก็สามารถนำมาจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับใช้งาน TVWS ในพื้นที่เล็ก ๆ ได้เช่นกัน
2) <u>การกำหนดความเข้ากันได้ทางเทคนิค</u>: ถึงแม้ว่าในพื้นที่นั้น ๆ มีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์อยู่ ก็ยังสามารถใช้งาน TVWS ในช่วงความถี่เดียวกับสัญญาณโทรทัศน์ได้ โดยการกำหนดระดับความสูงของสายอากาศและสถานที่ติดตั้ง รวมไปถึงกำลังส่งของอุปกรณ์ TVWS เพื่อให้มีความเข้ากันได้ทางเทคนิคกับการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ในบริเวณนั้น ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกัน
3) <u>การใช้งานในพื้นที่ที่อยู่นอกขอบเขตของการกระจายสัญญาณโทรทัศน์</u>: สถานีโทรทัศน์บางสถานีอาจไม่ได้ออกอากาศในบางพื้นที่ เช่น พื้นที่ที่อยู่ห่างไกล ดังนั้น พื้นที่ดังกล่าวจึงสามารถนำคลื่นความถี่มาใช้งานเป็น TVWS ได้ ซึ่งวิธีการนี้ถือเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดการรบกวนกับสัญญาณโทรทัศน์น้อยที่สุด แต่ก็หาโอกาสใช้งานได้น้อยเช่นกัน
4) <u>การใช้ช่วงเวลาที่ไม่มีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์</u>: ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่สำหรับการกระจายสัญญาณโทรทัศน์บางรายอาจไม่ได้ใช้งานคลื่นความถี่ดังกล่าวในทุกช่วงเวลา เช่น บางรายอาจไม่มีโปรแกรมออกอากาศในช่วงกลางคืน ดังนั้น ในช่วงเวลาดังกล่าวจึงสามารถนำคลื่นความถี่มาใช้งาน TVWS ได้ อย่างไรก็ตาม การใช้งาน TVWS ด้วยวิธีนี้มีความเสี่ยงที่ผู้ได้รับคลื่นความถี่สำหรับการกระจายสัญญาณโทรทัศน์อาจเปลี่ยนแปลงชั่วโมงการออกอากาศได้

ทั้งนี้ การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ในย่าน UHF ได้รับการจัดสรรให้เป็นกิจการหลัก (Primary Service) ในทุกภูมิภาคของโลกจากตารางการจัดสรรคลื่นความถี่ของ ITU ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการกำกับดูแลการใช้งานคลื่นวิทยุ (Radio Regulation) ซึ่งในการกำกับดูแลดังกล่าว กิจการหลักจะได้รับการปกป้องจากการรบกวนที่เป็นอันตรายจากกิจการรอง (Secondary Service) หรือจากอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ทำงานบนคลื่นความถี่เดียวกัน รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นความถี่เป็นบางโอกาส เช่น อุปกรณ์ TVWS นอกจากนี้ แม้ว่ากิจการรองจะไม่ได้รับการปกป้องการรบกวนจากกิจการหลัก แต่กิจการรองก็จะได้รับการปกป้องจากการรบกวนโดยอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นความถี่เป็นบางโอกาส ดังนั้น อุปกรณ์ TVWS จะต้องถูกพัฒนาขึ้นให้ทำงานเป็นบางโอกาสโดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อกิจการหลักและกิจการรอง แต่ TVWS จะไม่ได้รับการปกป้องการรบกวนจากทั้งกิจการหลักและกิจการรอง ภายใต้ข้อกำหนดการยกเว้นใบอนุญาตการใช้คลื่นความถี่ในลักษณะใกล้เคียงกับอุปกรณ์ซึ่งใช้กำลังส่งต่ำและใช้งานในระยะทางสั้น ๆ ที่ทำงานบนย่าน ISM (เช่น อุปกรณ์ WiFi) ดังนั้น การส่งคลื่นวิทยุของอุปกรณ์ TVWS จะต้องได้รับการควบคุมอย่างเหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนที่เป็นอันตรายต่อกิจการหลักและกิจการรอง

ปัจจุบัน หลายประเทศทั่วโลกได้เริ่มนำหลักการ TVWS มาใช้งานบ้างแล้ว ซึ่งโดยหลักการแล้ว TVWS ถือเป็นการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ แต่หน่วยงานกำกับดูแลด้านการสื่อสารในบางประเทศเริ่มมีการกำกับดูแลการใช้งาน TVWS ในเบื้องต้น เพื่อป้องกันการ

รบกวนกับเจ้าของคลื่นความถี่ที่ได้รับอนุญาต เช่น สถานีโทรทัศน์ อย่างไรก็ตาม ในประเทศสิงคโปร์ TVWS ยังไม่มีการออกระเบียบการกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่ TVWS โดยที่หน่วยงานกำกับดูแล Infocomm Development Authority of Singapore (IDA) ยังอยู่ระหว่างดำเนินการทดสอบเพื่อจัดทำมาตรฐานสำหรับ TVWS ในประเทศสิงคโปร์ ดังนั้น ประโยชน์หลักในการเลือกใช้คลื่นความถี่ TVWS ในโครงการนี้ คือ TVWS เป็นการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ อีกทั้งคลื่นความถี่ TVWS สามารถส่งสัญญาณโดยใช้กำลังส่งที่ค่อนข้างสูงได้ หากไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ นอกจากนี้ ย่านความถี่ UHF ในช่วงความถี่ต่ำ ยังมีความสามารถในการทะลุทะลวงได้ดี ดังนั้น คลื่นความถี่ TVWS จึงสามารถครอบคลุมระยะทางสื่อสารได้ไกลโดยไม่มีอุปสรรคด้าน Line of Sight จึงเป็นโอกาสที่ดีสำหรับผู้ให้บริการโทรคมนาคมรายเล็กหรือรายใหม่ในการติดตั้งระบบโครงข่ายสื่อสารสำหรับ Application ด้าน Machine to Machine โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำ

ลักษณะการใช้งานเทคโนโลยี TVWS จะมีลักษณะคล้ายกับเป็นเทคโนโลยี WiFi ที่มีระยะทางสื่อสารที่ไกลกว่า ในบางครั้งจึงมีการเรียกเทคโนโลยี TVWS ว่า “Super WiFi” ตัวอย่างการเกิด TVWS แสดงดังรูปที่ 3-2 ซึ่งพื้นที่สีเทาจะเป็นพื้นที่ที่สัญญาณโทรทัศน์ (เส้นสีแดง) มีกำลังส่งต่ำมาก อาจเนื่องมาจากสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้ช่องสัญญาณดังกล่าวอยู่ในตำแหน่งที่ไกลออกไปมาก ดังนั้น จึงสามารถใช้งานช่องสัญญาณในพื้นที่สีเทาเป็นคลื่นความถี่ TVWS ได้ โดยกำหนดกำลังส่งของอุปกรณ์ TVWS ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้ไปรบกวนสัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน



ที่มา: “A Vehicle-based Measurement Framework for Enhancing Whitespace Spectrum Databases”, https://www.sigmobile.org/mobicom/2014/talks/slides_1_2.pptx.

รูปที่ 3-2 ตัวอย่างการเกิดคลื่นความถี่ TV White Space

สรุปการวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ

ตารางที่ 3-2 การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ (โครงข่าย NAN/FAN)

ประเทศ	Application	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
เนเธอร์แลนด์	ระบบสมาร์ทมิเตอร์	450 MHz/6 MHz (Licensed)	CDMA 450	การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed - เนื่องจากสามารถรับประกันความพร้อมใช้งาน ความเชื่อถือได้ และความปลอดภัย การใช้ย่านความถี่ 450 MHz - จากการศึกษาเทคโนโลยีทางเลือกของบริษัท Alliander พบว่า CDMA450 เป็นตัวเลือกเชิงกลยุทธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจากย่านความถี่ 450 MHz มีระยะสื่อสารไกลกว่า และทะลุทะลวงไปยังสมาร์ทมิเตอร์ภายในอาคารได้ดีกว่าย่านความถี่สูง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการบำรุงรักษา เนื่องจากจำนวนสถานีฐานและอุปกรณ์สื่อสารที่จำเป็นลดลง
นอร์เวย์	ระบบสมาร์ทมิเตอร์	• 433 MHz/1.74 MHz • 444 MHz/150 kHz • 868 MHz/2 MHz (Unlicensed)	RF Mesh	การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed - เป็นโครงการนำร่องขนาด 10,000 มิเตอร์ และเน้นไปที่การทดสอบระบบสื่อสาร จึงยังไม่คุ้มค่าในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง การใช้ย่านความถี่ต่ำ (433-444 MHz/868 MHz) - ย่านความถี่ต่ำมีระยะสื่อสารไกล และทะลุทะลวงผนังอาคารได้ดี จึงช่วยลดความจำเป็นในการติดตั้งอุปกรณ์ทวน/ขยายสัญญาณ

ประเทศ	Application	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
สหรัฐอเมริกา	ระบบ AMI	มีการใช้งานหลากหลาย แต่นิยมใช้ย่าน 900 MHz/ 26 MHz (Unlicensed)	RF Mesh/ Zigbee	<u>Utility ส่วนใหญ่เลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed</u> - คลื่นความถี่แบบ Licensed มีค่าใช้จ่ายสูงมาก - การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มักได้รับแบนด์วิดท์จำกัด (เช่น ไม่กี่ร้อย kHz) ส่งผลให้การนำมาใช้งานมีข้อจำกัดและอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการในระยะยาว <u>Utility ส่วนใหญ่เลือกใช้ย่านความถี่ 900 MHz</u> - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่ FCC จัดสรร ได้แก่ ย่าน 900 MHz, 2.4 GHz, 5 GHz Utility จึงนิยมเลือกใช้ย่าน 900 MHz เนื่องจากมีระยะสื่อสารที่ไกลกว่า และทะลุทะลวงผนังอาคารได้ดีกว่าย่านอื่น ๆ <u>Utility ที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มักเลือกใช้โครงข่ายเซลลูลาร์</u> - การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ด้วยตนเอง ยังไม่คุ้มค่าสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดผลตอบแทนมากนัก
จีน	Distribution Automation	1,800 MHz/20 MHz (Licensed) * ใช้ระบบ eLTE ของบริษัท Huawei	LTE TDD	- CSG ได้พัฒนาโครงข่าย Optical Fiber เป็นโครงข่ายสื่อสารหลักในระบบไฟฟ้า แต่พบปัญหาในการรองรับระบบ Distribution Automation เช่น ยากต่อการติดตั้ง Optical Fiber ไปยังอุปกรณ์ภาคสนามได้ครบถ้วน และโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบ Distribution Automation ที่มีอยู่เดิมค่อนข้างล้าสมัย จึงยากต่อการนำมาบูรณาการกับโครงข่าย Optical Fiber - CSG จึงพิจารณาทางเลือกด้านระบบสื่อสารไร้สาย และมองว่าควรใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เนื่องจาก Distribution Automation เป็นการควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าซึ่งมีความสำคัญสูง

ประเทศ	Application	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
				- การใช้แพลตฟอร์มระบบสื่อสารแบบสำเร็จรูป ได้แก่ ระบบ eLTE ของบริษัท Huawei สามารถลดปัญหาด้านการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายได้ อีกทั้ง Huawei ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 1,800 MHz ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องขอใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง
เวียดนาม	ระบบ AMR และ Smart City	<u>ระบบ AMR</u> • 408.925 MHz/50 kHz • 433 MHz/1.74 MHz (Unlicensed) <u>Smart City</u> • 2.4 GHz/100 MHz • 5 GHz/150 MHz (Unlicensed)	<u>ระบบ AMR</u> - RF Mesh <u>Smart City</u> - WiFi	▪ **กรณีโครงการนำร่องระบบ AMR** <u>การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed</u> - ระบบ AMR มีขนาดไม่ใหญ่นัก และเป็นเพียงการอ่านหน่วยจากมิเตอร์ จึงมีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่ไม่สูงมาก ดังนั้น จึงยังไม่มีความจำเป็นที่จะพิจารณาใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed <u>การใช้ย่านความถี่ 400 MHz</u> - มีระยะสื่อสารที่ไกล และทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดี ถึงแม้ว่าจะรองรับอัตราข้อมูลได้ต่ำ แต่ก็เพียงพอสำหรับระบบ AMR ▪ **กรณีโครงการ Smart** City Communications Platform <u>การใช้เทคโนโลยี WIFI 2.4 GHz และ 5 GHz</u> - การพัฒนา Smart City ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยจำนวนมาก ควรเลือกใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูป เพื่อลดปัญหาจากการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย - แพลตฟอร์มสมาร์ทกริดโดยทั่วไปมักเลือกใช้เทคโนโลยีแบบ Unlicensed ที่เป็นมาตรฐานสากลและนิยมใช้งานทั่วโลก เช่น WiFi และ Zigbee บนย่าน 2.4 GHz รวมไปถึง WiFi บนย่าน 5 GHz

ประเทศ	Application	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
				- Smart City ต้องรองรับ Application ที่มีการสื่อสารแบบ Real Time (เช่น การควบคุมระบบจำหน่ายไฟฟ้า) และ Application ที่มีปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ (เช่น กล้อง CCTV) ดังนั้น WiFi จึงมีความเหมาะสมมากกว่า Zigbee
เกาหลีใต้	ทดสอบหลาย Application แต่การใช้งานระบบสื่อสารไร้สายอยู่ที่ระบบ AMI เป็นหลัก	2.4 GHz/100 MHz (Unlicensed)	Zigbee Mesh	<u>การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 2.4 GHz</u> - ใช้ Zigbee 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย HAN เนื่องจากเหมาะสมกับการสื่อสารของระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้าน - ใช้ Zigbee Mesh สำหรับโครงข่าย NAN เช่นเดียวกับ HAN เพื่อความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ที่รองรับระบบสื่อสารเดียวกับโครงข่าย HAN - เป็นเพียงโครงการนำร่องเพื่อทดสอบ Ecosystem ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด จึงยังไม่คุ้มค่าในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed
สิงคโปร์	การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร	630-742 MHz/112 MHz (Unlicensed)	TV White Space (TVWS)	<u>การใช้คลื่นความถี่ TV White Space</u> - ยังไม่มีการกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่ TVWS ในสิงคโปร์ - คลื่นความถี่ TVWS ถือเป็นคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่สามารถส่งสัญญาณโดยใช้กำลังส่งค่อนข้างสูงได้ หากไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อสัญญาณโทรทัศน์ - ย่านความถี่ 630–742 MHz มีความสามารถในการทะลุทะลวงได้ดี และครอบคลุมระยะทางได้ไกล จึงเป็นโอกาสดีในการพัฒนาโครงข่ายสื่อสารสำหรับ Application ด้าน M2M โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนไม่สูงนัก

บทที่ 4
เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ หรือควรให้เป็นย่านความถี่เฉพาะ

จากบทที่ 2 และบทที่ 3 ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ และวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของแต่ละประเทศ จะเห็นว่าแต่ละประเทศจะใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในย่านความถี่ที่แตกต่างกัน และเป็นทั้งกรณีคลื่นความถี่แบบ Licensed และคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่งสาเหตุในการเลือกใช้คลื่นความถี่ของแต่ละประเทศ จะมีหลายปัจจัยที่แตกต่างกันไป เช่น Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่ต้องการใช้งาน ความต้องการด้านระบบสื่อสารโดยเฉพาะประเด็นทางเทคนิค ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ความรวดเร็วในการพัฒนาโครงข่ายสื่อสาร และบริบทอื่น ๆ ที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ ซึ่งได้กล่าวถึงไปแล้วในบทที่ 3

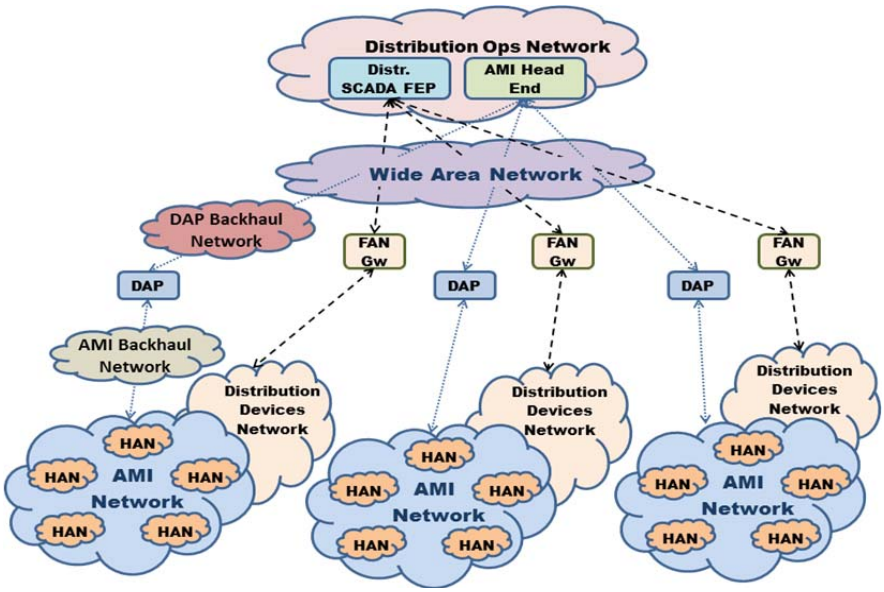
สำหรับบทที่ 4 จะเป็นการศึกษา วิเคราะห์ เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ สำหรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น ย่านความถี่ 430 MHz 868 MHz 915 MHz และ 2.4 GHz หรือควรเป็นคลื่นความถี่แบบ Licensed หรือ Unlicensed

4.1 สถาปัตยกรรมอ้างอิงของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

โครงสร้างของระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด [20] แบ่งได้เป็นหลายระดับชั้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามตัวอย่างสถาปัตยกรรมอ้างอิงของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (รูปที่ 4-1) ดังนี้

- **โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network)** – เนื่องจาก Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้ามักจะอยู่ในบ้านพักอาศัยเป็นหลัก จึงนิยมเรียกโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นโครงข่าย Home Area Network (HAN) ซึ่งเป็นระบบโครงข่ายของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้าน เครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เซนเซอร์ต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะอยู่ภายในพื้นที่บ้านพักอาศัย (อยู่หลังจากมิเตอร์ไฟฟ้า) โดยโครงข่าย HAN อาจถูกเรียกว่าโครงข่าย Building Area Network (BAN) ในกรณีที่เป็นอาคารขนาดใหญ่ หรือโครงข่าย Industrial Area Network (IAN) ในกรณีที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีบริบทเช่นเดียวกันกับโครงข่าย HAN คือ เป็นโครงข่ายของอุปกรณ์ทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้า
- **โครงข่าย Field Area Network (FAN)** – เป็นระบบโครงข่ายที่ถูกออกแบบมาเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภาคสนาม (Field Device) โดยเฉพาะสำหรับระบบ Distribution Automation (DA) ซึ่งโครงข่าย FAN โดยทั่วไปจะเป็นเส้นทางการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ภาคสนามไปยังสถานีไฟฟ้าต้นทาง หรืออาจเป็นการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ภาคสนามไปยังศูนย์ควบคุมกลางโดยตรง (เช่น ระบบ SCADA)

- **โครงข่าย Neighborhood Area Network (NAN)** – เป็นระบบโครงข่ายที่มีวัตถุประสงค์รองรับการเชื่อมต่อกับกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ภายในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์หนึ่งที่มีขนาดไม่กว้างมากนัก ในทางปฏิบัติ โครงข่าย NAN อาจครอบคลุมพื้นที่ขนาดไม่กี่ช่วงตึกสำหรับสภาพแวดล้อมภายในเมือง หรือพื้นที่ขนาดหลายตารางกิโลเมตรสำหรับสภาพแวดล้อมภายในชนบท
- **โครงข่าย Wide Area Network (WAN)** – เป็นระบบโครงข่ายที่มีหน้าที่หลักในการเชื่อมโยงโครงข่ายย่อยในพื้นที่ต่าง ๆ ทั้งหมด เช่น โครงข่าย FAN และจุดรวบรวมข้อมูล เข้ากับโครงข่ายหลัก (Core Network) ของผู้ให้บริการไฟฟ้า
- **จุดรวมข้อมูล (Data Aggregation Point: DAP)** – เป็นอุปกรณ์เชิงตรรกะ (Logical Device) ซึ่งแสดงจุดของการเปลี่ยนแปลงระหว่างโครงข่าย WAN กับโครงข่าย NAN ในระบบ Advanced Metering Infrastructure (AMI) ตัวอย่างจุดรวมข้อมูล เช่น Data Collection Unit, Cell Relay, Base Station และ Access Point เป็นต้น
- **ระบบ Advanced Metering Infrastructure (AMI)** – เป็นระบบโครงข่ายที่ออกแบบมาเพื่อรองรับการเชื่อมต่อแบบสองทางระหว่างผู้ให้บริการไฟฟ้า กับมิเตอร์ไฟฟ้าซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นสมาร์ทมิเตอร์ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับระบบ AMI โดยเฉพาะ ระบบ AMI ถือเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการให้บริการที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า
- **ระบบ Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)** – เป็นระบบที่ทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งควบคุมการทำงานของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด
- **Front End Processor (FEP)** – เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ที่ศูนย์ควบคุมกลาง มีหน้าที่เป็นส่วนประสานในการออกคำสั่งจาก DMS/SCADA และรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภาคสนามที่ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่าย



รูปที่ 4-1 สถาปัตยกรรมอ้างอิงของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าระบบสื่อสารไร้สายมีความเหมาะสมมากกว่าระบบสื่อสารแบบมีสาย สำหรับการรองรับสถาปัตยกรรมของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ รวมทั้งมีต้นทุนในการติดตั้งระบบสื่อสารที่ต่ำกว่า ซึ่งเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายแต่ละเทคโนโลยีก็อาจมีความเหมาะสมต่อ Application ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ในบางการเชื่อมโยงยังอาจมีความจำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายอยู่เช่นกัน ทั้งนี้ ปัจจุบันยังมีประเด็นข้อถกเถียงเกี่ยวกับการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดว่าควรเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งมีความปลอดภัยสูงกว่า แต่ก็ต้องได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่จากหน่วยงานกำกับดูแลที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายที่สูงในการขอจัดสรรคลื่นความถี่ หรือควรเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่งสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องขออนุญาต แต่ก็จะไม่ได้รับการปกป้องในการใช้งานดังเช่นกรณีคลื่นความถี่แบบ Licensed

เมื่อพิจารณาสถาปัตยกรรมอ้างอิงของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในรูปที่ 4-1 การพิจารณาเลือกใช้คลื่นความถี่และเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายจะมีความสำคัญที่สุดสำหรับโครงข่าย NAN/FAN เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่ต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมาก และเป็นโครงข่ายที่มักจะอยู่ในบริเวณย่านชุมชนที่มีการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายอื่น ๆ อย่างหนาแน่น อีกทั้งสภาพภูมิศาสตร์ในแต่ละพื้นที่ก็มีความแตกต่างกันมากซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารไร้สายแตกต่างกันไป ซึ่งปัญหาด้านระบบสื่อสารไร้สายที่มักพบเจอในโครงการนำร่องต่าง ๆ ก็มักจะเกิดขึ้นที่โครงข่าย NAN/FAN เป็นหลัก (แต่เนื่องจากโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดส่วนใหญ่จะเป็นระบบ AMI จึงนิยมเรียกเป็นโครงข่าย NAN) ส่วนโครงข่ายสื่อสารในระดับชั้นอื่น ๆ เช่น โครงข่าย HAN และโครงข่าย WAN มักไม่ค่อยพบปัญหามากนัก โดยโครงข่าย HAN เนื่องจากเป็นโครงข่ายซึ่งครอบคลุมภายในบ้าน จึงมีระยะสื่อสารที่ค่อนข้างสั้น และ Application ในโครงข่าย HAN ก็มักมีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่ไม่สูงมากนัก เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายส่วนใหญ่จึงสามารถรองรับความต้องการได้อย่างเพียงพอ ส่วนโครงข่าย WAN แม้จะมีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่สูงมาก แต่โครงข่าย WAN ไม่ได้มีการเชื่อมโยงกับอุปกรณ์ปลายทางโดยตรง โดยจะมีลักษณะเหมือนทางหลวงของการขนส่งข้อมูล จึงค่อนข้างง่ายต่อการออกแบบโครงข่ายสื่อสารมากกว่าโครงข่าย NAN ซึ่งอาจเปรียบเทียบโครงข่าย NAN เสมือนเป็นถนน ตรอก ซอกซอย จำนวนมากในย่านชุมชนหนาแน่น

ดังนั้น การพิจารณาข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ ในบทที่ 4 นี้ จะพิจารณาในมุมมองของโครงข่าย NAN/FAN เป็นหลัก เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่อาจกล่าวได้ว่ามีความสำคัญมากที่สุดในการออกแบบโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

4.2 การเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับคลื่นความถี่แบบ Unlicensed

ปัจจุบันยังคงมีข้อถกเถียงมากมายเกี่ยวกับเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยเฉพาะข้อถกเถียงด้านความเหมาะสมระหว่างการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed กับแบบ Unlicensed โดยในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาข้อดีและข้อเสียทางเทคนิคของทั้งกรณีคลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed ในมุมมองของพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบสื่อสารไร้สาย เช่น ความพร้อมใช้งาน ความเชื่อถือได้ ความหน่วงของสัญญาณ แบนด์วิดท์ พื้นที่ครอบคลุม โครงสร้างพื้นฐาน ความปลอดภัย และคุณภาพของสัญญาณ (ในที่นี้จะพิจารณาจากค่า Signal-to-Noise Ratio)

ตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2 แสดงรายการเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed ที่มีศักยภาพสำหรับการนำมาใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้จะพิจารณาจากเทคโนโลยีเหล่านี้เป็นหลัก

ตารางที่ 4-1 เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed [21, 22]

ย่านความถี่ (MHz)	< 700	700 - 1000	1400 - 1900	2000 - 2700	3300 - 3700
เทคโนโลยี	xHRPD HRPD EV-DO CDMA2000 IEEE 802.15.4g-e	LTE WiMAX HSPA+ WCDMA GPRS/EDGE xHRPD HRPD EV-DO CDMA 2000 IEEE 802.15.4g-e	LTE WiMAX HSPA+ WCDMA GPRS /EDGE xHRPD HRPD EV-DO CDMA 2000 IEEE 802.15.4g-e	LTE WiMAX HSPA+ WCDMA	LTE WiMAX HSPA+ WCDMA

ตารางที่ 4-2 เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed [21, 22]

ย่านความถี่ (MHz)	902 - 928	2400 - 2483.5	5725 – 5875
เทคโนโลยี	IEEE 802.15.4g-e IEEE 802.11ah	IEEE 802.15.4g-e IEEE 802.11n	WiGRID IEEE 802.11ac

4.2.1 ความพร้อมใช้งานและความเชื่อถือได้ (Availability and Reliability)

<u>คลื่นความถี่แบบ Licensed</u>

การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งเป็นคลื่นความถี่เฉพาะสำหรับผู้ได้รับอนุญาตใช้คลื่นความถี่เท่านั้น จะช่วยให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถใช้งานระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้อย่างราบรื่น โดยปราศจากปัญหาด้านการรบกวนหรือการชนกันของคลื่นความถี่ เนื่องจากการกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ในทุกประเทศทั่วโลก จะมีข้อกำหนดทางกฎหมายในการบังคับใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งานอื่น ๆ ส่งสัญญาณที่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อผู้ได้รับใบอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ ซึ่งหากมีผู้ใช้งานรายใดส่งสัญญาณที่ทำให้เกิดการรบกวนภายในย่านความถี่ที่ได้รับอนุญาต ผู้ได้รับใบอนุญาตมีสิทธิดำเนินการตามกฎหมายเพื่อเรียกเก็บค่าเสียหายและขอให้หยุดการส่งสัญญาณรบกวนเหล่านั้นได้ ดังนั้น การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะรับประกันความพร้อมใช้งานและความเชื่อถือได้ของโครงข่ายสื่อสารได้เป็นอย่างดี

คลื่นความถี่แบบ Unlicensed

ข้อได้เปรียบของการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed คือ ผู้ใช้งานทุกคนสามารถใช้งานคลื่นความถี่ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ดังนั้น คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จึงดึงดูดความสนใจจากผู้ผลิตอุปกรณ์จำนวนมาก อย่างไรก็ตาม การใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed จะไม่ได้รับการปกป้องหรือการรับประกันการใช้งานใด ๆ จากข้อกำหนดในการกำกับดูแล ดังนั้น ผู้ให้บริการไฟฟ้าจึงต้องพึงระวังว่าโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอาจพบปัญหาเป็นบางเวลาเนื่องจากการรบกวนจากระบบสื่อสารอื่น ๆ และในทางกลับกัน โครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดก็อาจส่งผลกระทบรบกวนต่อระบบอื่น ๆ เช่น โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย หรืออุปกรณ์ IoT ได้เช่นกัน

4.2.2 ความหน่วงของสัญญาณ (Latency)

คลื่นความถี่แบบ Licensed

โครงข่ายสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เช่น 4G และ WiMAX โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีค่า Latency ต่ำมาก ดังนั้น จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับ Application ที่สำคัญในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่ต้องการการสื่อสารข้อมูลแบบเวลาจริง (Real time) การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับผู้ให้บริการไฟฟ้าในการใช้งานโครงข่ายสื่อสารเพื่อรองรับ Application ที่ต้องการความเร็วของข้อมูลสูง เช่น ระบบ AMI, Demand Response และ Distribution Automation ทั้งนี้ โครงข่ายสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed โดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่า Latency สูงกว่าโครงข่ายสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มาก เช่น อาจมีค่า Latency สูงกว่าถึง 100 เท่า

คลื่นความถี่แบบ Unlicensed

เนื่องจากการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จะถูกจำกัดกำลังส่ง ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed โดยทั่วไป จึงจำเป็นต้องใช้การสร้างโครงข่ายแบบ Mesh หรือ Multi-hop เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้และขนาดของโครงข่าย ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มกระบวนการในการประมวลผลสำหรับการสื่อสารในแต่ละ Hop และอาจก่อให้เกิดปัญหาด้าน Latency ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับ Application ที่ต้องการการสื่อสารข้อมูลแบบเวลาจริง เช่น Demand Response ดังนั้น ผู้ให้บริการไฟฟ้าจะต้องมีการจัดทำแผนธุรกิจที่ดี เกี่ยวกับการนำ Application หรือบริการในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมาใช้งานในระยะยาว โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมของระบบสื่อสารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากหากมีการให้บริการ Application ที่มีความต้องการด้านระบบสื่อสารมากขึ้นในอนาคต อาจส่งผลให้เกิดความต้องการแบนด์วิดท์ที่สูงเกินกว่าที่คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จะสามารถรองรับได้เพียงพอ

4.2.3 แบนด์วิดท์

คลื่นความถี่แบบ Licensed

การใช้งานระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดบนคลื่นความถี่แบบ Licensed จะได้รับการรับประกันแบนด์วิดท์ (Guaranteed Bandwidth) ดังนั้น ผู้ให้บริการไฟฟ้าจึงสามารถวางแผนและบริหารจัดการการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในขณะเดียวกัน คลื่นความถี่แบบ Licensed ถือเป็นทรัพยากรที่มีจำกัด และมีความต้องการสูงมากในกิจการโทรคมนาคม จึงเป็นเรื่องยากและมีค่าใช้จ่ายสูงในการขอใช้คลื่นความถี่ รวมทั้งอาจมีข้อจำกัดด้านขนาดแบนด์วิดท์ที่ได้รับการจัดสรรให้สามารถใช้งานได้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว ผู้ให้บริการไฟฟ้าที่ขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มักจะได้คลื่นความถี่ที่มีขนาดแบนด์วิดท์แคบมาก เช่น เพียงไม่กี่ร้อย kHz ส่งผลให้การนำมาใช้งานมี

ข้อจำกัด และอาจไม่เพียงพอที่จะรองรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังนั้น ผู้ให้บริการไฟฟ้าจำเป็นต้องวางแผนการใช้งานแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด หรือเลือกใช้งานคลื่นความถี่แบบ Licensed เฉพาะสำหรับ Application ที่มีความสำคัญและมีความต้องการด้านระบบสื่อสารสูง และพิจารณาเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับ Application ที่มีความสำคัญน้อยกว่า

คลื่นความถี่แบบ Unlicensed

ตามที่กล่าวไปแล้วว่ากรณีการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มักเป็นการสร้างโครงข่ายแบบ Mesh หรือ Multi-hop และเนื่องจากการสื่อสารในแต่ละ Hop จำเป็นต้องมีการใช้คลื่นความถี่ทุกครั้ง เช่น เส้นทางการสื่อสาร 2 Hop ก็จะต้องใช้คลื่นความถี่ 2 ครั้ง และทุก Hop ที่เพิ่มขึ้นก็จะเป็นการสื่อสารที่เพิ่มขึ้นในโครงข่ายสื่อสาร ทำให้เป็นการเพิ่มการใช้งานแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น จึงเป็นข้อจำกัดสำหรับโครงข่ายแบบ Mesh ที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่จำเป็นต้องจำกัดจำนวน Hop สูงสุดในโครงข่ายให้เหมาะสม และด้วยข้อจำกัดดังกล่าว การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จึงเหมาะสมสำหรับ Application ที่มีความต้องการด้านระบบสื่อสารไม่สูงมากนัก

4.2.4 พื้นที่ครอบคลุมและโครงสร้างพื้นฐาน

คลื่นความถี่แบบ Licensed

การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ช่วยให้สามารถส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงขึ้น ทำให้มีกำลังของสัญญาณที่แข็งแรง และลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน ส่งผลให้ช่วยเพิ่มสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยเฉพาะในด้านพื้นที่ครอบคลุม (Coverage) และอัตราข้อมูล (Throughput) เช่น โครงข่ายสื่อสารไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed อาจสามารถส่งสัญญาณระหว่างแต่ละจุดปลายทางได้เป็นระยะทางถึง 20 ไมล์ ซึ่งอาจสูงกว่าระยะทางสื่อสารในกรณีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ถึง 100 เท่า ดังนั้น สถานีฐานหรืออุปกรณ์สื่อสารระหว่างแต่ละจุดปลายทางจะสามารถสื่อสารกันได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อทวนสัญญาณ ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน รวมทั้งค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมในระยะยาว

คลื่นความถี่แบบ Unlicensed

การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจะมีปัญหาหลักในด้านพื้นที่ครอบคลุมและโครงสร้างพื้นฐาน โดยจะมีความต้องการด้านโครงสร้างพื้นฐานที่สูงขึ้น เนื่องจากข้อจำกัดด้านระยะทางสื่อสารของสัญญาณ โครงข่ายสื่อสารจึงจำเป็นต้องมีโนดระหว่างกลางจำนวนมากเพื่อช่วยทวนสัญญาณหรือส่งต่อสัญญาณ ซึ่งจะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการบำรุงรักษา นอกจากนี้ ในพื้นที่ชนบท หรือพื้นที่ที่จุดปลายทางแต่ละจุดมีระยะทางที่ห่างกันมาก หรือกรณีที่ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีขนาดใหญ่มาก โครงข่ายแบบ Mesh อาจไม่ใช่ทางเลือกที่คุ้มค่าในด้านค่าใช้จ่าย

4.2.5 ความปลอดภัย (Security)

คลื่นความถี่แบบ Licensed

การส่งสัญญาณบนคลื่นความถี่แบบ Licensed มีลักษณะเป็นเส้นทางส่วนตัว (Private Path) ซึ่งจะแตกต่างจากกรณีคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่งเป็นการใช้งานเส้นทางร่วมกับระบบสื่อสารอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม

ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่ควรสับสนระหว่างความปลอดภัยของคลื่นความถี่วิทยุ กับความปลอดภัยของโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น คลื่นความถี่แบบ Licensed มีความปลอดภัยสูงในชั้นกายภาพ (Physical Layer) ซึ่งถือเป็นสิ่งที่สำคัญเช่นกัน แต่ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดก็ยังต้องการการรักษาความปลอดภัยในชั้นอื่น ๆ ที่เหมาะสมเพียงพอ ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะช่วยให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่ต้องกังวลกับความปลอดภัยของคลื่นความถี่วิทยุในระดับชั้นกายภาพ แต่ก็ยังจำเป็นต้องพิจารณามาตรการรักษาความปลอดภัยในภาพรวมของทั้งโครงข่าย

<u>คลื่นความถี่แบบ Unlicensed</u>

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการกำหนดและเผยแพร่มาตรฐานด้านปลอดภัยที่เข้มงวดสำหรับโครงข่ายสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed อย่างไรก็ตาม ไม่มีโครงข่ายสาธารณะใด ๆ ที่สามารถรับประกันระดับความปลอดภัยได้เทียบเท่ากับโครงข่ายส่วนตัว (Private Network) ทั้งนี้ การสร้างโครงข่ายส่วนตัวเท่านั้น จึงจะทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถควบคุมการรับส่งข้อมูลทั้งหมด และควบคุมการเข้าถึงจากผู้ใช้งานต่าง ๆ ได้ ซึ่งจะช่วยสร้างระดับความปลอดภัยที่สูงขึ้นต่อการบุกรุกและการละเมิด โดยผู้ให้บริการไฟฟ้าอาจต้องใช้ความพยายามที่มากกว่าเป็นเท่าตัวในการรักษาความปลอดภัยในกรณีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed

4.2.6 คุณภาพของสัญญาณ

<u>คลื่นความถี่แบบ Licensed</u>

การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้ามีข้อได้เปรียบที่ชัดเจนเหนือการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในด้านการรักษาระดับ Signal-to-Noise Ratio (SNR) ที่สูงเพียงพอ โดยมีระดับสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ต่ำ ทั้งนี้ อุปกรณ์ที่ทำงานบนคลื่นความถี่แบบ Licensed จะได้รับอนุญาตให้สามารถส่งสัญญาณด้วยกำลังที่สูง ซึ่งอาจสูงกว่ากรณีการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ประมาณ 10 ถึง 100 เท่า นอกจากนี้ หากผู้ให้บริการไฟฟ้าได้รับใบอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ก็จะได้รับการคุ้มครองจากการกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ ส่งผลให้ย่านความถี่ดังกล่าวถูกสงวนไว้สำหรับการใช้งานของผู้ให้บริการไฟฟ้ารายนั้นเท่านั้น ดังนั้น สัญญาณรบกวนในย่านความถี่ดังกล่าวจึงต่ำมากหรืออาจไม่มีเลย ทำให้ค่า SNR โดยทั่วไปของการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะมีค่าสูงมาก เช่น อย่างน้อย 30 ถึง 40 dB ทำให้มีโอกาสต่ำมากที่การส่งข้อมูลจะล้มเหลวหรือผิดพลาด

<u>คลื่นความถี่แบบ Unlicensed</u>

ปัจจุบัน ย่านความถี่ ISM มีปริมาณการใช้งานสูงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้สภาพการรบกวนของสัญญาณในย่านความถี่ ISM มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้ จากกฎพื้นฐานของการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ คือ สัญญาณข้อมูลจะต้องมีกำลังสูงกว่า (หรือแข็งแรงกว่า) สัญญาณรบกวน กล่าวคือ ค่า SNR จะต้องมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ เพื่อให้ปลายทางสามารถรับข้อมูลข่าวสารได้อย่างถูกต้องและมีความเชื่อถือได้ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมของคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ได้จากการสนทนาในงานสังสรรค์ที่มีเสียงดัง การสนทนากับคู่สนทนาให้สามารถสื่อสารกันได้ชัดเจนมากขึ้นจะทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การเดินเข้าไปให้ใกล้กันมากขึ้น (ลดระยะทางสื่อสาร) หรือพูดให้เสียงดังมากขึ้น (เพิ่มกำลังส่งสัญญาณ) อย่างไรก็ตาม ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนย้ายผู้ใช้ไฟฟ้าให้เข้ามาใกล้มากขึ้นได้ และอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ก็ถูกจำกัดกำลังส่งให้ไม่เกิน 1 วัตต์ นั่นหมายความว่า โครงข่าย

สื่อสารจะต้องมีอุปกรณ์รวมสัญญาณ (Concentrator) และอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) ติดตั้งร่วมกันในรูปแบบโครงข่ายแบบ Mesh โดยข้อมูลข่าวสารจะถูกส่งผ่านชุดของอุปกรณ์ดังกล่าวในลักษณะเป็น Hop จำนวนหลาย Hop จากต้นทางไปจนถึงปลายทาง ดังนั้น การรักษาคุณภาพของสัญญาณในกรณีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จะต้องติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น และทำให้การสื่อสารเกิดความหน่วงหรือความล่าช้า (Latency) มากขึ้น อันเนื่องมาจากการประมวลผลของการสื่อสารในแต่ละ Hop

4.2.7 สรุปการเปรียบเทียบระหว่างคลื่นความถี่แบบ Licensed กับคลื่นความถี่แบบ Unlicensed

จากการพิจารณาข้อดีและข้อเสียของการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed ในมุมมองของพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบสื่อสารไร้สายดังรายละเอียดข้างต้น สามารถสรุปการเปรียบเทียบระหว่างคลื่นความถี่แบบ Licensed กับคลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับการนำไปใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับคลื่นความถี่แบบ Unlicensed [23]

พารามิเตอร์	คลื่นความถี่แบบ Licensed	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
ความเชื่อถือได้ (Reliability)	ความเชื่อถือได้สูงมาก เนื่องจากเป็นคลื่นความถี่เฉพาะสำหรับผู้ได้รับใบอนุญาตเท่านั้น	อาจเกิดผลกระทบในสภาพแวดล้อมที่มีการรบกวนสูงกับโครงข่ายอื่น ๆ เช่น โครงข่าย WSN หรือ IoT
ความพร้อมใช้งาน (Availability)	ความพร้อมใช้งานสูงมาก เนื่องจากใช้งานได้เฉพาะผู้ได้รับใบอนุญาตเท่านั้น	อาจเกิดปัญหาด้านความพร้อมใช้งานในบางช่วงเวลา
ความหน่วงของสัญญาณ (Latency)	มีค่า Latency ต่ำ และสามารถวัดค่าได้	Latency อาจมีค่าสูง และมีความผันผวนที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ขึ้นอยู่กับจำนวน Hop ที่ต้องใช้ในการส่งสัญญาณ และระดับของสัญญาณรบกวน
แบนด์วิดท์	จำกัดการใช้งานเฉพาะช่องสัญญาณที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น	สามารถใช้งานช่องสัญญาณได้อย่างอิสระ
พื้นที่ครอบคลุม	รองรับระยะสื่อสารได้ไกล เช่น การสื่อสารระหว่างแต่ละจุดอาจสูงถึง 20 ไมล์	ระยะสื่อสารจำกัด เนื่องจากถูกจำกัดกำลังส่ง
การลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน	การลงทุนต่ำ เนื่องจากรองรับระยะสื่อสารได้ไกล จึงไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ทวนสัญญาณ	จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ทวนสัญญาณ และรีเลย์โนด ทำให้การลงทุนสูง
ความปลอดภัย (Security)	มีการเข้ารหัส (Encryption) การควบคุมความปลอดภัยในชั้นกายภาพ และนโยบายความปลอดภัย	มีความปลอดภัยต่ำกว่า ซึ่งความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้งาน

พารามิเตอร์	คลื่นความถี่แบบ Licensed	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
คุณภาพของสัญญาณ	รับประกันค่า SNR ที่สูง เนื่องจากเป็นการใช้คลื่นความถี่เฉพาะ	ขึ้นอยู่กับสภาพปัจจุบันในขณะนั้น มีโอกาสเกิดการรบกวนกับผู้อื่น เช่น โครงข่าย WSN หรือ IoT
สรุป	หากพิจารณาเฉพาะประเด็นทางเทคนิค การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มีความเหมาะสมมากกว่า แต่ด้วยข้อจำกัดด้านขนาดแบนด์วิดท์และความคุ้มค่าในการใช้คลื่นความถี่ จึงควรพิจารณาใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เฉพาะ Application ที่มีความต้องการด้านระบบสื่อสารสูง	ไม่อาจรับประกันคุณภาพของการสื่อสารได้เท่ากับคลื่นความถี่แบบ Licensed จึงเหมาะสมสำหรับ Application ที่มีความต้องการด้านระบบสื่อสารไม่สูงมากนัก เช่น Application ที่ไม่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้างต้นเป็นการพิจารณาจากเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed และคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในภาพรวมเท่านั้น ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีก็อาจมีคุณสมบัติทางเทคนิคที่แตกต่างกันและส่งผลให้ข้อดีและข้อเสียอาจแตกต่างไปจากการวิเคราะห์ข้างต้นได้ ดังนั้น การวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อตัดสินใจเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed หรือแบบ Unlicensed จำเป็นต้องพิจารณาในรายละเอียดของเทคโนโลยีที่ต้องการใช้งานด้วย

นอกจากนี้ เอกสาร [8] ได้ให้ข้อมูลที่แตกต่างออกไปในอีกมุมมอง เช่น ประเด็นด้านข้อกังวลเรื่องการรบกวนของสัญญาณสำหรับการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่งเอกสารดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปัญหาการรบกวนกันเป็นปัญหาที่หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับโครงข่ายสื่อสารไร้สาย ไม่ว่าจะเป็นการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed หรือแบบ Unlicensed อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีหลายเทคโนโลยีที่สามารถช่วยลดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณได้ เช่น เทคนิค FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) เนื่องจากคลื่นความถี่แบบ Unlicensed มีย่านความถี่ที่กว้าง จึงสามารถใช้เทคนิค FHSS ในการสลับช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อลดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณได้ และในทางกลับกัน คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งใช้ย่านความถี่ที่ถูกกำหนดไว้โดยเฉพาะ จึงอาจมีความเสี่ยงต่อการถูกรบกวนหรือโจมตีสูงกว่าย่านความถี่แบบ Unlicensed ก็เป็นได้ นอกจากนี้ ในประเด็นด้านต้นทุนค่าใช้จ่าย แม้การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งมีกำลังส่งที่สูงกว่า ทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่า และช่วยลดจำนวนสถานีฐานหรืออุปกรณ์ทวนสัญญาณได้ อย่างไรก็ตาม สถานีฐานที่รองรับกำลังส่งที่สูงก็จะมีราคาสูงเช่นกัน และเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ด้วยแล้ว ประเด็นด้านค่าใช้จ่ายทั้งกรณีการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed ถือว่าไม่แตกต่างกันมากนัก

4.3 การเปรียบเทียบการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน

ในหัวข้อที่ 4.1 ได้มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียทางเทคนิคระหว่างการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed และคลื่นความถี่แบบ Unlicensed โดยยังไม่ได้พิจารณาถึงคุณสมบัติทางเทคนิคของย่านความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติและข้อดี-ข้อเสียทางเทคนิคของการใช้การใช้คลื่นความถี่ใน

ย่านความถี่ที่ต่างกัน [24] โดยจะพิจารณาจากคุณสมบัติด้านการกระจายสัญญาณที่มีความสัมพันธ์กับความถี่ที่ใช้งาน เช่น การสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss) การสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง (Penetration Loss) และการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Absorption) รวมทั้งผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนและการรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ ซึ่งอาจไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณสมบัติของคลื่นความถี่วิทยุ แต่จะเกิดจากการครอบครองคลื่นความถี่ที่อาจหนาแน่นแตกต่างกันในแต่ละย่านความถี่

4.3.1 การสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss)

การสื่อสารไร้สายด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุระหว่างต้นทางไปยังปลายทาง อาจเรียกให้ถูกต้องได้ว่าเป็นการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ (Propagation) สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณ (Channel Propagation Model) หรือแบบจำลองการสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss Model) ซึ่งเป็นวิธีการในการบอกผลกระทบจากสภาพแวดล้อมของการทำงานที่มีต่อระบบสื่อสารไร้สาย ทั้งนี้ เนื่องจากการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation) ตามเส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณระหว่างเครื่องส่ง (Transmitter) กับเครื่องรับ (Receiver) จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่า Signal to Noise Ratio (SNR) ที่เครื่องรับ ซึ่งค่า SNR เป็นสิ่งที่สามารถใช้ในการพิจารณาคุณภาพของสัญญาณได้ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา

การลดทอนของสัญญาณคลื่นวิทยุตามเส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับสามารถแสดงได้ตามแบบจำลอง Path Loss อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง Path Loss ก็ยังไม่สามารถอธิบายลักษณะและผลกระทบของการลดทอนของสัญญาณได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากยังมีอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ย่านความถี่ที่ใช้งาน ลักษณะของสภาพแวดล้อม (เช่น สภาพแวดล้อมภายในอาคาร ภายนอกอาคาร ย่านชุมชน หรือพื้นที่ชนบท) รวมไปถึงสิ่งกีดขวางที่อยู่ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะมีความหลากหลายแตกต่างกันมากในแต่ละกรณี ดังนั้น แบบจำลอง Path Loss ที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ถือเป็นการประเมินระบบสื่อสารไร้สายในเบื้องต้นเท่านั้น

แบบจำลอง Path Loss ที่ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์การลดทอนของสัญญาณ จะในรูปของสัดส่วนของกำลังของสัญญาณ ณ ตำแหน่งของเครื่องรับ ต่อค่ากำลังส่งของเครื่องส่ง โดยค่า Path Loss ($\mathbf{P_L}$) จะเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับระยะทาง ($\mathbf{d}$) ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ แบบจำลอง Path Loss ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในแวดวงระบบสื่อสารไร้สายจะอยู่ในรูปของการลดทอนตามระยะทางในรูปแบบฟังก์ชัน Exponential โดยมีเลขชี้กำลังเรียกว่า Path Loss Exponent ($\mathbf{n_0}$) โดยในกรณีสภาพแวดล้อมแบบมีสิ่งกีดขวาง (Non-Line of Sight) ค่า Path Loss Exponent จะเพิ่มจาก $\mathbf{n_0}$ เป็น $\mathbf{n_1}$ หลังจากระยะทางค่าหนึ่งซึ่งเรียกระยะทางนี้ว่า Breakpoint Distance ($\mathbf{d_1}$) แบบจำลอง Path Loss โดยทั่วไป (ในหน่วย dB) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$PL_{d,dB}(d) = PL_{0,dB} + \begin{cases} 10n_0 \log_{10}(d/d_0), & d \le d_1 \\ 10n_0 \log_{10}(d_1/d_0) + 10n_1 \log_{10}(d/d_1), & d > d_1 \end{cases}, \qquad (1)$$

โดยที่ d_1 คือ Breakpoint Distance มีหน่วยเป็นเมตร (m) เป็นจุดที่ Path Loss Exponent เปลี่ยนจาก n_0 เป็น n_1

$PL_{0,dB}$ คือ ค่า Path Loss อ้างอิง ที่ d_0 = 1 m ซึ่งคำนวณได้จาก

$$PL_0 = 20\log_{10}(2\pi d_0/\lambda) \quad (2)$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร (m)

นอกจากนี้ Path Loss ที่แท้จริงยังมีส่วนประกอบแบบสุ่ม (Random Component) แทนด้วย $PL_{r,dB}$ ซึ่งประกอบด้วยสองเทอม คือ $PL_{r,dB} = X_{s,dB} + X_{f,dB}$ โดยที่ $X_{s,dB}$ เรียกว่า Shadow Fading ซึ่งแสดงค่าความเบี่ยงเบนของสัญญาณจากรูปแบบที่พยากรณ์ไว้ตามแบบจำลอง Path Loss ดังสมการข้างต้น อันเนื่องจากมีสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่อยู่ระหว่างเส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณ เช่น อาคารหรือรถยนต์ในกรณีสภาพแวดล้อมนอกอาคาร (Outdoor) หรือเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ในกรณีสภาพแวดล้อมในอาคาร (Indoor) ซึ่งสิ่งกีดขวางเหล่านี้จะมีขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติของวัสดุที่แตกต่างกันไป ทำให้ผลกระทบที่เกิดต่อสัญญาณก็จะมีความแตกต่างกัน โดยทั่วไป $X_{s,dB}$ จะถูกจำลองเป็นตัวแปรสุ่มเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Zero Mean Gaussian Random Variable) โดยมีค่าความแปรปรวน (Variance) คือ σ^2 ขณะที่ส่วนประกอบอีกเทอมหนึ่งคือ $X_{f,dB}$ เรียกว่า Fast Fading แสดงถึงค่าความเบี่ยงเบนของสัญญาณจากสิ่งกีดขวางขนาดเล็กในเส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณ ซึ่งส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของสัญญาณ (Scatter) ทำให้สัญญาณแพร่กระจายเป็นหลายเส้นทาง (Multipath) ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะมารวมกันหรือหักล้างกันที่เครื่องรับ ทำให้สัญญาณที่เครื่องรับรับได้มีความผิดเพี้ยนไป โดยทั่วไป $X_{f,dB}$ จะถูกจำลองเป็นตัวแปรสุ่มแบบการแจกแจงแกมมาที่มีค่าเฉลี่ยเป็นหนึ่ง (Unit mean Gamma Distribution Random Variable) โดยมีค่าความแปรปรวน (Variance) คือ $1/m$ โดยที่ m คือ Nakagami Fading Parameter

ค่า Shadow Fading และ Fast Fading จะถูกสมมติว่ามีค่าคงที่ตลอดช่วงการส่งสัญญาณข้อมูลในหนึ่งเฟรม และมีความเป็นอิสระต่อกัน (Mutually Independent) รวมทั้งเป็นอิสระต่อการเกิด Fading ของการสื่อสารอื่นๆ ด้วย ดังนั้น แบบจำลอง Path Loss ที่สมบูรณ์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$PL_{dB} = PL_{d,dB} + X_{s,dB} + X_{f,dB} = PL_{d,dB} + PL_{r,dB} \quad (3)$$

อย่างไรก็ตาม ในที่นี้จะไม่ลงรายละเอียดของการคำนวณ Path Loss โดยจะเป็นเพียงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ Path Loss ในเทอมของความถี่ของคลื่นวิทยุเท่านั้น ซึ่งพิจารณาได้จากสมการ (2) จะเห็นว่า Path Loss จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อความยาวคลื่น (λ) มีค่าลดลง และเนื่องจากความยาวคลื่น (λ) = 1/ความถี่ จึงสามารถสรุปได้ว่า Path Loss จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อความถี่ที่ใช้ในการส่งคลื่นวิทยุมีค่าสูงขึ้น ดังนั้น การส่งสัญญาณวิทยุโดยใช้ความถี่สูงจะทำให้สัญญาณเกิดการสูญเสียตามเส้นทางมากกว่าการใช้คลื่นความถี่ต่ำ โดยหากส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่เท่ากัน การส่งสัญญาณโดยใช้ความถี่ต่ำจะมีระยะทางสื่อสารที่ไกลกว่า จึงเป็นเหตุผลที่การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศมักเลือกใช้ย่านความถี่ 400-450 MHz เนื่องจากย่านความถี่ต่ำจะมีระยะทางสื่อสารที่ไกลกว่า ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารได้นั่นเอง

4.3.2 การสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง (Penetration Loss)

ในกรณีที่การแพร่กระจายสัญญาณระหว่างเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ จำเป็นต้องมีการทะลุทะลวงผ่านผนังของอาคารหรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางมากระทบกับผนังหรือสิ่งกีดขวาง บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ ขณะที่บางส่วนที่สามารถเดินทางทะลุผ่านสิ่งกีดขวางไปได้แต่ก็จะเกิดการลดทอนของสัญญาณ เรียกว่า การสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง (Penetration Loss) ซึ่งปริมาณ Penetration Loss จะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณ เช่น เมื่อเปรียบเทียบการทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางเดียวกัน สัญญาณความถี่ต่ำจะมี Penetration Loss ต่ำกว่าสัญญาณความถี่สูง ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าสัญญาณความถี่ต่ำสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวาง เช่น ผนังอาคาร ได้ดีกว่าสัญญาณความถี่สูง ซึ่งการสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยเฉพาะระบบ AMI ที่ต้องมีการสื่อสารกับสมาร์ทมิเตอร์ซึ่งส่วนใหญ่จะติดตั้งอยู่ภายในบ้านหรืออาคาร การใช้ย่านความถี่ต่ำจึงมีความเหมาะสมมากกว่า โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาร่วมกับการที่ย่านความถี่ต่ำมี Path Loss ที่ต่ำกว่า จึงทำให้การใช้ย่านความถี่ต่ำสามารถรองรับระยะทางสื่อสารได้ไกลกว่าย่านความถี่สูงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะสำหรับการใช้งานในระบบ AMI

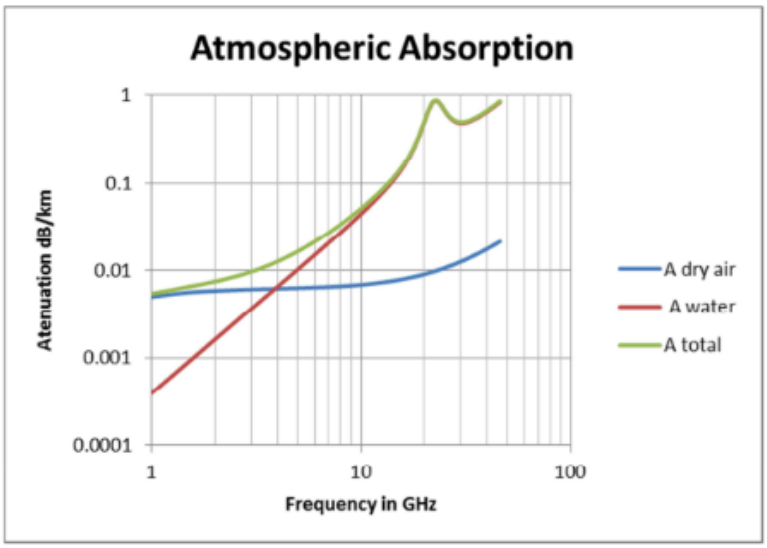
นอกจาก ความถี่ของสัญญาณแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อ Penetration Loss เช่น

- มุมตกกระทบ
- วัสดุของผนังหรือสิ่งกีดขวาง
- ความหนาของผนังหรือสิ่งกีดขวาง และลักษณะของพื้นผิว
- จำนวนผนังหรือสิ่งกีดขวาง ที่สัญญาณต้องทะลุทะลวงผ่าน
- จำนวนหน้าต่างหรือช่องเปิดบนผนัง

4.2.3 การดูดกลืนในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Absorption)

การดูดกลืนในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Absorption) เป็นคำถามที่ถูกยกประเด็นขึ้นบ่อยครั้งว่าส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายของสัญญาณหรือไม่ อย่างไรก็ตาม สำหรับการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายในช่วงย่านความถี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับโครงข่ายสื่อสารในระดับ NAN FAN และ WAN ที่สภาวะแวดล้อมบนพื้นผิวโลก พบว่าการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศไม่ส่งผลกระทบแบบมีนัยสำคัญต่อ Path Loss ดังตัวอย่างจากผลการศึกษาใน [25] ซึ่งแสดงในรูปที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่าการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศมีผลกระทบต่อ Path Loss น้อยมากในช่วงความถี่ 1 - 10 GHz

ทั้งนี้ ผลกระทบของการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศถือว่าสามารถละทิ้งได้ในการพิจารณากรณีการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายบนระดับพื้นผิวโลกที่ย่านความถี่ต่ำกว่า 6 GHz โดยการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศจะเริ่มส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญมากขึ้นที่ย่านความถี่ทำงานสูงกว่า 10 GHz และมีระยะทางแพร่กระจายสัญญาณที่ไกล ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเป็นลักษณะการทำงานของเทคโนโลยีระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศไม่มีผลกระทบต่อการพิจารณาเลือกย่านความถี่สำหรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด



รูปที่ 4-2 การดูดกลืนในชั้นบรรยากาศในช่วงความถี่ 1 - 100 GHz

4.3.4 สัญญาณรบกวน (Noise)

สัญญาณรบกวน (Noise) คือ สัญญาณหรือพลังงานที่ไม่พึงปรารถนา ซึ่งเข้ามาแทรกสอดกับสัญญาณที่ต้องการ ทำให้สัญญาณที่ต้องการมีคุณภาพลดลง จนอาจส่งผลให้สัญญาณที่ต้องการมีความผิดเพี้ยนไปจนไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้สำเร็จ สัญญาณรบกวนมักเป็นสัญญาณที่สามารถเข้ามาในระบบได้ง่ายทั้งที่เกิดขึ้นจากภายนอก เช่น พลังงานความร้อนในสภาพแวดล้อม หรือเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเองภายในระบบสื่อสารที่ใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มักให้กำเนิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย

สัญญาณรบกวนพื้นฐานที่พบโดยทั่วไป คือ สัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise) และสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ตัวต้านทานที่มีกระแสไฟฟ้าไหล (Electrical Noise) ซึ่งล้วนแต่มีพฤติกรรมแบบสุ่ม เนื่องจากเป็นสัญญาณรบกวนที่มีกำลังสม่ำเสมอ (Uniform) ตลอดทุกย่านความถี่ โดยคุณลักษณะเช่นนี้ทำให้สัญญาณรบกวนมักถูกจำลองในรูปของสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนขาวแบบบวก (Additive White Gaussian Noise: AWGN) เนื่องจากมีการกระจายโอกาสแบบเกาส์เซียน และมีความหนาแน่นสเปกตรัม (Spectral Density) คงที่ตลอดทุกย่านความถี่ อันเป็นผลมาจากการที่สัญญาณรบกวนเกิดได้จากหลายแหล่งกำเนิดในธรรมชาติ

ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าสัญญาณรบกวนตามธรรมชาติมีกำลังสัญญาณสม่ำเสมอตลอดทุกย่านความถี่ ประเด็นด้านสัญญาณรบกวนจึงไม่มีผลกระทบต่อการพิจารณาเลือกย่านความถี่สำหรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

4.3.5 การรบกวนจากสัญญาณอื่น (Interference)

การรบกวนจากสัญญาณอื่น หรือ การแทรกสอด (Interference) ในมุมมองของระบบสื่อสารมักหมายถึงปรากฏการณ์ที่สัญญาณอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ เข้ามาปะปนกับสัญญาณที่ต้องการ ทั้งนี้ ในระบบสื่อสารไร้สายซึ่งเป็นการแพร่กระจายสัญญาณผ่านอากาศ ทำให้การรบกวนจากสัญญาณอื่นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้เสมอ ทั้งการรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ ที่ใช้ช่องสัญญาณซ้อนทับกัน (Co-channel Interference) หรือ การรบกวนจากสัญญาณอื่นในช่องสัญญาณข้างเคียง (Adjacent-channel Interference) ซึ่งการรบกวนจากสัญญาณอื่นมักจะเกิดในกรณีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่น ย่านความถี่ ISM ซึ่งย่านความถี่ 2.4 GHz จะพบปัญหาการรบกวนมากที่สุดเนื่องจาก

เป็นย่านความถี่สาธารณะซึ่งมีหลายเทคโนโลยีที่ทำงานในย่านความถี่นี้ เช่น WiFi Zigbee และ Bluetooth โดยย่านความถี่ 868 MHz และ 915 MHz ก็มีโอกาสที่จะเกิดปัญหาการรบกวนในอนาคตเช่นกัน โดยเฉพาะการใช้งานเป็นโครงข่ายสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (Machine-to-Machine: M2M) ซึ่งการใช้งานที่ผ่านมาของย่านความถี่ 868 MHz และ 915 MHz จะเป็นการใช้งานด้าน RFID เป็นหลัก แต่ปัจจุบันเริ่มมีเทคโนโลยีอื่น ๆ เข้ามาเป็นคู่แข่ง เช่น เทคโนโลยี Long Range Radio (LoRa) เริ่มเข้ามามีบทบาทสำหรับการตรวจวัด การระบุตำแหน่ง หรือการจัดการต่าง ๆ เช่น การติดป้ายราคาสินค้าเพื่อป้องกันขโมย เป็นต้น และด้วยการเติบโตอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีด้านการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (M2M) และ Internet of things (IoT) ทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาในย่านนี้มากขึ้น ทั้งนี้หากมีหลายโครงข่ายที่ใช้งานย่านความถี่เดียวกันหรือย่านความถี่ที่ข้างเคียง ซึ่งทำงานอยู่ในระยะที่ใกล้กันมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณได้

พิจารณาสรุปผลการศึกษาการครอบครองคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในย่านความถี่ต่าง ๆ ของประเทศเนเธอร์แลนด์ [26] ได้ในภาคผนวก ข. ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวระบุย่านความถี่ 433 MHz ยังเป็นย่านที่มีการครอบครองใช้งานต่ำทั้งในปัจจุบันและในอนาคต ส่วนย่านความถี่ 868 MHz และ 2.4 GHz มีแนวโน้มที่จะมีการใช้งานอย่างหนาแน่นในอนาคต หากเป็นไปได้จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้งานย่านความถี่ดังกล่าว ซึ่งการใช้งานเทคโนโลยี WiFi ในย่านความถี่ 2.4 GHz ก็เริ่มมีการย้ายไปสู่ย่านความถี่ 5 GHz มากขึ้น

4.4 สรุปข้อดี-ข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อดี-ข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ ในรายงานฉบับนี้จะพิจารณาใน 2 มุมมอง ได้แก่ การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่างการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed กับคลื่นความถี่แบบ Unlicensed และการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่างการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน

สำหรับมุมมองด้านการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน พบว่าย่านความถี่ต่ำมีคุณสมบัติและลักษณะการกระจายสัญญาณที่เหมาะสมต่อระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่าย่านความถี่สูง กล่าวคือ สำหรับการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่เท่ากัน การส่งสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss) และการสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง (Penetration Loss) ต่ำกว่าการส่งสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง จึงทำให้คลื่นวิทยุความถี่ต่ำสามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่า รวมทั้งสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวาง (เช่น ผนังอาคาร) ได้ดีกว่าย่านความถี่สูง ซึ่งข้อได้เปรียบดังกล่าวยังส่งผลต่อต้นทุนในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบสื่อสารอีกด้วย เนื่องจากการที่ย่านความถี่ต่ำสามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่า จะทำให้สถานีฐานหรืออุปกรณ์ทวนสัญญาณที่จำเป็นต้องติดตั้ง มีจำนวนน้อยกว่าการเลือกใช้ย่านความถี่สูง ทั้งนี้ โดยทั่วไปจะพิจารณาว่าย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz (หรือ Sub-1 GHz) เป็นช่วงความถี่ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับโครงข่ายสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้จากโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศมักเลือกใช้ย่านความถี่ต่ำ เช่น 433 MHz 450 MHz หรือ 868 MHz สำหรับโครงข่าย NAN/FAN ในระบบสมาร์ทมิเตอร์ แต่ก็มีผู้ให้บริการไฟฟ้าหลายรายเลือกใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะ โดยย่านความถี่ 2.4 GHz หากพิจารณาในมุมมองด้านเทคนิคแล้วอาจมีความเหมาะสมน้อยกว่าย่านความถี่ต่ำ แต่เนื่องจากเทคโนโลยีระบบสื่อสาร

ไร้สายที่ใช้ย่านความถี่นี้โดยเฉพาะ WiFi และ Zigbee เป็นเทคโนโลยีที่เป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย จึงค่อนข้างสะดวกต่อการนำมาใช้งานเนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ในตลาดจำนวนมาก อีกทั้งยังสะดวกในการบูรณาการกับอุปกรณ์โครงข่าย HAN ภายในบ้านที่มักใช้งานระบบสื่อสารที่ใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ด้วยการที่ย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะ จึงถูกจำกัดกำลังส่งสัญญาณ อีกทั้งคุณสมบัติในกระจายสัญญาณของย่านความถี่ 2.4 GHz จะมีระยะทางสื่อสารที่ค่อนข้างสั้น ดังนั้น การออกแบบโครงข่าย NAN/FAN ในกรณีที่ใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz จึงต้องมีข้อควรระวังมากกว่ากรณีที่ใช้ย่านความถี่ต่ำ

สำหรับมุมมองด้านการเปรียบเทียบระหว่างคลื่นความถี่แบบ Licensed กับคลื่นความถี่แบบ Unlicensed เมื่อพิจารณาเฉพาะข้อดี-ข้อเสียทางเทคนิค พบว่าคลื่นความถี่แบบ Licensed มีข้อดีมากกว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อยู่มาก ทั้งด้านความเชื่อถือได้ ความพร้อมใช้งาน ความปลอดภัย ระยะทางสื่อสาร และคุณภาพของสัญญาณ โดยมีเพียงประเด็นด้านแบนด์วิดท์ที่ต่างก็มีข้อดี-ข้อเสียที่แตกต่างกัน กล่าวคือ คลื่นความถี่แบบ Licensed จะได้รับการรับประกันขนาดแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ ซึ่งอาจจะเป็นข้อดีในด้านความพร้อมใช้งาน แต่โดยส่วนใหญ่แล้วแบนด์วิดท์ที่ได้รับการจัดสรรมักจะมีขนาดไม่มากนัก จึงอาจเป็นข้อจำกัดในต่างใช้งานได้เช่นกัน ขณะที่คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สามารถใช้งานช่องสัญญาณได้อิสระ โดยไม่ได้รับการปกป้องจากการรบกวน แต่เมื่อพิจารณาในมุมมองทางเทคนิคในภาพรวมทั้งหมดแล้ว คลื่นความถี่แบบ Licensed มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่า ซึ่งจากการศึกษากรณีตัวอย่างในต่างประเทศ ส่วนใหญ่ก็เห็นด้วยตามข้อสรุปดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มีค่าใช้จ่ายที่สูงมากในการขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ ซึ่งเมื่อพิจารณาในมุมมองทางเศรษฐศาสตร์แล้วอาจไม่คุ้มค่าต่อการนำมาใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรกนี้ เนื่องจาก Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่ใช้งานในปัจจุบัน ยังไม่ก่อให้เกิดผลตอบแทนที่เป็นรูปธรรมต่อผู้ให้บริการไฟฟ้า อีกทั้งการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรกมักจะเป็นระบบสมาร์ทมิเตอร์หรือระบบ AMI ซึ่งยังไม่มีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่สูงมากนัก ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่จึงมักเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มากกว่า แต่ก็มีผู้ให้บริการไฟฟ้าบางรายที่เริ่มเล็งเห็นว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed น่าจะไม่สามารถรองรับ Application ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตได้ และเริ่มพิจารณาถึงความเหมาะสมในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ตัวอย่างเช่นในทวีปยุโรป ซึ่งกลุ่ม European Utilities Telecom Council (EUTC) ได้ออก Position Paper เมื่อปี ค.ศ. 2013 ระบุว่าจำเป็นต้องมีการจัดสรรคลื่นความถี่ให้กับผู้ให้บริการสาธารณูปโภคเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดย EUTC เสนอให้จัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน UHF (450-470 MHz) เนื่องจากย่านความถี่ดังกล่าวมีความเหมาะสมทั้งในเชิงกลยุทธ์และด้านเทคนิคที่จะรองรับการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์

อีกประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณา คือ การรบกวนจากสัญญาณอื่น (Interference) ซึ่งเป็นข้อเสียเปรียบที่สำคัญมากสำหรับการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed โดยเฉพาะในย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งมีหลายเทคโนโลยีที่ใช้งานในย่านความถี่นี้ ดังนั้น หากโครงข่าย NAN/FAN ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเลือกใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz ก็อาจส่งผลให้เกิดปัญหาการรบกวนกับสัญญาณอื่น ๆ ทั้งกรณีที่การใช้งานระบบสื่อสารไร้สายของประชาชนส่งผลกระทบรบกวนการทำงานของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด และกรณีที่โครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ส่งผลกระทบรบกวนการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายของประชาชนและภาคธุรกิจอุตสาหกรรมในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งประเด็นหลังถือเป็นข้อกังวลที่สำคัญของผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่ เนื่องจากจะส่งผลให้ประชาชนเกิดความไม่พอใจและเกิดข้อร้องเรียนต่าง ๆ ตามมาได้

สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติและข้อดี-ข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกันได้ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน

พารามิเตอร์	ย่านความถี่			
	433 MHz	868/900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
การสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss)	■ โดยปกติแล้ว Path Loss มีค่าแปรผันตรงกับความถี่ที่ใช้ในการส่งคลื่นวิทยุ กล่าวคือ การส่งสัญญาณด้วยคลื่นความถี่สูงจะทำให้สัญญาณเกิด Path Loss (หรือ Attenuation) มากกว่าการใช้คลื่นความถี่ต่ำ ดังนั้น ในกรณีที่กำลังส่งเท่ากัน การส่งสัญญาณด้วยคลื่นความถี่ต่ำจะมีระยะทางสื่อสารที่ไกลกว่า ■ ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศจึงนิยมเลือกใช้ย่านความถี่ต่ำ เช่น 400-450 MHz หรือ 868-915 MHz มากกว่าการใช้ย่านความถี่สูง เช่น 2.4 GHz หรือ 5 GHz เนื่องจากสามารถรองรับระยะทางสื่อสารได้ไกลกว่า จึงช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารลงได้ อย่างไรก็ตาม ระยะทางสื่อสารในการใช้งานจริงยังขึ้นอยู่กับกำลังส่งที่ใช้ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละเทคโนโลยี รวมทั้งขึ้นอยู่กับข้อกำหนดด้านกำลังส่งสูงสุดของการกำกับดูแลในแต่ละประเทศด้วย			
การสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง (Penetration Loss)	■ เมื่อสัญญาณคลื่นวิทยุกระทบกับผนังหรือสิ่งกีดขวาง สัญญาณเพียงบางส่วนเท่านั้นที่สามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางไปได้ การลดทอนของสัญญาณในกรณีนี้ เรียกว่า Penetration Loss ■ ปริมาณ Penetration Loss ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณ เช่น เมื่อเปรียบเทียบการทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางเดียวกัน สัญญาณความถี่ต่ำจะมี Penetration Loss ต่ำกว่าสัญญาณความถี่สูง จึงอาจกล่าวได้ว่าสัญญาณความถี่ต่ำสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดีกว่า ■ การสื่อสารในระบบสมาร์ทกริด โดยเฉพาะระบบ AMI ที่มีการสื่อสารกับสมาร์ทมิเตอร์ซึ่งส่วนใหญ่ติดตั้งอยู่ภายในบ้าน/อาคาร การใช้ย่านความถี่ต่ำจึงมีความเหมาะสมมากกว่า เมื่อพิจารณาร่วมกับการที่ย่านความถี่ต่ำมี Path Loss ต่ำกว่าย่านความถี่สูง จึงทำให้ย่านความถี่ต่ำมีความเหมาะสมกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่า ซึ่งโดยทั่วไปถือว่าย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 1 GHz (Sub GHz) มีความเหมาะสมกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่าย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz			
การดูดกลืนในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Absorption)	■ โดยทั่วไป สัญญาณคลื่นวิทยุความถี่ต่ำจะถูกดูดกลืนในชั้นบรรยากาศน้อยกว่าสัญญาณคลื่นวิทยุความถี่สูง ■ อย่างไรก็ตาม ที่ความถี่ต่ำกว่า 6 GHz ณ สภาวะแวดล้อมบนพื้นผิวโลก การดูดกลืนในชั้นบรรยากาศไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ประเด็นด้านการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศจึงไม่มีผลกระทบต่อการพิจารณาเลือกย่านความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด			

พารามิเตอร์	ย่านความถี่			
	433 MHz	868/900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
สัญญาณรบกวน (Noise)	▪ สัญญาณรบกวน (Noise) ตามธรรมชาติ มีกำลังสม่ำเสมอตลอดทุกย่านความถี่ ▪ ประเด็นด้าน Noise จึงไม่มีผลกระทบต่อการพิจารณาเลือกย่านความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด			
การรบกวนจากสัญญาณอื่น (Interference)	มีผลกระทบจาก Interference ต่ำที่สุด เนื่องจากเทคโนโลยีแบบ Unlicensed ทั่วไปไม่นิยมใช้งานย่านความถี่นี้	มีผลกระทบจาก Interference ค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นย่านใช้งานของเทคโนโลยีแบบ Unlicensed จำนวนมาก	มีผลกระทบจาก Interference สูงที่สุด เนื่องจากเป็นย่านความถี่ Unlicensed ที่นิยมใช้งานมากที่สุด โดยมีเทคโนโลยีจำนวนมากที่ใช้ย่านนี้ เช่น WiFi, Zigbee, Bluetooth	ปัจจุบันยังไม่มีผลกระทบจาก Interference มากนัก แต่เริ่มมีแนวโน้มการใช้งานที่มากขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการย้ายมาจากย่าน 2.4 GHz ของเทคโนโลยี WiFi
สรุป	▪ โดยทั่วไปถือว่าเหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากที่สุด ▪ ส่วนใหญ่ยังเป็นเทคโนโลยีแบบ Proprietary ▪ เป็นย่านที่ไม่ได้กำหนดให้เป็น Unlicensed ในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ผลิตภัณฑ์ในตลาดจึงอาจไม่หลากหลายมากนัก	▪ มีความเหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ▪ แต่ละประเทศมีการกำหนด Unlicensed Band ในย่านนี้ที่แตกต่างกัน เช่น 868 MHz ในยุโรป, 902-928 MHz ในสหรัฐอเมริกา และ 920-925 MHz ในไทย ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ▪ มีทั้งเทคโนโลยีแบบเปิด และเทคโนโลยีแบบ Proprietary ▪ มีผลิตภัณฑ์ในตลาดที่หลากหลาย	▪ สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้ แต่ต้องระมัดระวังในการออกแบบระบบสื่อสาร เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านระยะสื่อสาร รวมทั้งผลกระทบจาก Interference ▪ เป็นย่านที่กำหนดให้เป็น Unlicensed Band ในทุกประเทศ จึงมีผลิตภัณฑ์ในตลาดที่หลากหลาย ▪ มีเทคโนโลยีแบบเปิดจำนวนมาก	▪ โดยทั่วไปถือว่าไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นโครงข่ายสื่อสารหลักสำหรับนระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทที่ 5 จะเป็นการสรุปและให้ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษาทั้งหมดตั้งแต่บทที่ 1 ถึงบทที่ 4 ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของแต่ละประเทศ และการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ

5.1 สรุป

รายงานฉบับนี้ได้ศึกษาตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศจำนวน 7 ประเทศ ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์ สหรัฐอเมริกา จีน เวียดนาม เกาหลีใต้ และสิงคโปร์ โดยจะพิจารณาศึกษาการเลือกใช้คลื่นความถี่และเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายสำหรับโครงข่าย NAN/FAN (Neighborhood Area Network/Field Area Network) เป็นหลัก เนื่องจากโครงข่าย NAN/FAN เป็นระดับชั้นของโครงข่ายที่ถือว่ามีความสำคัญที่สุดสำหรับโครงข่ายสื่อสารไร้สายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่ต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมาก และมักจะอยู่ในบริเวณย่านชุมชนที่มีการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายอื่น ๆ อย่างหนาแน่น อีกทั้งสภาพภูมิศาสตร์ในแต่ละพื้นที่ก็มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้น ปัญหาด้านระบบสื่อสารไร้สายที่มักพบเจอในโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจึงมักเกิดขึ้นที่โครงข่าย NAN/FAN

จากตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5-1 จะเห็นว่าหลายประเทศนิยมใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เนื่องจากการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในกรณีตัวอย่าง ส่วนใหญ่ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นหรือเป็นเพียงโครงการนำร่อง ดังนั้น การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงจึงยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน สำหรับประเทศที่มีการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ก็มักจะอยู่ในรูปแบบของการใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรคมนาคม ซึ่งมีข้อดี คือ ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้วยตนเอง ทำให้ลดระยะเวลาและลดต้นทุนในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบสื่อสาร หรืออีกกรณีหนึ่งของการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะอยู่ในรูปแบบที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบสื่อสารของตนเอง โดยร่วมมือกับผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่เป็นเจ้าของใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ ทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง แต่จะใช้ใบอนุญาตของผู้ให้บริการโทรคมนาคมในการใช้คลื่นความถี่แทน ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบธุรกิจที่น่าสนใจเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับผู้ให้บริการไฟฟ้า แต่กรณีดังกล่าวอาจไม่สามารถนำมาใช้ได้กับทุกประเทศ เนื่องจากผู้ให้บริการโทรคมนาคมส่วนใหญ่มักต้องการใช้คลื่นความถี่ที่ได้รับการจัดสรรสำหรับการให้บริการในกิจการโทรคมนาคมซึ่งมีโอกาสทำรายได้ได้มากกว่า

สำหรับประเด็นด้านย่านความถี่ที่ใช้งาน ผู้ให้บริการไฟฟ้านิยมเลือกใช้ย่านความถี่ต่ำสำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น ย่านความถี่ 400-450 MHz หรือ 868 MHz เนื่องจากย่านความถี่ต่ำมีลักษณะการกระจายสัญญาณที่เหมาะสม กล่าวคือ มีระยะทางสื่อสารไกล ทำให้ช่วยลดความจำเป็นในการติดตั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณหรือทวนสัญญาณ เช่น สามารถใช้งานสมาร์ทมิเตอร์เป็นโนดสื่อสารในโครงข่ายแบบ Mesh ได้ โดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ เพิ่มเติม อีกทั้งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำยังมีความสามารถในการทะลุทะลวงผนังอาคารได้ดี ทำให้สามารถสื่อสารกับสมาร์ทมิเตอร์ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในบ้านหรืออาคารได้ดีกว่ากรณีที่ใช้ย่านความถี่สูง ในส่วนของประเทศสหรัฐอเมริกา ย่านความถี่ที่คณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร (Federal Communications Commission: FCC) จัดสรรให้สามารถใช้งานเชิงพาณิชย์ได้โดยไม่ต้องขออนุญาต ได้แก่ ย่านความถี่ 900 MHz (902-928 MHz) ย่านความถี่ 2.4 GHz (2.4-2.5 GHz) และย่านความถี่ 5 GHz ดังนั้น ผู้ให้บริการไฟฟ้าในสหรัฐอเมริกาจึงมักเลือกใช้ย่านความถี่ 900 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ต่ำที่สุดที่สามารถใช้งานเชิงพาณิชย์ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ อีกย่านความถี่ที่พบการใช้งานในหลายประเทศ ได้แก่ ย่านความถี่ 2.4 GHz แม้ว่าหากพิจารณาในมุมมองด้านเทคนิคแล้ว ย่านความถี่ 2.4 GHz อาจมีความเหมาะสมสำหรับใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดน้อยกว่าย่านความถี่ต่ำ แต่เนื่องจากเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยเฉพาะ WiFi และ Zigbee ถือเป็นเทคโนโลยีที่เป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในทุกพื้นที่ทั่วโลก ผู้ผลิตส่วนใหญ่จึงมักพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ย่านความถี่นี้ ทำให้ค่อนข้างสะดวกต่อการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดบนย่านความถี่ 2.4 GHz เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ในตลาดจำนวนมาก และยังสะดวกในการบูรณาการกับอุปกรณ์ในโครงข่าย HAN (Home Area Network) ซึ่งมักเลือกใช้ระบบสื่อสารไร้สายบนย่านความถี่ 2.4 GHz เช่นกัน อีกทั้งแพลตฟอร์มสำเร็จรูปของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจำนวนมากก็มักเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายบนย่านความถี่ 2.4 GHz เนื่องจากสามารถรองรับการใช้งานได้ในเกือบทุกพื้นที่ทั่วโลก อย่างไรก็ตาม ย่านความถี่ 2.4 GHz ค่อนข้างมีระยะทางสื่อสารที่สั้น และมีโอกาสพบปัญหาการรบกวนของสัญญาณสูง เนื่องจากเป็นย่านความถี่ที่มีการใช้งานหนาแน่นมาก ดังนั้น การออกแบบโครงข่าย NAN/FAN ในกรณีที่ใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz จึงมีข้อควรระวังมากกว่ากรณีที่ใช้ย่านความถี่ต่ำ

ในส่วนของโครงข่าย WAN ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่มักเลือกใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/3G/4G ของผู้ให้บริการโทรคมนาคม เนื่องจากการลงทุนสร้างโครงข่าย WAN ด้วยตนเองมีต้นทุนค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และยังไม่คุ้มค่ากับการใช้งานระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรก ซึ่งโครงข่ายเซลลูลาร์มีข้อดี คือ มีขอบเขตโครงข่ายครอบคลุมเกือบทุกพื้นที่อยู่แล้ว ทำให้สามารถนำมาใช้งานได้ทันทีโดยผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุน อย่างไรก็ตาม ด้วยการที่เป็นโครงข่ายของบุคคลที่สาม ทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมหรือบริหารจัดการใด ๆ บนโครงข่ายเซลลูลาร์ได้

เมื่อพิจารณาในมุมมองทางเทคนิคสำหรับการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ ในโครงข่าย NAN/FAN พบว่าย่านความถี่ต่ำมีคุณสมบัติและลักษณะการกระจายสัญญาณที่เหมาะสมต่อระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่าย่านความถี่สูง กล่าวคือ ในกรณีที่ส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งเท่ากัน การส่งสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss) และการสูญเสียจากจากการแพร่กระจายสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง (Penetration Loss) ต่ำกว่าการส่งสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง จึงทำให้คลื่นวิทยุความถี่ต่ำสามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่า

รวมทั้งสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวาง เช่น ผนังอาคาร ได้ดีกว่าย่านความถี่สูง ซึ่งข้อได้เปรียบดังกล่าวยังส่งผลต่อต้นทุนในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบสื่อสารด้วย เนื่องจากการที่ย่านความถี่ต่ำสามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่า จะทำให้สถานีฐานหรืออุปกรณ์ทวนสัญญาณที่จำเป็นต้องติดตั้งมีจำนวนน้อยกว่ากรณีเลือกใช้ย่านความถี่สูง ทั้งนี้ โดยทั่วไปจะพิจารณาว่าย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz (หรือ Sub-1 GHz) เป็นช่วงความถี่ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับระบบสื่อสารในโครงข่ายสมาร์ทกริดมากที่สุด นอกจากนี้ การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มีความเหมาะสมมากกว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ทั้งด้านความเชื่อถือได้ ความพร้อมใช้งาน ความปลอดภัย ระยะทางสื่อสาร และคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งจากการศึกษากรณีตัวอย่างในต่างประเทศมีความสอดคล้องกับข้อสรุปดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มีค่าใช้จ่ายที่สูงมากในการขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ ซึ่งเมื่อพิจารณาในมุมมองทางเศรษฐศาสตร์แล้วอาจไม่คุ้มค่าต่อการนำมาใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจาก Application ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่ใช้งานในปัจจุบัน ยังไม่ก่อให้เกิดผลตอบแทนที่เป็นรูปธรรมต่อผู้ให้บริการไฟฟ้า อีกทั้งการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรกมักจะเป็นระบบสมาร์ทมิเตอร์หรือระบบ AMI ซึ่งยังไม่มีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่สูงมากนัก ส่งผลให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่มักเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มากกว่า แต่ก็มีผู้ให้บริการไฟฟ้าบางรายที่เริ่มเล็งเห็นว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed อาจจะไม่สามารถรองรับ Application ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตได้ และเริ่มพิจารณาถึงความเหมาะสมในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ตัวอย่างเช่น ในทวีปยุโรป กลุ่ม European Utilities Telecom Council (EUTC) ได้ออก Position Paper เมื่อปี ค.ศ. 2013 ระบุว่าจำเป็นต้องมีการจัดสรรคลื่นความถี่ให้กับผู้ให้บริการสาธารณูปโภคเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยเฉพาะ โดย EUTC เสนอให้จัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน UHF (450-470 MHz) เนื่องจากย่านความถี่ดังกล่าวมีความเหมาะสมทั้งในเชิงกลยุทธ์และด้านเทคนิคที่จะรองรับการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาจะเห็นว่าแต่ละประเทศมีการเลือกใช้คลื่นความถี่ที่แตกต่างกันสำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ถึงแม้ว่าจะเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed และการใช้ย่านความถี่ต่ำจะมีความเหมาะสมทางเทคนิคมากที่สุดสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด แต่ด้วยบริบทและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศหรือแต่ละโครงการ เช่น ต้นทุนค่าใช้จ่าย ระยะเวลาในการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ อีกทั้งการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรก ส่วนใหญ่เป็นลักษณะโครงการนำร่องที่เน้นด้านการทดสอบการใช้งานโดยเฉพาะด้านระบบสื่อสาร ตลอดจน Application ในปัจจุบันยังมีความต้องการด้านระบบสื่อสารไม่สูงนัก ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจึงมีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ และนิยมใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มากกว่าแบบ Licensed

ประเด็นสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ได้แก่ ความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ที่จะนำมาใช้งาน เช่น หากเป็นระบบ AMI ซึ่งมีความต้องการด้านระบบสื่อสารไม่สูงมากนัก การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed อาจเพียงพอต่อความต้องการแล้ว แต่หากต้อง

รองรับ Application ที่มีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่สูงขึ้น เช่น Demand Response, Distribution Automation หรือการควบคุมและเฝ้าระวังระบบโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่กว้าง อาจจำเป็นต้องใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อที่จะรับประกันความเชื่อถือได้และความพร้อมใช้งานของระบบสื่อสาร

นอกจากนี้ ประเด็นด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่ต้องการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง และการนำคลื่นความถี่แบบ Licensed มาใช้สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด อาจจะไม่คุ้มค่าในมุมมองด้านการลงทุน เนื่องจากระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดไม่ได้เป็นบริการที่ก่อให้เกิดรายได้มากเท่ากิจการโทรคมนาคม ดังนั้น ในหลายประเทศจึงดำเนินการในลักษณะที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าจัดทำความร่วมมือทางธุรกิจร่วมกับผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่เป็นเจ้าของใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ โดยยังไม่พบข้อมูลว่ามีผู้ให้บริการไฟฟ้ารายใดที่ขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ด้วยตนเอง

ดังนั้น ผลการศึกษากรณีตัวอย่างของการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ จึงยังนำมาปรับใช้กับประเทศไทยโดยตรงไม่ได้ เนื่องจากบริบทของต่างประเทศอาจแตกต่างกับประเทศไทย ทั้งนี้ การศึกษาการใช้คลื่นความถี่ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ตลอดจนการพิจารณาต้นทุนการลงทุนของ Application ต่าง ๆ จากการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่างกัน และการศึกษาการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ในปัจจุบัน เพื่อนำไปสู่ข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย จะอยู่ในขอบเขตงานของรายงานที่จะส่งมอบในระยะถัดไป

ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดถือเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญสำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้าในอนาคต เนื่องจากโครงข่ายไฟฟ้าในอนาคตจะมีรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตขนาดเล็กที่กระจายอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ โดยเฉพาะแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนซึ่งมีความผันผวนสูง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือสมาร์ทกริด เพื่อที่จะสามารถบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้าทั้งในด้านการผลิตไฟฟ้า การส่งจ่ายไฟฟ้า และการใช้ไฟฟ้า ให้มีเสถียรภาพและมีความเชื่อถือได้สูงสุด ซึ่งระบบสื่อสารไร้สายถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ทั้งนี้ ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการรักษาเสถียรภาพและความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในอนาคต ซึ่งถือเป็นการรักษาความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศ แต่การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจะไม่ก่อให้เกิดผลตอบแทนให้กับการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มากนัก ดังนั้น กสทช. ในฐานะหน่วยงานกำกับดูแลด้านการจัดสรรคลื่นความถี่ในประเทศไทย ควรพิจารณาถึงความจำเป็นในการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในมุมมองของความมั่นคงทางพลังงานของประเทศเป็นสำคัญ

ตารางที่ 5-1 สรุปการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ (โครงข่าย NAN/FAN)

ประเทศ	ลักษณะโครงการ	เจ้าของโครงการ	Application	การใช้คลื่นความถี่	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
เนเธอร์แลนด์	การใช้งานเชิงพาณิชย์	บริษัท Alliander	ระบบสมาร์ทมิเตอร์	Licensed	450 MHz/ 6 (2x3) MHz	CDMA 450	เป็นลักษณะความร่วมมือทางธุรกิจกับผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ ดังนั้น บริษัท Alliander จึงไม่ต้องขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง
นอร์เวย์	โครงการนำร่อง 1) Demo Steinkjer 2) Smart Energy Hvaler 3) Demo Lyse	Norwegian Smart Grid Center (NSGC)	ระบบสมาร์ทมิเตอร์	Unlicensed	• 433 MHz/ 1.74 MHz • 444 MHz/ 150 (6x25) kHz • 868 MHz/ 2 MHz	RF Mesh	ผลการทดสอบพบว่าย่านความถี่ 433-444 MHz ทำงานได้ดีกว่าย่านความถี่ 868 MHz
สหรัฐอเมริกา	การใช้งานเชิงพาณิชย์และโครงการนำร่องจำนวนมาก	ผู้ให้บริการไฟฟ้าหลายราย	ระบบ AMI	Licensed และ Unlicensed	นิยมใช้ย่าน 900 MHz/ 26 MHz (Unlicensed)	RF Mesh/ Zigbee	ส่วนใหญ่มักเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed แต่ก็มีผู้ให้บริการไฟฟ้าบางรายใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed

ประเทศ	ลักษณะโครงการ	เจ้าของโครงการ	Application	การใช้คลื่นความถี่	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
จีน	โครงการนำร่อง ที่ Zhuhai Special Economic Zone	China Southern Grid (CSG)	ระบบ Distribution Automation	Licensed	1,800 MHz/ 20 MHz	LTE TDD	ใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปของบริษัท Huawei ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง
เวียดนาม	โครงการนำร่อง ที่ 1) จังหวัด Thái Nguyên 2) นิคมฯ Saigon Hi-Tech Park 3) ตอนกลางของประเทศ	1) บริษัท EVNNPC 2) บริษัท EVNHCMC 3) บริษัท EVNCPC	ระบบ AMR และ Smart City	Unlicensed	<u>ระบบ AMR</u> • 408.925 MHz/ 50 kHz • 433 MHz/ 1.74 MHz <u>Smart City</u> • 2.4 GHz/ 100 MHz • 5 GHz/ 150 MHz	<u>ระบบ AMR</u> RF Mesh <u>Smart City</u> - WiFi	- โครงการ Smart City ใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปของบริษัท Trillian ซึ่งใช้เทคโนโลยี WiFI 2.4/5 GHz - ระบบ AMR ที่จังหวัด Thái Nguyên ถือว่าไม่ประสบความสำเร็จ
เกาหลีใต้	โครงการทดสอบด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู	ความร่วมมือระหว่างหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน	ทดสอบหลาย Application แต่การใช้งานระบบสื่อสารไร้สายจะอยู่ที่ระบบ AMI เป็นหลัก	Unlicensed	2.4 GHz/100 MHz	Zigbee Mesh	การทดสอบในโครงการยังรวมถึงการเชื่อมต่อกับสมาร์ทมิเตอร์โดยตรง ผ่านระบบ WCDMA และ WiBro (เป็นชื่อเรียกของ WiMax ในเกาหลีใต้)

ประเทศ	ลักษณะโครงการ	เจ้าของโครงการ	Application	การใช้คลื่นความถี่	ย่านความถี่/แบนด์วิดท์	เทคโนโลยีระบบสื่อสาร	หมายเหตุ
สิงคโปร์	โครงการนำร่องที่ Singapore University of Technology and Design (SUTD)	Singapore University of Technology and Design (SUTD)	การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร	Unlicensed	630-742 MHz/ 112 MHz	TV White Space (TVWS)	TVWS ยังไม่มีการกำกับดูแลในสิงคโปร์

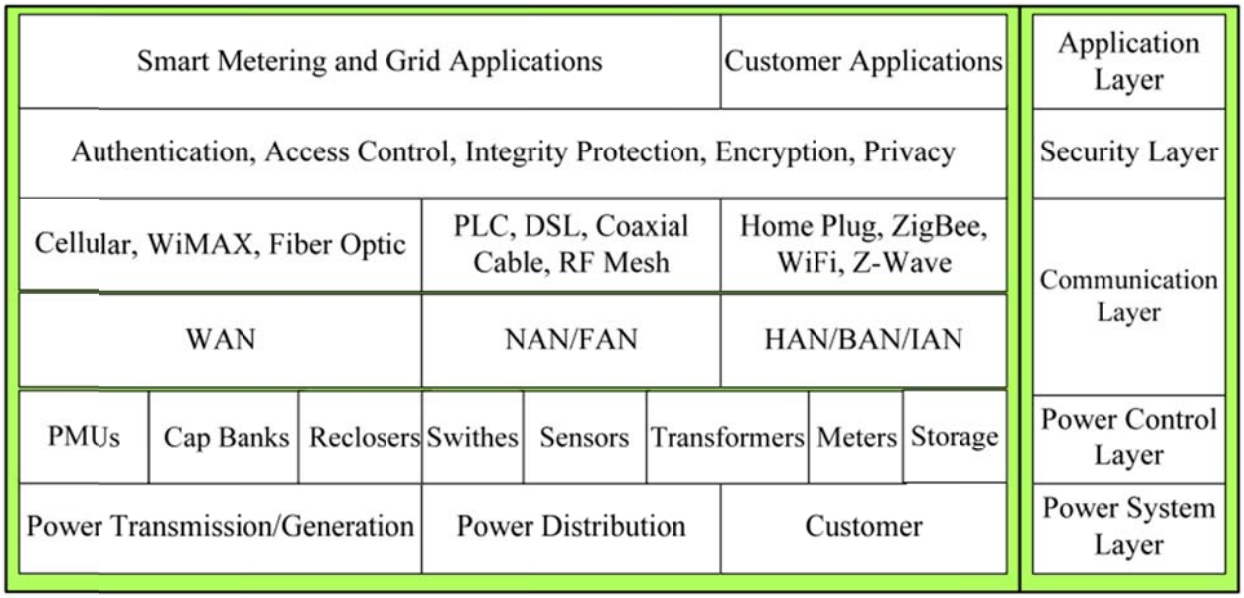
บทที่ 6
ย่านความถี่สำหรับการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

จากการศึกษาการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ จะเห็นว่าแต่ละประเทศมีการใช้คลื่นความถี่ที่แตกต่างกันไป ถึงแม้ว่าคลื่นความถี่แบบ Licensed และย่านความถี่ต่ำมีความเหมาะสมทางเทคนิคมากที่สุดสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด แต่ด้วยบริบทและข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ต้นทุนค่าใช้จ่าย ความสะดวกและระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้ง อีกทั้ง Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ยังมีความต้องการด้านระบบสื่อสารไม่สูงมากนัก ดังนั้น หลายประเทศจึงนิยมใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มากกว่าแบบคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรก

อย่างไรก็ตาม รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อการเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมกับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทยในระยะยาว ทั้งนี้ ประเด็นสำคัญในการวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสม ได้แก่ ความต้องการด้านระบบสื่อสาร ซึ่งในบทที่ 6 นี้จะเป็นการศึกษาการใช้คลื่นความถี่ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

6.1 สถาปัตยกรรมโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถพิจารณาเป็นแพลตฟอร์มที่มีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างหลายระดับชั้น (Layer) ที่แตกต่างกัน [11] ดังแสดงในรูปที่ 6-1



รูปที่ 6-1 สถาปัตยกรรมหลายระดับชั้นของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

สถาปัตยกรรมในรูปที่ 6-1 แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ดังนี้

1) ชั้นระบบไฟฟ้า (Power System): หมายถึง ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า และระบบของผู้ใช้ไฟฟ้า
2) ชั้นควบคุมระบบไฟฟ้า (Power Control): ช่วยให้ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีความสามารถในการตรวจสอบ ควบคุม และบริหารจัดการระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้
3) ชั้นสื่อสาร (Communication): รองรับการสื่อสารสองทางในสภาพแวดล้อมของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
4) ชั้นความปลอดภัย (Security): ช่วยรักษาข้อมูลในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดให้เป็นความลับ โดยมีการตรวจสอบ ควบคุม และป้องกันการเข้าถึง ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง
5) ชั้น Application: การให้บริการ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า ตามโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูลที่มีอยู่

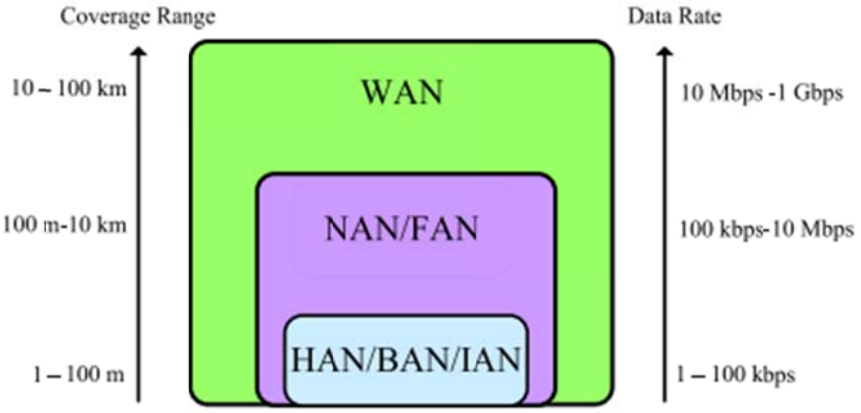
จากการแบ่งระดับชั้นในสถาปัตยกรรมของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดข้างต้น สามารถยกตัวอย่างการให้บริการระบบสมาร์ทมิเตอร์ได้ดังนี้

1) ชั้นระบบไฟฟ้า ได้แก่ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า
2) ชั้นควบคุมระบบไฟฟ้า ในที่นี้คือสมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่วัดค่าพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า
3) ชั้นสื่อสาร รับผิดชอบการรับ-ส่งข้อมูล ระหว่างผู้ให้บริการไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้า
4) ชั้นความปลอดภัย ทำหน้าที่รักษาความเป็นส่วนตัวของข้อมูล
5) ชั้น Application ในที่นี้ได้แก่ ระบบสมาร์ทมิเตอร์

ชั้นสื่อสารเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดเพื่อให้ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถทำงานได้ ทั้งนี้ ในสภาพแวดล้อมของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โครงข่ายสื่อสารจะมีลักษณะสถาปัตยกรรมแบบลำดับชั้น (Hierarchical) จำแนกตามอัตราข้อมูลและระยะครอบคลุมได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

- โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network) เช่น โครงข่าย Home Area Network (HAN), โครงข่าย Building Area Network (BAN) และ โครงข่าย Industrial Area Network (IAN)
- โครงข่าย Neighborhood Area Network/Field Area Network (NAN/FAN)
- โครงข่าย Wide Area Network (WAN)

ความต้องการด้านอัตราข้อมูลและระยะสื่อสารโดยทั่วไปสำหรับโครงข่ายเหล่านี้ สรุปได้ดังรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 ความต้องการด้านอัตราข้อมูลและระยะสื่อสารสำหรับโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

Application ในโครงข่ายในส่วนผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น HAN/BAN/IAN มักเป็นระบบอัตโนมัติในบ้านและอาคาร ซึ่งเป็นการรับ-ส่งข้อมูลตรวจวัดทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าไปยังตัวควบคุมภายในบ้านหรืออาคาร โดยทั่วไป Application เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องมีการรับ-ส่งข้อมูลบ่อยครั้ง และการทำงานทั้งหมดเกิดขึ้นภายในพื้นที่บ้าน อาคาร หรือโรงงานเท่านั้น ดังนั้น ความต้องการด้านระบบสื่อสารสำหรับ Application ในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าจะมุ่งเน้นไปที่ระบบสื่อสารที่ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก เรียบง่าย และมีความปลอดภัยในการสื่อสาร ดังนั้น เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สามารถรองรับอัตราข้อมูลได้ถึง 100 kbps และระยะสื่อสารสูงสุด 100 เมตร ถือว่าเพียงพอต่อการใช้งานแล้ว ตัวอย่างเทคโนโลยีที่นิยมใช้งานสำหรับ Application ในโครงข่าย HAN/BAN/IAN เช่น ZigBee, WiFi, Z-Wave และ Bluetooth ในกรณีระบบสื่อสารไร้สาย ตลอดจน PLC และ Ethernet ในกรณีระบบสื่อสารแบบมีสาย

Application ในโครงข่าย NAN/FAN เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์, Demand Response และ Distribution Automation ต้องรองรับการรับ-ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมาก ไปยังอุปกรณ์รวบรวมข้อมูล (Data Concentrator) หรือสถานีไฟฟ้า ดังนั้น Application เหล่านี้จึงต้องการเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงขึ้น (100 kbps - 10 Mbps) และมีระยะครอบคลุมที่ไกลขึ้น (100 เมตร - 10 กิโลเมตร) ตัวอย่างเทคโนโลยีที่นิยมใช้งานสำหรับ Application ในโครงข่าย NAN/FAN เช่น ZigBee Mesh, WiFi Mesh, WiMax และโครงข่ายเซลลูลาร์ ในกรณีระบบสื่อสารไร้สาย ตลอดจน PLC, DSL และสายโคแอ็กเซียล ในกรณีระบบสื่อสารแบบมีสาย

สำหรับ Application ในโครงข่ายWAN เช่น การควบคุม การตรวจสอบ และการป้องกันในพื้นที่กว้าง (Wide-area Control, Monitoring and Protection) ซึ่งต้องรองรับการรับ-ส่งข้อมูลแบบเวลาจริงจำนวนมาก เพื่อให้สามารถควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ตลอดเวลา ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงมาก (10 Mbps - 1 Gbps) และมีระยะสื่อสารที่ไกลมาก (10 - 100 กิโลเมตร) ดังนั้น ในกรณีโครงข่าย WAN จึงมักพบการใช้งานโครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสารระหว่างสถานีไฟฟ้ากับศูนย์ควบคุมของผู้ให้บริการด้านไฟฟ้า เนื่องจากโครงข่าย Optical Fiber มีสมรรถนะสูงมาก ทั้งในด้านอัตราข้อมูล, แบนด์วิดท์ และเวลาหน่วง (Latency) นอกจากนี้ โครงข่ายเซลลูลาร์และ WiMax ก็สามารถนำมาใช้งานได้ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีพื้นที่ครอบคลุมกว้างและมีอัตราข้อมูลสูง รวมไปถึงระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถนำมาใช้งานเป็นเส้นทางสื่อสารสำรอง ณ สถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญ และรองรับการสื่อสารในพื้นที่ห่างไกล

โดยทั่วไป ระบบสื่อสารไร้สายถือว่ามีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่าระบบสื่อสารแบบมีสาย เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำกว่าและสามารถติดตั้งใช้งานได้รวดเร็วกว่า อีกทั้งมีความคล่องตัวและความยืดหยุ่นสูงกว่า ตารางที่ 6-1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบสื่อสารต่าง ๆ ในแง่ของอัตราข้อมูลและระยะครอบคลุม สำหรับการนำมาใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

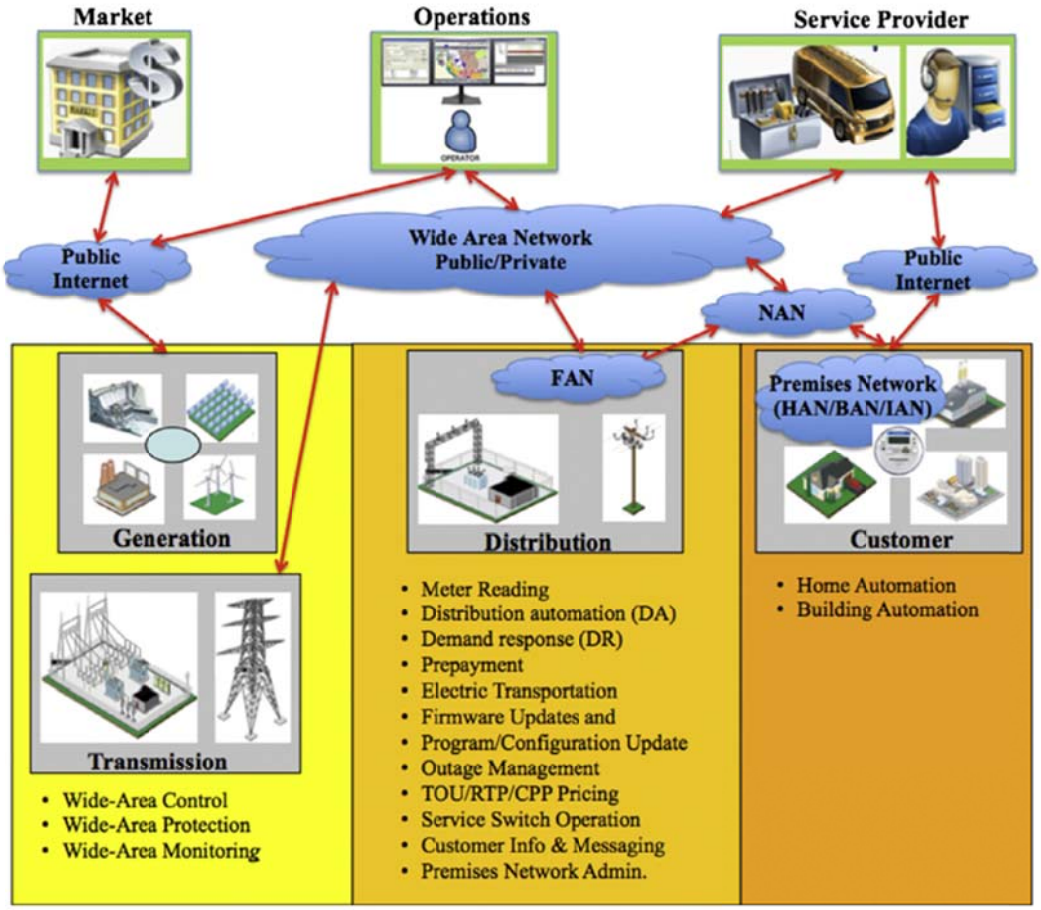
ตารางที่ 6-1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด [11]

เทคโนโลยี	มาตรฐาน/โพรโทคอล	อัตราข้อมูลสูงสุด	ระยะครอบคลุมสูงสุด	โครงข่าย		
				HAN/BAN/IAN	NAN/FAN	WAN
เทคโนโลยีแบบมีสาย						
Optical Fiber	PON	155 Mbps – 2.5 Gbps	60 km			✓
	WDM	40 Gbps	100 km			✓
	SONET/SDH	10 Gbps	100 km			✓
DSL	ADSL	1-8 Mbps	5 km		✓	
	HDSL	2 Mbps	3.6 km		✓	
	VDSL	15 - 100 Mbps	1.5 km		✓	
Coaxial Cable	DOCSIS	172 Mbps	28 km		✓	
PLC	HomePlug	14-200 Mbps	200 m	✓		
	Narrowband	10-500 kbps	3 km		✓	
Ethernet	802.3x	10 Mbps – 10 Gbps	100 m	✓	✓	
เทคโนโลยีแบบไร้สาย						
Z-Wave	Z-Wave	40 kbps	30 m	✓		
Bluetooth	802.15.1	721 kbps	100 m	✓		
Zigbee	Zigbee	250 kbps	100 m	✓	✓	
	Zigbee Pro	250 kbps	1600 m	✓	✓	
WiFi	802.11x	2 – 600 Mbps	100 m	✓	✓	
WiMax	802.16	75 Mbps	50 km		✓	✓
Wireless Mesh	เช่น RF Mesh, 802.11, 802.15, 802.16	ขึ้นอยู่กับโพรโทคอลที่ใช้	ขึ้นอยู่กับโพรโทคอลที่ใช้	✓	✓	
เซลลูลาร์	2G	14.4 kbps	50 km		✓	✓
	2.5G	144 kbps			✓	✓
	3G	2 Mbps			✓	✓
	3.5G	14 Mbps			✓	✓
	4G	100 Mbps			✓	✓
ดาวเทียม	อินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียม	1 Mbps	100 – 6000 km			✓

6.2 ความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นแพลตฟอร์มที่ประกอบด้วยหลายโดเมนที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ระบบผลิตไฟฟ้า, ระบบส่งไฟฟ้า, ระบบจำหน่ายไฟฟ้า, ผู้ใช้ไฟฟ้า, ผู้ให้บริการ, ศูนย์ควบคุม ไปจนถึงตลาดซื้อขายไฟฟ้า ดังนั้นระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจึงมี Application ที่แตกต่างกันจำนวนมาก

ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation) มีหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานปฐมภูมิรูปแบบอื่น ๆ เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล, น้ำ, ลม, แสงอาทิตย์ และความร้อนใต้พิภพ จากนั้น ระบบส่งไฟฟ้า (Transmission) รับผิดชอบด้านการส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ห่างไกล เพื่อจ่ายไปยังระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution) ซึ่งทำหน้าที่กระจายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer) ทั้งภาคที่อยู่อาศัย ภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรม โดยมีผู้ให้บริการ (Service Provider) ทำหน้าที่ส่งมอบบริการด้านต่าง ๆ ให้กับทั้งผู้ให้บริการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า ศูนย์ควบคุม (Operation) มีหน้าที่บริหารจัดการระบบโครงข่ายไฟฟ้าทั้งหมดตั้งแต่ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า สุดท้ายตลาดซื้อขายไฟฟ้า (Market) เป็นโดเมนที่ทำให้เกิดการซื้อขายไฟฟ้าและรักษาความสมดุลระหว่างกำลังผลิตไฟฟ้า (Supply) และความต้องการไฟฟ้า (Demand) ซึ่งแต่ละโดเมนเหล่านี้จะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันผ่าน Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังแสดงในรูปที่ 6-3



รูปที่ 6-3 โดเมนในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ตามที่กล่าวไปแล้วว่าโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด สามารถแบ่งได้เป็นโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (HAN/BAN/IAN), โครงข่าย NAN/FAN และโครงข่าย WAN ตามอัตราข้อมูลและระยะสื่อสารที่ครอบคลุม ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ต่าง ๆ ตามโครงสร้างระบบสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ทั้งนี้ ความต้องการดังกล่าวอาจแตกต่างกันไปในแต่ละกรณีของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานของผู้ให้บริการไฟฟ้าแต่ละราย และยังมีความแตกต่างกันในประเด็นอื่น ๆ เช่น จำนวนอุปกรณ์ สภาพภูมิประเทศ และระยะห่าง/ความหนาแน่นระหว่างอุปกรณ์ อีกทั้งยังมีทางเลือกด้านเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่หลากหลายทั้งระบบสื่อสารแบบมีสายและแบบไร้สาย ซึ่งกรณีที่ใช้ระบบสื่อสารแบบไร้สายยังประกอบด้วยหลากหลายเทคโนโลยีทางเลือกและคลื่นความถี่ที่มีความเหมาะสมแตกต่างกันตามบริบทของการกำกับดูแลและการใช้งานในแต่ละประเทศ ดังนั้น หัวข้อนี้จึงเป็นการแสดงความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ต่าง ๆ ในบริบทของตัวอย่างการใช้งานทั่วไปเท่านั้น เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทยต่อไป

6.2.1 Application ในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า

โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network) หรือโครงข่าย HAN/BAN/IAN (Home Area Network/ Building Area Network/Industrial Area Network) ถือเป็นจุดสิ้นสุดของโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยเป็นโครงข่ายที่สนับสนุนการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในสถานที่ของผู้ใช้ไฟฟ้า ทั้งนี้ โครงข่าย HAN เป็นโครงข่ายสื่อสารสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน, อุปกรณ์ที่สามารถรับ-ส่งสัญญาณกับสมาร์ทมิเตอร์, อุปกรณ์แสดงผล (In-home display: IHD) ตลอดจนระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management System: HEMS) ตัวอย่าง Application ที่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย HAN ตัวอย่างเช่น ระบบอัตโนมัติภายในบ้าน (Home Automation) ระบบบริหารจัดการการปรับอุณหภูมิภายในห้อง, ระบบบริหารจัดการการปรับอุณหภูมิถังเก็บน้ำ และระบบบริหารจัดการโหลดและค่าไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับโครงข่าย BAN และโครงข่าย IAN เป็นโครงข่ายสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ซึ่งเน้นไปที่ระบบอัตโนมัติในอาคาร/โรงงาน, ระบบบริหารจัดการเกี่ยวกับ HVAC และ Application ด้านการบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องอื่น ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น ผู้ให้บริการไฟฟ้า หรือผู้ให้บริการอื่น ๆ ผ่านทางสมาร์ทมิเตอร์หรืออุปกรณ์เกตเวย์ ซึ่งทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถให้บริการ Application ที่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย NAN/FAN ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้ เช่น บริการเติมเงินค่าไฟฟ้า, การส่งข้อมูลต่าง ๆ ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า, อัตราค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง (Real-time Pricing), การบริหารจัดการโหลด (Load Management) และมาตรการ Demand Response เป็นต้น สรุปความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในโครงข่าย HAN/BAN/IAN ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 ความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในโครงข่าย HAN/BAN/IAN

Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม	
					แบบมีสาย	แบบไร้สาย
Home Automation	10-100	ตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น ทุกๆ 1 นาทีหรือ 15 นาที	ระดับวินาที	>98	- PLC - Ethernet	- Z-Wave - Bluetooth - Zigbee - WiFi
Building Automation	>100	ตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น ทุกๆ 1 นาที หรือ 15 นาที	ระดับวินาที	>98	- PLC - Ethernet	- Zigbee - WiFi - Wireless Mesh

6.2.2 Application ในโครงข่าย NAN/FAN

โครงข่าย NAN (Neighborhood Area Network) เป็นโครงข่ายที่สนับสนุนการสื่อสารข้อมูลระหว่างโครงข่าย WAN กับโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า มีหน้าที่หลักในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้ไฟฟ้าหลายรายในพื้นที่หนึ่ง ๆ เพื่อส่งต่อไปยังศูนย์ข้อมูลของผู้ให้บริการไฟฟ้า โครงข่าย NAN ในบางครั้งอาจเรียกเป็นโครงข่าย FAN (Field Area Network) หากมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภาคสนาม เช่น อุปกรณ์ IED (Intelligent Electronic Device) โดยโครงข่าย NAN/FAN ถือเป็นส่วนสำคัญในการรองรับการทำงานของหลากหลาย Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์, Demand Response, ระบบ Distribution Automation, การบริหารจัดการและกู้ไฟดับ (Outage Management) และการใช้อัตราค่าไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ

โครงข่าย NAN/FAN โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นโครงข่ายของสมาร์ทมิเตอร์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบ AMI (Advanced Metering Infrastructure) เพื่อทำให้เกิดบริการต่าง ๆ เช่น การอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ การตัด-ต่อมิเตอร์จากระยะไกล และการตรวจสอบการลักลอบใช้ไฟฟ้า เป็นต้น โครงข่าย NAN/FAN จะรองรับการส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากสมาร์ทมิเตอร์ไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้า รวมทั้งรองรับการควบคุมอุปกรณ์ภาคสนามจากระยะไกล เช่น การควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ Distribution Automation ทั้งนี้ โครงข่าย NAN/FAN จะเชื่อมต่อกับโครงข่าย WAN ผ่านโครงข่าย Backhaul ซึ่งเป็นโครงข่ายที่รวบรวมข้อมูลจากโครงข่าย NAN/FAN จำนวนหลายโครงข่ายเพื่อส่งต่อไปยังโครงข่าย WAN

Application ที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในโครงข่าย NAN/FAN ตัวอย่างเช่น การอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ, ระบบ Distribution Automation, Demand Response, การชำระค่าไฟฟ้าล่วงหน้า (Prepayment), การตัด-ต่อมิเตอร์จากระยะไกล, การบริหารจัดการและกู้ไฟดับ, อัตราค่าไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ (เช่น TOU/RTP/CPP), การส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า, การบริหารจัดการโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า และการอัปเดต/ปรับปรุงเฟิร์มแวร์ เป็นต้น ซึ่ง Application เหล่านี้จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงขึ้นและมีระยะสื่อสารที่ไกลขึ้นกว่า Application ในโครงข่าย HAN/BAN/IAN (เช่น อาจถึง 10 กิโลเมตร) ซึ่งความต้องการด้านอัตราข้อมูลและระยะสื่อสารจะแตกต่างกันไปในแต่ละ Application ตัวอย่างเช่น ขนาดข้อมูลโดยทั่วไป

สำหรับการอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติอยู่ที่ประมาณ 1,600-2,400 byte ขณะที่ขนาดข้อมูลในระบบ Distribution Automation อยู่ที่ประมาณ 25-1,000 byte

Application ในโครงข่าย NAN/FAN ทั้งหมดที่กล่าวถึงข้างต้น สามารถอธิบายลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

1) การอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

การอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ เป็นระบบที่ช่วยให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์ และส่งต่อข้อมูลไปยังฐานข้อมูลกลางสำหรับประมวลผลเพื่อเรียกเก็บเงินต่อไป และหากมีการพัฒนาไปสู่ระบบ AMI จะทำให้เกิดการสื่อสารแบบสองทางแบบเวลาจริง (Real Time) ระหว่างมิเตอร์กับระบบบริหารจัดการของผู้ให้บริการไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยเพิ่มความถูกต้องแม่นยำและลดต้นทุนการดำเนินงานของการอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้ายังสามารถทราบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้แบบเวลาจริง ทำให้สามารถบริหารการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้ดียิ่งขึ้น ความต้องการด้านระบบสื่อสารสำหรับการอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติจะขึ้นอยู่กับประเภทของบริการ เช่น การอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าตามความต้องการ (On-demand) การอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่กำหนด (Interval) และการถ่ายโอนข้อมูลขนาดใหญ่ (Bulk Transfer)

- การอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าตามความต้องการ (On-demand) เป็นการสั่งให้ระบบอ่านค่าจากมิเตอร์ตามที่ร้องขอ เช่น เมื่อผู้ให้บริการไฟฟ้าต้องการตอบคำถามผู้ใช้ไฟฟ้าเกี่ยวกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือเพื่อเติมข้อมูลที่ขาดหายไปสำหรับการนำไปคำนวณค่าไฟฟ้า ขนาดข้อมูลโดยทั่วไปอยู่ที่ 100 byte และความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 15 วินาที
- การอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่กำหนด (Interval) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์เพื่อส่งไปยัง AMI Head-end จำนวนหลายครั้งในหนึ่งวันตามที่กำหนด (เช่น 4-6 ครั้งต่อวันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มบ้านอยู่อาศัยหรือ 12-24 ครั้งต่อวันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจ/อุตสาหกรรม) โดยมีช่วงเวลาในการเรียกข้อมูลจากมิเตอร์ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 15 นาทีถึง 1 ชั่วโมง ซึ่งการอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาเป็นการดำเนินการแบบอัตโนมัติโดยสมาร์ทมิเตอร์ ทั้งนี้ ระยะเวลาในการจัดส่งข้อมูลที่ยอมรับได้ คือ ต่ำกว่า 2 ชั่วโมงสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจ/อุตสาหกรรม และต่ำกว่า 4 ชั่วโมงสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มบ้านอยู่อาศัย ขนาดข้อมูลจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการอ่านมิเตอร์ในช่วงเวลานั้น ๆ
- การถ่ายโอนข้อมูลขนาดใหญ่ (Bulk Transfer) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์จำนวนมากในระบบ ผ่านทาง AMI Head-end หรือระบบ Meter Data Management (MDMS) เพื่อส่งไปยังระบบที่เกี่ยวข้องของผู้ให้บริการไฟฟ้าต่อไป ขนาดข้อมูลจะขึ้นอยู่กับจำนวนมิเตอร์ที่ถูกตั้งค่าให้มีการถ่ายโอนข้อมูลในครั้งนั้น ๆ

2) Application ด้านอัตราค่าไฟฟ้า

Application ด้านอัตราค่าไฟฟ้า เป็นการส่งข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าไปยังมิเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Smart Appliance, ยานยนต์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ควบคุมโหลดในสถานที่ของผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อช่วยในการคำนวณค่าไฟฟ้าและบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสม อัตราค่าไฟฟ้าที่มักนำมาใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้แก่ อัตรา Time of

Use (TOU) อัตรา Real-time Pricing (RTP) และอัตรา Critical Peak Pricing (CPP) ขนาดข้อมูลโดยทั่วไปอยู่ที่ 100 byte และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 1 นาที

- อัตรา TOU ช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ หากผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถปรับเปลี่ยนการใช้ไฟฟ้าไปสู่ช่วงเวลา Off-peak โดยผู้ใช้ไฟฟ้าที่เลือกใช้อัตรานี้จะต้องยอมรับอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันในช่วงเวลาต่าง ๆ เช่น Peak, Off-peak และ Partial-peak
- อัตรา RTP เป็นอัตราที่ปรับเปลี่ยนค่าไฟฟ้าตลอดเวลาในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น ทุก 5 นาที 30 นาที หรือ 1 ชั่วโมง โดยผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าเพื่อช่วยในการวางแผนลดค่าไฟฟ้าโดยการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสม
- อัตรา CPP มักถูกนำมาใช้ในช่วงเวลาที่ระบบมีความต้องการไฟฟ้าสูงมาก และผู้ให้บริการไฟฟ้าจำเป็นต้องลดโหลดในระบบลงอย่างรวดเร็ว โดยการส่งข้อความ CPP ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าที่ลงทะเบียนไว้ เพื่อขอให้ผู้ใช้ไฟฟ้าลดการใช้ไฟฟ้าในขณะนั้น ๆ อย่างรวดเร็ว เนื่องจากอัตรา CPP จะเรียกเก็บค่าไฟฟ้าในอัตราที่สูงมากในช่วงเวลาที่กำหนด (เช่น 2-3 ชั่วโมง) แต่จะมอบส่วนลดค่าไฟฟ้าให้ในช่วงเวลาอื่น

3) การชำระค่าไฟฟ้าล่วงหน้า (Prepayment)

การชำระค่าไฟฟ้าล่วงหน้า หรือ Prepayment เป็น Application ที่ช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถชำระค่าไฟฟ้าล่วงหน้าได้ โดยผู้ใช้ไฟฟ้ายังคงสามารถใช้ไฟฟ้าได้ตราบเท่าที่ยังมีเครดิตค่าไฟฟ้าเหลืออยู่ ซึ่งข้อมูลเครดิตค่าไฟฟ้าจะถูกเก็บที่มิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายนั้น ทั้งนี้ ระบบ Prepayment ในอดีต จำเป็นต้องใช้มิเตอร์ที่รองรับระบบ Prepayment โดยเฉพาะ ในลักษณะการเติมเครดิตค่าไฟฟ้าให้กับมิเตอร์ จากนั้นมิเตอร์จะวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและนำไปหักเครดิตค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าบริการที่กำหนด โดยมิเตอร์จะมีสัญญาณเตือนเมื่อเครดิตเหลือต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดหรือเหลือศูนย์ บริการไฟฟ้าจะถูกตัดการเชื่อมต่อภายในเวลาที่กำหนดไว้เมื่อเครดิตเหลือศูนย์ ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าจำเป็นต้องเติมเครดิตให้กับมิเตอร์ของตนเพื่อรับบริการอีกครั้ง

แต่ด้วยการพัฒนาของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดและระบบ AMI ทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องใช้มิเตอร์ Prepayment โดยเฉพาะสำหรับการให้บริการ Prepayment อีกต่อไป เนื่องจากสมาร์ทมิเตอร์โดยทั่วไปรองรับฟังก์ชัน Prepayment อยู่แล้ว รวมทั้งมีความสามารถในการเชื่อมต่อหรือตัดการเชื่อมต่อมิเตอร์จากระยะไกลได้อีกด้วย ดังนั้น ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถคำนวณเครดิตที่มีอยู่ในบัญชีการชำระเงินของผู้ใช้ไฟฟ้าล่วงหน้า และสามารถดำเนินการต่าง ๆ เช่น การส่งข้อความเตือน ตลอดจนสั่งตัดการเชื่อมต่อหรือเชื่อมต่อมิเตอร์ได้จากระยะไกล ขนาดข้อมูลโดยทั่วไปสำหรับบริการ Prepayment อยู่ระหว่าง 50-150 byte และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 30 วินาที สำหรับการส่งข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าและยอดเครดิตค่าไฟฟ้าคงเหลือไปยังสมาร์ทมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า

4) Demand Response

Demand Response เป็น Application ที่ช่วยให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถพูดคุยกับอุปกรณ์ต่างๆ ในสถานที่ของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์ควบคุมโหลด, อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า, ยานยนต์ไฟฟ้า และ In-home Display เพื่อสั่งการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ระบบมีความต้องการไฟฟ้าสูง ซึ่งมาตรการ Demand Response โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะการควบคุมโหลดโดยตรง (Direct Load Control) เช่น ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์,

เครื่องปรับอากาศ, ปั๊มความร้อน, เครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้า และ/หรือเครื่องสูบน้ำ ตลอดจนการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ RTP และ TOU ทั้งนี้ ในกรณีมาตรการ Demand Response แบบการควบคุมโหลดโดยตรง อุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมมาตรการจะถูกสั่งให้เปิด/ปิดการทำงานผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมโหลดซึ่งติดตั้งอยู่ในสถานที่ของผู้ใช้ไฟฟ้าตามสัญญาณคำสั่งที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าส่งมา โดยคำสั่งเหล่านี้อาจเป็นการสั่งการแบบ Unicast, Multicast หรือ Broadcast ขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่ต้องการลด ขนาดข้อมูลทั่วไปสำหรับ Demand Response คือ 100 byte และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 1 นาที

5) การตัด-ต่อมิเตอร์จากระยะไกล

การตัด-ต่อมิเตอร์จากระยะไกลเป็นการสั่งการเพื่อตัดการเชื่อมต่อหรือเชื่อมต่อบริการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยไม่จำเป็นต้องส่งพนักงานไปดำเนินการตัด-ต่อมิเตอร์ในสถานที่ของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการดังกล่าว การตัด-ต่อมิเตอร์จากระยะไกลทำได้โดยการส่งคำสั่ง Service enable/Service cancelling ไปยังสมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งมีขนาดข้อมูลทั่วไป 25 byte และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 1 นาที

6) Distribution Automation (DA)

ระบบ Distribution Automation เป็นการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สำคัญในระบบจำหน่ายได้แบบอัตโนมัติ โดยอาศัยการสื่อสารและการจัดการข้อมูลเพื่อตรวจสอบและควบคุมการทำงานของระบบจำหน่ายให้เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะช่วยให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายได้เต็มประสิทธิภาพ โดยการอนุญาตให้มีการควบคุมอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายแบบอัตโนมัติ เช่น Capacitor Bank Controller (CBC), Fault Detector, Recloser, Switch และ Voltage Regulator เพื่อรองรับการให้บริการ Application ของระบบ Distribution Automation ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบจำหน่าย, การควบคุม Volt/VAR, Demand Response ในระบบจำหน่าย (Distribution System Demand Response: DSDR) และการใช้งานฟังก์ชัน FCIR (Fault Detection, Clearing, Isolation and Restoration) ทั้งนี้ ความต้องการใช้งานของระบบ Distribution Automation อาจแตกต่างกันไปสำหรับผู้ให้บริการไฟฟ้าแต่ละราย

- การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบจำหน่าย ได้แก่ การวินิจฉัยตนเองของอุปกรณ์, การสำรวจสถานะอุปกรณ์ (เปิด/ปิด/ไม่ใช้งาน) ในช่วงเวลาที่กำหนด และการเรียกข้อมูลจากเซนเซอร์เพื่อตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ เช่น Capacitor Bank Controller, Fault Detector, Switch และ Voltage Regulator
- การควบคุม Volt/VAR มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า โดยการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าในวงจรจำหน่ายและชดเชยค่าตัวประกอบกำลังให้เหมาะสม
- Demand Response ในระบบจำหน่าย (DSDR) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายให้เหมาะสม เพื่อช่วยในการจัดการโหลดในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง โดยการควบคุมอุปกรณ์ Capacitor Bank Controller, Switch และ Voltage Regulator ในระบบจำหน่าย
- FCIR เป็น Application ที่มีหน้าที่ในการตรวจจับ (Detection), การแยกวงจร (Isolation) และการกู้คืน (Restoration) ระบบไฟฟ้า ภายหลังจากเกิดข้อผิดพลาดในบางส่วนของระบบไฟฟ้า เพื่อลดผลกระทบจากการหยุดชะงักของบริการไฟฟ้าที่มีต่อผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ให้เป็นวงกว้าง

ระบบ Distribution Automation ประกอบด้วยอุปกรณ์สื่อสาร อุปกรณ์ระบบอัตโนมัติ และโครงข่ายสื่อสารที่มีค่า Latency ต่ำ โดยทั่วไปจะถูกสร้างขึ้นบนระบบและโพรโทคอลซึ่งเป็นมาตรฐานแบบเปิด เช่น Internet Protocol (IP) และ SCADA Interface โดยมีขนาดข้อมูลทั่วไปตั้งแต่ 25–1,000 byte และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 4-5 วินาที อีกทั้งยังต้องการความเชื่อถือได้ของการสื่อสารที่สูงมาก เช่น สูงกว่า 99.5%

7) การบริหารจัดการและกู้ไฟดับ (Outage and Restoration Management: ORM)

การบริหารจัดการและกู้ไฟดับ เป็น Application ที่ช่วยให้สามารถตรวจพบเหตุการณ์ไฟดับได้ทันทีที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายไปยังอุปกรณ์ เช่น สมาร์ทมิเตอร์ หรืออุปกรณ์ตรวจไฟดับต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ยังสามารถรายงานสถานะแรงดันไฟฟ้าเกินและตกได้อีกด้วย โดยทั่วไปผู้ให้บริการไฟฟ้ามักติดตั้งอุปกรณ์ตรวจไฟดับมากกว่าหนึ่งตัวในแต่ละวงจรย่อยของระบบจำหน่ายเพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณเตือนที่ผิดพลาด การใช้งาน Application ORM จะทำให้สมาร์ทมิเตอร์สามารถส่งข้อความไปยังระบบบริหารจัดการไฟดับ (Outage Management System: OMS) ของผู้ให้บริการไฟฟ้าโดยทันทีเมื่อมิเตอร์ขาดการเชื่อมต่อกับพลังงานไฟฟ้า เพื่อแจ้งให้ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ไฟดับ รวมทั้งเมื่อตรวจพบว่ามีการจ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับคืนมาแล้ว มิเตอร์จะส่งข้อความแจ้งไปยังระบบบริหารจัดการไฟดับเช่นกัน ขนาดข้อมูลทั่วไปของ Application ORM คือ 25 byte และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 20 วินาที

8) ระบบกักเก็บพลังงานในระบบจำหน่าย

ระบบกักเก็บพลังงานในระบบจำหน่าย เป็นเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองความท้าทายของแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวนสูง โดยอุปกรณ์กักเก็บพลังงานจะช่วยเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ เพื่อนำไปช่วยระบบไฟฟ้าในช่วงที่จำเป็นต่อไป ระบบกักเก็บพลังงานในระบบจำหน่ายประกอบด้วยการติดตั้งอุปกรณ์กักเก็บพลังงานตลอดเส้นทางของวงจรสายป้อน เพื่อช่วยลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Shaving), รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า, รักษาคุณภาพไฟฟ้า, ควบคุมความต้องการไฟฟ้า และป้องกันเหตุขัดข้องในระบบจำหน่าย โดยมีขนาดข้อมูลทั่วไป 25 byte สำหรับการส่งคำสั่งอัดประจุ/คายประจุ จาก Distribution Application Controller (DAC) ไปยังอุปกรณ์กักเก็บพลังงานในระบบจำหน่าย และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 5 วินาที

9) Application ที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า

Application ที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าเป็นการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าจากยานยนต์ไฟฟ้าไปยังโครงข่ายไฟฟ้า (Vehicle-to-grid: V2G) รวมทั้งการไหลของกระแสไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าไปยังยานยนต์ไฟฟ้า (Grid-to-vehicle: G2V) ซึ่งในอนาคตยานยนต์ไฟฟ้าสามารถทำตัวเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายที่เคลื่อนที่ได้ ทำให้เกิด Application ซึ่งผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถสั่งการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า หรือสั่งการให้ยานยนต์ไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ ขนาดข้อมูลโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 100-255 byte และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 15 วินาที ในลักษณะที่การไฟฟ้าส่งสัญญาณเพื่อขอข้อมูลเกี่ยวกับสถานะแบตเตอรี่ (State-of-charge: SOC) ของยานยนต์ไฟฟ้า พร้อมทั้งแจ้งอัตราค่าไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง ส่วนยานยนต์ไฟฟ้าจะส่งข้อความกลับไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อคำสั่งที่ได้รับ

10) การอัปเดต/ปรับปรุงเฟิร์มแวร์

การอัปเดต/ปรับปรุงเฟิร์มแวร์ และการอัปเดต/ตั้งค่าโปรแกรม เป็น Application ที่ช่วยให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถอัปเดตเฟิร์มแวร์และเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าโปรแกรมสำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้าเพื่อเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานใหม่ ๆ หรือเปลี่ยนแปลงการตั้งค่า โดยเฉพาะการอัปเดตเฟิร์มแวร์เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดหรือเพิ่มคุณสมบัติของโปรแกรมบนอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งผู้ให้บริการไฟฟ้ามักดำเนินการอัปเดต/ปรับปรุงเฟิร์มแวร์ เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงการทำงานของ Application และเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้กับอุปกรณ์ ส่วนการอัปเดต/ตั้งค่าโปรแกรม เป็นการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าของอุปกรณ์เพื่อปรับเปลี่ยนการทำงานของอุปกรณ์ให้เป็นไปตามต้องการ เช่น จุดรวมข้อมูล (Data Aggregation Point), อุปกรณ์เกตเวย์ และอุปกรณ์ในระบบ Distribution Automation เช่น CBC, Voltage Regulator, Sensor, Switch, Relay, และ Recloser เป็นต้น การอัปเดต/ปรับปรุงเฟิร์มแวร์มีขนาดข้อมูลโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 400-2000 kbyte และมีความต้องการด้าน Latency ที่ไม่เคร่งครัดมากนัก คือ อาจล่าช้าได้ถึง 7 วัน ส่วนการอัปเดต/ตั้งค่าโปรแกรม มีขนาดข้อมูลทั่วไป 25–50 kbyte และมีความต้องการด้าน Latency ได้ถึง 3 วัน

11) Application เกี่ยวกับการส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า

การส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า เป็น Application ที่ช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าถึงข้อมูลบัญชีของตน เช่น ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในอดีต และข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์ไฟดับ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังคลังข้อมูลปฏิบัติการ (Operational Data Warehouse) และเว็บพอร์ทัล ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตหรืออุปกรณ์เกตเวย์ซึ่งเชื่อมต่อกับโครงข่ายภายในของผู้ให้บริการไฟฟ้า โดย Application เกี่ยวกับการส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าอาจเป็นการให้บริการโดยผู้ให้บริการไฟฟ้าเอง หรือโดยผู้ให้บริการบุคคลที่สามก็ได้ ขนาดข้อมูลทั่วไปคือ 50 byte สำหรับคำร้องขอข้อมูลจากผู้ใช้ไฟฟ้าไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้า และ 200 byte สำหรับการตอบสนองจากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดยมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 15 วินาที

12) Application เกี่ยวกับการบริหารจัดการโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า

การบริหารจัดการโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น Application ที่ช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเชื่อมต่อ/ปลดอุปกรณ์ในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ เช่น สมาร์ทมิเตอร์, ยานยนต์ไฟฟ้า, Smart Appliance และอุปกรณ์ควบคุมโหลด โดยสามารถดำเนินการผ่านระบบ Interactive Voice Response (IVR) หรือเว็บพอร์ทัล เป็นต้น ขนาดข้อมูลโดยทั่วไปอยู่ที่ 25 byte และมีความต้องการด้าน Latency ต่ำกว่า 20 วินาที

สรุปความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในโครงข่าย NAN/FAN ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-3 ความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในโครงข่าย NAN/FAN

ที่	Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม
1a	การอ่านมิเตอร์แบบ On-demand (จากมิเตอร์ไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้า)	100	ตามที่ต้องการ	<15 วินาที	>98	**แบบมีสาย:** - PLC - Coaxial Cable - DSL - Ethernet **แบบไร้สาย:** - Zigbee Mesh - WiFi Mesh - WiMAX - Wireless Mesh - Cellular
1b	การอ่านมิเตอร์แบบ Interval (จากมิเตอร์ไปยัง AMI Head-end)	1600-2400	• 4-6 ครั้ง ต่อวัน ต่อมิเตอร์ สำหรับกลุ่มบ้านอยู่อาศัย • 12-24 ครั้ง ต่อวัน ต่อมิเตอร์ สำหรับกลุ่มธุรกิจ/อุตสาหกรรม	<4 ชั่วโมง <2 ชั่วโมง	>98	
1c	การอ่านมิเตอร์แบบ Bulk Transfer (จาก AMI Head-end ไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้า)	MB	ตามที่ต้องการ (เช่น x ครั้งต่อวัน สำหรับมิเตอร์ 1 กลุ่ม)	<1 ชั่วโมง	>99.5	
2a	อัตรา TOU (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	100	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าไฟฟ้า เช่น • 4 ครั้ง ต่อปี กรณี TOU • 6 ครั้ง ต่อวัน กรณี RTP • 2 ครั้ง ต่อปี กรณี CPP	<1 นาที	>98	
2b	อัตรา RTP (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	100		<1 นาที	>98	
2c	อัตรา CPP (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	100		<1 นาที	>98	
3	Prepayment (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	50-150	25 ครั้งต่อเดือน สำหรับทุกมิเตอร์ที่ใช้บริการ Prepayment	<30 วินาที	>98	
4	Demand Response (DLC จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้า)	100	1 ครั้งต่ออุปกรณ์ สำหรับทุก ๆ การสั่งการ Demand Response	<1 นาที	>99.5	
5	การตัด/ต่อ มิเตอร์ (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	25	ตามที่ต้องการ (เช่น 1-2 ครั้ง ต่อ 1000 มิเตอร์)	<1 นาที	>98	

ที่	Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม
6a	DA - การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบจำหน่าย (จากอุปกรณ์ไปยังระบบ DMS)	100-1000	• CBC: 1 ครั้ง/ชั่วโมง/อุปกรณ์ • Fault Detector: 1 ครั้ง/สัปดาห์/อุปกรณ์ • Switch: 1 ครั้ง/12 ชั่วโมง/อุปกรณ์ • VR: 1 ครั้ง/ชั่วโมง/อุปกรณ์	<5 วินาที	>99.5	
6b	DA - การควบคุม Volt/VAR (จากระบบ DMS ไปยังอุปกรณ์)	150-250	• เปิด/ปิด CBC: 1 ครั้ง/12 ชั่วโมง/อุปกรณ์ • เปิด/ปิด Switch: 1 ครั้ง/สัปดาห์/อุปกรณ์ • ปรับแรงดัน VR: 1 ครั้ง/2 ชั่วโมง/อุปกรณ์	<5 วินาที	>99.5	
6c	DA - DSDR (จากระบบ DMS ไปยังอุปกรณ์)		ตามความจำเป็นเช่น 1-6 ชั่วโมงต่อครั้ง และ 4-8 ครั้งต่อปี ตัวอย่างการรับ-ส่งข้อมูลของ DSDR ในแต่ละครั้ง ดังนี้ • เปิด/ปิด CBC: 1 ครั้ง/ 5 นาที/อุปกรณ์ • เปิด/ปิด Switch: 1 ครั้ง/12 ชั่วโมง/ อุปกรณ์ • ปรับแรงดัน VR: 1 ครั้ง/5 นาที/ อุปกรณ์	<4 วินาที	>99.5	
6d	DA - FCIR (จากระบบ DMS ไปยังอุปกรณ์)	25	1 ครั้ง ต่ออุปกรณ์ สำหรับทุกเหตุการณ์ Isolation และ Restoration	<5 วินาที	>99.5	
7	การบริหารจัดการและกู้ไฟดับ (ORM) (จากมิเตอร์ไปยัง OMS)	25	1 ครั้ง ต่อมิเตอร์ สำหรับทุกเหตุการณ์ไฟดับและไฟกลับคืน	<20 วินาที	>98	
8	ระบบกักเก็บพลังงานในระบบจำหน่าย (จาก DAC ไปยังอุปกรณ์)	25	2-6 ครั้ง/1 การเรียกใช้/วัน (เช่น อัดประจุ 4 ชั่วโมงต่อวัน และคายประจุ 4 ชั่วโมงต่อวัน)	<5 วินาที	>99.5	
9a	EV - ข้อมูลค่าไฟฟ้า (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังยานยนต์ไฟฟ้า)	255	1 ครั้ง/EV 1 คัน/ 2-4 วัน	<15 วินาที	>98	

ที่	Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม
9b	EV - ข้อมูลสถานะแบตเตอรี่ (จากยานยนต์ไฟฟ้าไปยังให้ผู้ให้บริการไฟฟ้า)	100	2-4 ครั้ง/EV 1 คัน/วัน	<15 วินาที	>98	
10a	การอัปเดตเฟิร์มแวร์ (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์)	400k - 2000k	1 ครั้ง/อุปกรณ์ สำหรับทุกการอัปเดตเฟิร์มแวร์ (Broadcast)	<2 นาที จนถึง 7 วัน	>98	
10b	การตั้งค่าโปรแกรม (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์)	25k - 50k	1 ครั้ง/ อุปกรณ์ สำหรับทุกการตั้งค่าโปรแกรม (Broadcast)	<5 นาที จนถึง 3 วัน	>98	
11a	การส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า (คำร้องขอจากผู้ใช้ไฟฟ้าไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้า)	50	ตามที่ต้องการ	<15 วินาที	>99	
11b	การส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า (การตอบสนองจากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า)	200	ตามที่ต้องการ	<15 วินาที	>99	
12	การบริหารจัดการโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (จากผู้ให้บริการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้า)	25	ตามที่ต้องการ	<20 วินาที	>98	

6.2.3 Application ในโครงข่าย WAN

โครงข่าย WAN (Wide Area Network) สนับสนุนการทำงานแบบเวลาจริงของ Application ด้านการตรวจสอบ การควบคุม และการป้องกันในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่เป็นข่ายสื่อสารสำหรับโครงข่ายสื่อสารหลักของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดซึ่งครอบคลุมระยะทางที่ไกลมากจากโครงข่าย NAN/FAN ไปจนถึงศูนย์ควบคุมของผู้ให้บริการไฟฟ้า

Application ในโครงข่าย WAN ตัวอย่างเช่น ระบบตรวจสอบ ระบบควบคุม และระบบป้องกันในพื้นที่กว้าง (Wide Area Monitoring, Control and Protection: WAMPAC) ซึ่งได้รับการยอมรับว่าเป็น Application ในยุคถัดไปที่จะช่วยปรับปรุงความสามารถในการวางแผน การปฏิบัติการ และการป้องกัน ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดจากทั้งระบบขนาดใหญ่และข้อมูลในท้องถิ่น เพื่อรับมือกับความผันผวนต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ดังนั้น WAMPAC ต้องสามารถรับมือกับปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ และใช้เวลาในการตอบสนองที่สั้นกว่าระบบควบคุมแบบเดิม เช่น SCADA และ EMS ถึงแม้ว่า SCADA/EMS จะมีช่วงเวลาของการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระดับวินาทีหรือนาที แต่ Application ด้านWAMPAC ต้องสามารถรองรับความละเอียดของข้อมูลที่สูงนั้นกว่ามาก เช่น 60 ครั้งต่อวินาที

Application ในโครงข่าย WAN สามารถแบ่งได้เป็น 3 โดเมน ดังนี้

1) ระบบป้องกันพื้นที่กว้าง (Wide Area Protection: WAP)

ระบบป้องกันพื้นที่กว้าง (WAP) เป็น Application ที่รองรับการป้องกันในระบบไฟฟ้าแบบอัตโนมัติอย่างเต็มรูปแบบ เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าไม่ให้เกิดเหตุการณ์ไฟดับ ความแออัด/ความตึงเครียดในระบบส่ง รวมไปถึงเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดต่าง ๆ โดยทั่วไป WAP จะเกี่ยวข้องกับการปลดโหลด (Load Shedding) และการทำ Adaptive Islanding ซึ่งมีประโยชน์ต่อการรับมือกับความไม่แน่นอนต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้เวลาในการตอบสนองที่รวดเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้นำไปสู่เหตุการณ์ไฟดับเป็นบริเวณกว้าง

2) ระบบควบคุมพื้นที่กว้าง (Wide-area Control: WAC)

ระบบควบคุมพื้นที่กว้าง (WAC) เป็น Application ที่สนับสนุนความสามารถในการฟื้นฟูระบบไฟฟ้าด้วยตนเองแบบอัตโนมัติ ซึ่งตอบสนองได้รวดเร็วกว่าการสั่งการแบบ Manual โดยศูนย์ควบคุม โดย WAC เป็นแพลตฟอร์มที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถรองรับการสั่งการเดินเครื่องใหม่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายหลังจากการทริปตลอดจนควบคุมการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและแรงดันไฟฟ้าเพื่อรักษาความเสถียรของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นชั้นการป้องกันเพิ่มเติม เพื่อช่วยป้องกันเหตุการณ์ไฟดับที่อาจเกิดขึ้น ตลอดจนการควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้แบบเวลาจริง การทำงานของ WAC จะเป็นการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งสามารถตอบสนองต่อคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว เช่น อุปกรณ์ High-voltage Direct Current (HVDC) และอุปกรณ์ Flexible-AC Transmission System (FACTS) นอกจากนี้ ยังรวมไปถึงการควบคุม Damping พื้นที่กว้าง เพื่อรับมือกับการแกว่ง (Oscillation) ในระบบส่งไฟฟ้าขนาดใหญ่ และการควบคุมเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าเพื่อรักษาการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบส่งไฟฟ้า ตลอดจนการควบคุมเสถียรภาพของความถี่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ทั้งในด้านการผลิตไฟฟ้าและด้านโหลด

ถึงแม้ว่า Application ด้าน WAP และ WAC จะเป็นระบบป้องกันและระบบควบคุมที่ทันสมัยกว่าระบบไฟฟ้าในอดีตมาก แต่ก็ต้องการด้านสมรรถนะและความพร้อมใช้งานที่สูงขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น เวลาในการตอบสนองที่จำเป็นสำหรับ Application ด้าน WAP และ WAC ควรอยู่ในช่วงมิลลิวินาทีจนถึงนาที (เช่น ต่ำกว่า 0.1 วินาที ถึงต่ำกว่า 2 นาที) และมีความต้องการด้านความเชื่อถือได้ของระบบสื่อสารในระดับที่สูงมากเช่นกัน (สูงกว่า 99.9%) ขนาดข้อมูลทั่วไปอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโพรโทคอลระบบสื่อสารที่ใช้ ซึ่งโพรโทคอลทั่วไปที่นิยมใช้สำหรับ Application เหล่านี้ ได้แก่ MIRRORED BITS, IEC 61850 Generic Object-Oriented Substation Event (GOOSE)

และ EtherCAT สำหรับโพรโทคอล MIRRORED BITS มีขนาดข้อมูลแค่ 4 byte เนื่องจากมีการออกแบบที่เรียบง่าย ส่วนข้อมูลในโพรโทคอล GOOSE มีขนาดประมาณ 157 byte และสำหรับโพรโทคอล EtherCAT มีขนาดข้อมูลประมาณ 64 byte

3) ระบบตรวจสอบพื้นที่กว้าง (Wide Area Monitoring: WAM)

ระบบตรวจสอบพื้นที่กว้าง (WAM) มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและป้อนข้อมูลแบบเวลาจริงให้กับระบบ เช่น ข้อมูลจากกลุ่มอุปกรณ์ IED และ PMU โดยอุปกรณ์ IED จะส่งข้อมูลสถานะอุปกรณ์และข้อมูลการตรวจวัดต่าง ๆ ไปยังระบบ SCADA/EMS ผ่านโครงข่าย WAN และในทางกลับกันอุปกรณ์ PMU จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงข่ายไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า และมุมเฟสในปัจจุบันของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในระดับพื้นที่กว้าง ซึ่งการตรวจวัดพื้นที่กว้างของอุปกรณ์ PMU จะช่วยยกระดับของการประเมินเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า เช่น State Estimation, System Parameter Estimation และ Fault Analysis ตัวอย่างการใช้งาน Application ด้าน WAM ได้แก่ การตรวจสอบการแกว่งของความถี่และความเสถียรของแรงดันไฟฟ้า ดังนั้น จึงถือได้ว่า WAM เป็น Application ที่ช่วยเพิ่มศักยภาพให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าในการปรับปรุงเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า และตรวจจับการแกว่ง/ความไม่เสถียรของความถี่

Application WAM มีขนาดข้อมูลขั้นต่ำซึ่งประกอบด้วยข้อมูลการตรวจวัด คือ 52 byte (อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems: IEEE Std. C37.118) ซึ่งกำหนดรูปแบบการตรวจวัดและรูปแบบการส่งข้อมูลที่ใช้ในการรายงานข้อมูลแบบเวลาจริงในระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยความต้องการด้านเวลาในการตอบสนองสำหรับ Application ด้าน WAM จะใกล้เคียงกับ Application ด้าน WAP และ WAC กล่าวคืออยู่ในช่วงมิลลิวินาทีจนถึงนาที ตลอดจนต้องการความเชื่อถือได้ของระบบสื่อสารในระดับที่สูงมากเช่นกัน

สรุปความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในโครงข่าย WAN ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังตารางที่ 6-4

ตารางที่ 6-4 ความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในโครงข่าย WAN

Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม
Wire Area Protection (WAP) • Adaptive Islanding • Load Shedding	4-157	ทุก 0.1 วินาที	<0.1 วินาที	>99.9	**<u>แบบมีสาย:</u>** Optical Fiber **<u>แบบไร้สาย:</u>** • WiMAX • Cellular
Wire Area Control (WAC) • การควบคุมเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า • การควบคุม HVDC และ FACTS • การควบคุม Cascading Failure	4-157	 ทุก 0.5-5 วินาที ทุก 30 วินาที-2 นาที ทุก 0.5-5 วินาที	 <5 วินาที <2 นาที <5 วินาที	>99.9	

Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม
• การควบคุมเสถียรภาพชั่วขณะแบบ Precalculation • การควบคุมเสถียรภาพชั่วขณะแบบ Closed-loop • การควบคุม Damping		ทุก 30 วินาที-2 นาที ทุก 0.02-0.1 วินาที ทุก 0.1 วินาที	<2 นาที <0.1 วินาที <0.1 วินาที		
Wire Area Monitoring (WAM) • การตรวจสอบการแกว่ง (ท้องถิ่น) • การตรวจสอบการแกว่ง (พื้นที่กว้าง) • การตรวจสอบเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า (ท้องถิ่น) • การตรวจสอบเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า (พื้นที่กว้าง) • PMU-based State Estimation • Dynamic State Estimation • PMU-assisted State Estimation	>52	ทุก 0.1 วินาที ทุก 0.1 วินาที ทุก 0.5-5 วินาที ทุก 0.5-5 วินาที ทุก 0.1 วินาที ทุก 0.02-0.1 วินาที ทุก 30 วินาที-2 นาที	<30 วินาที <0.1 วินาที <30 วินาที <5 วินาที <0.1 วินาที <0.1 วินาที <2 นาที	>99.9	

6.3 ความท้าทายด้านโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ปัจจุบันยังคงมีความท้าทายมากมายที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านโครงข่ายสื่อสารเพื่อให้สามารถรองรับ Application ที่หลากหลายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด สามารถสรุปความท้าทายที่สำคัญสำหรับโครงข่ายสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้ดังนี้

1) การขาดมาตรฐานด้านการทำงานร่วมกันได้ (Interoperability) ที่จำเป็น ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคขัดขวางการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของโครงข่ายสื่อสารในสภาพแวดล้อมของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากในปัจจุบันผู้ให้บริการไฟฟ้ามักใช้โครงข่ายสื่อสารและโพรโทคอลที่เป็นกรรมสิทธิ์เฉพาะ (Proprietary) ดังนั้น การบูรณาการโครงข่ายในปัจจุบันเข้ากับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในอนาคตจึงเป็นความท้าทายที่สำคัญซึ่งอาจนำไปสู่การที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าพิจารณาปรับใช้โครงข่ายฐานไอพี (IP-based Network) เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการทำงานร่วมกันได้ เช่น การทำงานร่วมกันได้และการบูรณาการกับระบบเดิมของผู้ให้บริการไฟฟ้าถือเป็นความท้าทายที่สำคัญสำหรับ

การประยุกต์ใช้งานโครงข่าย HAN อย่างเต็มรูปแบบ ซึ่งในกรณีนี้การทำงานร่วมกันได้จะอยู่นอกเหนือการควบคุมของผู้ให้บริการไฟฟ้า และสามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบระบบให้ใช้งานโพรโทคอลมาตรฐานทั่วไปเช่น Smart Energy Profile (SEP) รวมทั้งการอัปเดตเฟิร์มแวร์/ซอฟต์แวร์ ส่วนแนวทางการแก้ปัญหาด้านการบูรณาการ ผู้ให้บริการไฟฟ้ามักต้องการเชื่อมต่อโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เกตเวย์ เช่น สมาร์ทมิเตอร์ หรืออินเทอร์เน็ตเกตเวย์

2) โครงข่ายสื่อสารที่ติดตั้งอยู่ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าในปัจจุบัน มักเป็นเทคโนโลยีที่มีอายุนานกว่าทศวรรษมาแล้ว ซึ่งเป็นการออกแบบโดยไม่คำนึงถึงความจำเป็นในการรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์จำนวนมาก ประเด็นนี้เป็นความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งาน Application ในโครงข่าย NAN/FAN ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่มีอยู่เดิมให้สามารถรองรับการให้บริการต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ภาคสนามจำนวนมาก รวมทั้งสามารถขยายขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันได้ ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากสมาร์ทมิเตอร์จำนวนมากไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้า ข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์รวบรวมข้อมูล (Data Concentrator) ในละแวกเดียวกัน โดยปกติแล้วการเชื่อมต่อสมาร์ทมิเตอร์ไปสู่อุปกรณ์รวบรวมข้อมูลในเขตเมืองมักเป็นการใช้งานโครงข่ายของผู้ให้บริการไฟฟ้าเอง เช่น โครงข่าย RF Mesh หรืออาจเป็นการใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนการใช้งาน Application ด้านการควบคุมโหลดโดยตรงกับอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้า (Direct Load Control) เพื่อรองรับ Demand Response เทคโนโลยีที่นิยมใช้งานมักเป็นโครงข่าย RF Mesh บนย่านความถี่แบบ Unlicensed เช่น 433 MHz และ 900 MHz เป็นต้น

3) ความต้องการด้านความหน่วงของสัญญาณ (Latency) อาจเป็นประเด็นที่สำคัญที่สุดของการเก็บรวบรวมและส่งผ่านข้อมูล โดยเฉพาะสำหรับ Application ด้านการควบคุมและป้องกันพื้นที่กว้าง ทั้งนี้ เนื่องจาก Application ในโครงข่าย WAN มีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่เข้มงวดอย่างมากทั้งในแง่ของแบนด์วิดท์ ความหน่วงของสัญญาณ และความเชื่อถือได้ เช่น ภายในระยะเวลาระดับมิลลิวินาที ข้อมูลจากกอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งหมดต้องถูกส่งไปยังศูนย์ควบคุม และศูนย์ควบคุมต้องออกคำสั่งเพื่อให้องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องดำเนินการตามคำสั่ง ในลักษณะการควบคุมการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าแบบเวลาจริง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาไฟดับในลักษณะ Cascading ดังนั้น เพื่อตอบสนองความต้องการด้านระบบสื่อสารที่สูงมากสำหรับ Application ในโครงข่าย WAN ผู้ให้บริการไฟฟ้ามักเลือกใช้โครงข่ายของผู้ให้บริการไฟฟ้าเอง โดยเฉพาะโครงข่าย Optical Fiber เนื่องจากมีความสามารถในการขนส่งข้อมูลด้วยอัตราข้อมูลสูงมากและรองรับการสื่อสารระยะทางไกล นอกจากนี้ การบีบอัดข้อมูลเป็นอีกวิธีหนึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพการไหลเวียนข้อมูลซึ่งช่วยลดความหน่วงของสัญญาณได้ และยังสามารถใช้เทคนิคการจัดการความแออัด (Congestion Management) เพื่อลดความหน่วงของสัญญาณภายใต้สภาพแวดล้อมทราฟฟิกข้อมูลที่หนาแน่น เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวช่วยให้สามารถจำแนกประเภทและจัดลำดับความสำคัญของช่องสัญญาณสื่อสารในสถานการณ์ฉุกเฉินได้

4) การบูรณาการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) เข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อทำให้เกิด Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์, การกำหนดอัตราค่าไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ, Demand Response และการตรวจวัดในพื้นที่กว้าง ทำให้เกิดความกังวลอย่างมากในด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์และความเป็นส่วนตัวของข้อมูล การอภิปรายเกี่ยวกับความปลอดภัยของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่ครอบคลุมมากที่สุดในปัจจุบัน คือ รายงาน NIST Guidelines for Smart Grid Cyber Security (NISTIR 7628) [27] ซึ่งในรายงาน

ดังกล่าวได้นำเสนอความปลอดภัยทางไซเบอร์ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ เล่ม 1) กลยุทธ์ทางไซเบอร์ สถาปัตยกรรม และความต้องการระดับสูง เล่ม 2) ความเป็นส่วนตัว และเล่ม 3) การวิเคราะห์และเอกสารอ้างอิง นอกจากนี้ เอกสาร [1] และ [28] อภิปรายเกี่ยวกับความปลอดภัยทางไซเบอร์และความเป็นส่วนตัวในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าและระบบควบคุม, ความรับผิดชอบ, ความยึดมั่นในคุณธรรม, การรักษาความลับ และการใช้ข้อมูลร่วมกัน เอกสาร [29] พัฒนากรอบงานเพื่อตรวจหากิจกรรมที่เป็นอันตราย โดยเสนอขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการวางเซนเซอร์ไว้ในโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับและการเฝ้าระวังความผิดปกติในโครงข่าย

ตอนที่ 2

ความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย

บทที่ 7
ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด จากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน

จากบทที่ 6 ซึ่งเป็นการศึกษาความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยแสดงความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) Application ในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า 2) Application ในโครงข่าย NAN/FAN และ 3) Application ในโครงข่าย WAN ตามลักษณะสถาปัตยกรรมแบบลำดับชั้น (Hierarchical Structure) ของโครงข่ายสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

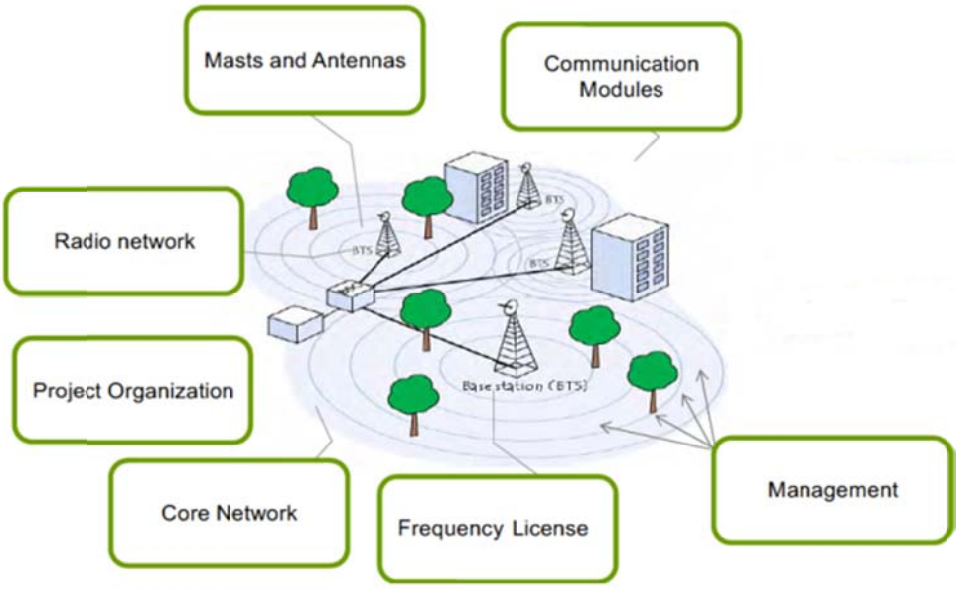
เมื่อพิจารณาความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ต่าง ๆ พบว่าการเลือกเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น โครงข่าย HAN/BAN/IAN ควรเป็นเทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำและใช้พลังงานต่ำ เนื่องจาก Application เหล่านี้ไม่ได้มีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่สูงมากนัก เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า ได้แก่ เทคโนโลยีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่น Zigbee, WiFi และ Z-Wave ซึ่งหากพิจารณาความต้องการใช้งานในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า เทคโนโลยีดังกล่าวมีความแตกต่างกันน้อยมากทั้งในด้านสมรรถนะและต้นทุน ดังนั้น โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าจึงไม่มีประเด็นที่ต้องพิจารณามากนัก เนื่องจากสามารถใช้งานเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ทั่วไปในตลาดได้ สำหรับ Application ในโครงข่าย WAN ซึ่งมีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่สูงมากทั้งด้านความเชื่อถือได้, ความพร้อมใช้งาน, อัตราข้อมูล, แบนด์วิดท์, ความหน่วงของสัญญาณ (Latency) และความปลอดภัย ผู้ให้บริการไฟฟ้าจึงมักนิยมใช้โครงข่ายส่วนบุคคลที่เป็น Optical Fiber มากกว่าระบบสื่อสารไร้สาย หรือในกรณีที่จำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารไร้สาย ตัวเลือกในการพิจารณาก็มีไม่มากนัก เนื่องจากเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับความต้องการของโครงข่าย WAN มีเพียงไม่กี่เทคโนโลยี ซึ่งผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่มักเลือกใช้เทคโนโลยี WiMax เป็นหลัก

ประเด็นพิจารณาด้านการเลือกใช้คลื่นความถี่และเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายจะมีความสำคัญที่สุดในกรณีของโครงข่าย NAN/FAN เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่ต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมาก และเป็นโครงข่ายที่มักอยู่ในบริเวณย่านชุมชนที่มีการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายอื่น ๆ หนาแน่น อีกทั้งโครงข่าย NAN/FAN ยังมีความต้องการด้านความเชื่อถือได้และความหน่วงของสัญญาณในระดับสูง ดังนั้น การวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกันในบทที่ 7 นี้ จะเป็นการพิจารณาที่โครงข่าย NAN/FAN เป็นหลัก

7.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนระหว่างคลื่นความถี่ 450 MHz กับ 900 MHz

การเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนระหว่างคลื่นความถี่ 450 MHz กับคลื่นความถี่ 900 MHz [30] ในกรณีศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนระหว่างการใช้เทคโนโลยี CDMA บนคลื่นความถี่ 450 MHz (CDMA450) เปรียบเทียบกับเทคโนโลยี GPRS บนคลื่นความถี่ 900 MHz (GPRS900) โดยพิจารณาจากต้นทุนรวมของการเป็น

เจ้าของ (Total Cost of Ownership: TCO) ซึ่งเป็นต้นทุนที่รวมค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้ระบบหรือเทคโนโลยีดังกล่าวภายใต้สมมติฐานระยะเวลาการใช้งานที่กำหนด ซึ่งในกรณีของโครงข่ายเซลลูลาร์ เช่น GPPRS นอกจากการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการใช้บริการโครงข่ายแล้ว ยังรวมไปถึงต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ใช้งานด้วย โดยทั่วไปการพิจารณา Total Cost of Ownership ของระบบสื่อสารไร้สายด้วยคลื่นวิทยุประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 องค์ประกอบของต้นทุนของระบบสื่อสารไร้สาย

จากรูปที่ 7-1 ระบบสื่อสารไร้สายประกอบด้วยหลายองค์ประกอบหลักซึ่งต้องนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ Total Cost of Ownership ดังนี้

- โครงข่ายคลื่นวิทยุ (Radio Network) ประกอบด้วยสถานีฐาน (Base Station) ซึ่งมีหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุกับอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานนั้น ๆ โดยสถานีฐานประกอบด้วยส่วนประกอบที่เป็น Active Unit (เช่น Baseband Unit และ Radio Head) และ Passive Unit (เช่น สายอากาศ และสายเคเบิล) สถานีฐานจำเป็นต้องได้รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า และมีการเชื่อมต่อเพื่อรับ-ส่งข้อมูลกับโครงข่ายหลัก (Core Network) เรียกโครงข่ายเชื่อมต่อนี้ว่าโครงข่าย Backhaul ซึ่งอาจเป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย เช่น ไมโครเวฟ หรือระบบสื่อสารแบบมีสายก็ได้
- สถานีฐาน (Base Station) โดยทั่วไปจะติดตั้งบนหลังคาอาคารหรือบนเสาสูง ซึ่งอาจเป็นการเช่าพื้นที่จากเจ้าของอาคาร หรือติดตั้งบนที่ดินว่างซึ่งอาจเป็นที่ดินของตนเองหรือเป็นการเช่าพื้นที่จากบุคคลอื่น การติดตั้งสถานีฐานทั้งบนหลังคาอาคารหรือบนเสาสูง มักเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเหล็กเพื่อให้สามารถยึดอุปกรณ์และสายอากาศได้อย่างมั่นคง
- อุปกรณ์ปลายทางที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายคลื่นวิทยุต้องมีการติดตั้งโมดูลสื่อสาร (Communication Module) ซึ่งใช้เทคโนโลยีเดียวกับโครงข่ายคลื่นวิทยุ (ในกรณีนี้ คือ CDMA450 และ GPRS900)

- โครงข่ายหลัก (Core Network) ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีหน้าที่บริหารจัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุของสถานีฐาน รวมถึงรองรับการเชื่อมต่อแบบ IP ของอุปกรณ์ต่าง ๆ หน้าที่การทำงานหลักของโครงข่ายหลัก ได้แก่ การตรวจสอบสิทธิการเข้าถึง (Authentication), การกำหนดเส้นทางของข้อมูล และการเชื่อมต่อ (เกตเวย์) ไปยังโครงข่ายอื่น
- ระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการและการบำรุงรักษา ซึ่งการบริหารจัดการจะเป็นลักษณะการบริหารจัดการจากศูนย์กลางผ่าน Network Operation Center (NOC) และการบำรุงรักษาจะมีลักษณะเป็นงานภาคสนาม ซึ่งทั้งสองงานดังกล่าวอาจเป็นการดำเนินการด้วยตนเองหรือเป็นการจ้างหน่วยงานภายนอก
- สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งของการให้บริการโครงข่ายคลื่นวิทยุ คือ ใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ซึ่งออกให้โดยหน่วยงานกำกับดูแลของภาครัฐ โดยปกติแล้วการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่จะถูกจำกัดสำหรับบางย่านความถี่และพื้นที่ใช้งาน รวมทั้งมีระยะเวลาที่จำกัด ซึ่งโดยทั่วไปคือ 15 ปี

การเปรียบเทียบ Total Cost of Ownership ของเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ต่างกันจำเป็นต้องพิจารณาให้ครอบคลุมองค์ประกอบทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นค่าธรรมเนียมต่าง ๆ , ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Expenditures: CAPEX) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operational Expenditures: OPEX) ตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบ Total Cost of Ownership ในช่วงระยะเวลา 15 ปี ระหว่างเทคโนโลยี CDMA450 กับเทคโนโลยี GPRS900 สำหรับการนำมาใช้พัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์ โดยพิจารณาเป็น Total Cost of Ownership ต่อจุดเชื่อมต่อ (Unit Cost per Connection) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างกันได้ ทั้งนี้หนึ่งจุดเชื่อมต่อในที่นี้หมายถึงสมาร์ทมิเตอร์ 1 เครื่อง ซึ่งในเอกสาร [30] ไม่ได้มีการระบุความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับหนึ่งจุดเชื่อมต่อ แต่โดยทั่วไปสมาร์ทมิเตอร์จะมีการส่งข้อมูลแบบ Interval เช่น ทุก ๆ 15 นาที โดยขนาดของข้อมูลขึ้นอยู่กับว่าผู้ให้บริการไฟฟ้าต้องการให้ส่งพารามิเตอร์ใดบ้าง แต่หากพิจารณาเฉพาะข้อมูลการอ่านมิเตอร์ขนาดของข้อมูลเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 150 byte ดังนั้น หนึ่งจุดเชื่อมต่อจึงมีความต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเพียง 1.33 bps อย่างไรก็ตาม สมาร์ทมิเตอร์ยังสามารถรองรับการให้บริการ Application อื่น ๆ ได้อีก เช่น บริการเติมเงินค่าไฟฟ้า (Prepayment), การส่งข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้า, การรับ-ส่งข้อมูลสำหรับมาตรการ Load Management และ Demand Response, การตัด-ต่อมิเตอร์, การตรวจสอบการละเมิดใช้ไฟฟ้า/เหตุการณ์ไฟฟ้าดับ และการอัปเดตซอฟต์แวร์/เฟิร์มแวร์ ความต้องการแบนด์วิดท์จึงขึ้นอยู่กับว่าผู้ให้บริการไฟฟ้าต้องการใช้งาน Application ใดบ้าง อีกทั้ง Application เหล่านี้มีปริมาณการรับ-ส่งข้อมูลที่ไม่แน่นอน การพิจารณาความต้องการแบนด์วิดท์จึงต้องพิจารณาเป็นกรณีไป (Case by Case) ซึ่งอาจแตกต่างกันมากในแต่ละกรณี

7.1.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนใหม่ของเทคโนโลยี CDMA450

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสร้างและใช้งานโครงข่าย CDMA450 ในกรณีการลงทุนใหม่ทั้งหมด (Greenfield) ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับจำนวนสถานีฐานเป็นหลัก ทั้งนี้ ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของอุปกรณ์ส่วนกลางถือเป็นต้นทุนเพิ่ม (Marginal Cost) เมื่อเปรียบเทียบกับ CAPEX และ OPEX ของสถานีฐาน และสามารถปรับขนาดได้

ตามความเหมาะสมกับจำนวนสถานีฐานและจำนวนจุดเชื่อมต่อ การพิจารณาต้นทุนและจำนวนสถานีฐานจะพิจารณาจากความต้องการในด้านพื้นที่ครอบคลุมและสมรรถนะของโครงข่าย

หากพิจารณาไปที่สถานีฐานใด ๆ เพียงสถานีเดียว ต้นทุนของโครงข่ายมีลักษณะคงที่เป็นส่วนใหญ่ และต้องการรายได้เพียงเล็กน้อยเพื่อให้คุ้มค่าต่อการลงทุน ซึ่งกรณีการลงทุนใหม่ทั้งหมดจำเป็นต้องพิจารณาความต้องการทั้งด้านพื้นที่ครอบคลุมและด้านสมรรถนะการใช้งานของกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมายไปพร้อม ๆ กัน โดยกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมายต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด "ศักยภาพของรายได้" รองรับต้นทุนการลงทุนของโครงข่าย การพิจารณาต้นทุนต่อจุดเชื่อมต่อ (Unit Cost per Connection) ของโครงข่าย CDMA450 จะคำนวณโดยนำต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดหารด้วยจำนวนจุดเชื่อมต่อตามสมมติฐาน ต้นทุนต่อจุดเชื่อมต่อดังกล่าวสามารถนำไปเปรียบเทียบกับต้นทุนของการใช้บริการโครงข่าย GPRS ซึ่งเป็นบริการที่มีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกันทั้งในด้านความเร็วของการสื่อสาร, ปริมาณข้อมูล และระดับการให้บริการ

การวิเคราะห์ในกรณีศึกษานี้อ้างอิงจากการศึกษาต้นทุนของการพัฒนาโครงข่าย CDMA450 สำหรับการใช้งานในระดับทั่วประเทศ (Nationwide) ในประเทศเยอรมนี สมมติฐานค่าใช้จ่ายในการลงทุน (CAPEX) แสดงดังตารางที่ 7-1 สรุปพารามิเตอร์สำคัญดังนี้

- CDMA450 EV-DO Rev. เป็นโครงข่าย 3 Sector/2 Carrier ต่อหนึ่งสถานีฐาน
- ต้องการจำนวนสถานีฐาน 1,588 สถานี เพื่อให้ครอบคลุมทั่วประเทศเยอรมนี
- CAPEX รวมทั้งหมด 242 ล้าน EUR หรือคิดเป็น 34.5 ล้าน EUR ต่อปี โดยคิดจากค่าเสื่อมราคาเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา 10 ปี และต้นทุนของเงินทุนที่ 4.25% ต่อปี
- รวมค่าใช้จ่ายสำรองประมาณ 15%

ตารางที่ 7-1 CAPEX ของโครงข่าย CDMA450

หน่วย: EUR

Item	CAPEX ต่อสถานีฐาน	ค่าเสื่อมราคาต่อปี (คิดที่ 10 ปี)	ต้นทุนของเงินทุนต่อปี (คิดที่ 4.25%)	CAPEX รายปี
อุปกรณ์วิทยุ/สถานีฐาน	37,950	3,795	1,613	5,408
งานวางแผนและงานโยธา	77,050	7,705	3,275	10,980
งานโครงสร้าง	12,650	1,265	538	1,803
อื่น ๆ (รวมค่าใช้จ่ายสำรอง)	25,000	2,500	1,063	3,563
(a) รวม CAPEX	**152,650**	**15,265**	**6,488**	**21,753**

สมมติฐานค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OPEX) แสดงดังตารางที่ 7-2 สรุปพารามิเตอร์สำคัญดังนี้

- สมมติให้ใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟเป็นโครงข่าย Backhaul และเป็นการใช้บริการหน่วยงานภายนอก
- รวมค่าใช้จ่ายสำรองประมาณ 10%
- OPEX รวมทั้งหมด 42.4 ล้าน EUR ต่อปี
- สรุปต้นทุนทั้งหมดต่อปี (CAPEX+OPEX) ประมาณ 77 ล้าน EUR ต่อปี

ตารางที่ 7-2 OPEX ของโครงข่าย CDMA450

หน่วย: EUR

ค่าใช้จ่ายด้านสถานที่ (ค่าเช่าพื้นที่ ค่าไฟฟ้า และอื่น ๆ)	10,000
ค่าดำเนินงานโครงข่าย (รวมค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ และค่าบริการของโครงข่ายไมโครเวฟ)	7,200
ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ (ประเมินจากต้นทุนค่าอุปกรณ์)	4,500
ค่าใช้จ่ายในการจ้างหน่วยงานภายนอกเพื่อบริหารจัดการและบำรุงรักษาโครงข่าย	5,000
(b) รวม OPEX รายปี ต่อสถานีฐาน	**26,700**
รวมต้นทุนรายปี ต่อสถานีฐาน (a) CAPEX + (b) OPEX	**48,453**

สมมติให้การใช้งานในประเทศเยอรมนีมีการเชื่อมต่อกับโครงข่าย CDMA450 ทั้งหมด 27.5 ล้านจุดเชื่อมต่อ สามารถคำนวณต้นทุน ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อเดือน และอัตราการใช้ประโยชน์ของโครงข่าย (Network Capacity Utilization) ได้ดังตารางที่ 7-3 สรุปพารามิเตอร์สำคัญดังนี้

- สมมติฐาน 27.5 ล้านจุดเชื่อมต่อ คิดจาก 50% ของจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า 55 ล้านรายในประเทศเยอรมนี (เฉลี่ย 17,317 จุดเชื่อมต่อ ต่อสถานีฐาน)
- การคำนวณการใช้งานโครงข่าย คิดจากขนาดข้อมูลทั่วไปของการส่งข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ทุก 15 นาที
- สรุปต้นทุนต่อหน่วย 0.23 EUR ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี

ตารางที่ 7-3 ต้นทุนต่อหน่วยของโครงข่าย CDMA450

หน่วย: EUR

จำนวนสถานีฐาน	1,588 สถานี
จำนวนจุดเชื่อมต่อ	27,500,000 จุดเชื่อมต่อ
CAPEX ทั้งหมดต่อปี	34,543,764
OPEX ทั้งหมดต่อปี	42,399,600
ต้นทุนทั้งหมด (CAPEX + OPEX) ต่อปี	76,943,364
CAPEX ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี	1.26
OPEX ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี	1.54
ต้นทุน (CAPEX + OPEX) ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี	2.80
อัตราการใช้ประโยชน์ของโครงข่าย	38%

เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ต้นทุนของ CDMA450 จากแหล่งข้อมูลในประเทศอื่น ๆ ในยุโรป พบว่าได้ผลการศึกษาที่แตกต่างกันดังกรณีศึกษาจำนวน 3 ตัวอย่างในตารางที่ 7-4

ตารางที่ 7-4 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของโครงข่าย CDMA450 ในยุโรป

หน่วย: EUR

รายการ	กรณีศึกษาในหัวข้อนี้ [30]	กรณีศึกษาของ DSO ในประเทศที่มีประชากรหนาแน่น	กรณีศึกษาของผู้ให้บริการ CDMA450 ในประเทศขนาดใหญ่	เฉลี่ย
สมมติฐานการใช้งานต่อจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า	50%	เกือบ 100%	จำกัด (มีข้อจำกัดด้านการกำกับดูแล)	-
CAPEX ต่อสถานีฐาน	152,650	163,812	159,581	158,681
OPEX ต่อปี ต่อสถานีฐาน	26,700	22,230	29,315	26,082
จำนวนจุดเชื่อมต่อต่อสถานีฐาน	17,317	17,000	8,438	14,252
ต้นทุนต่อหน่วย (ต้นทุนต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี)	2.13	1.95	4.74	2.57
อัตราการใช้ประโยชน์ของโครงข่าย	38%	40%	18%	32%

<u>หมายเหตุ:</u> การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยในตารางที่ 7-4 คิดระยะเวลาการใช้งาน 15 ปี โดยไม่พิจารณาต้นทุนของเงินทุน เพื่อให้การเปรียบเทียบอยู่บนฐานเดียวกัน

จากตารางที่ 7-4 เห็นได้ว่าการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกันประมาณ 7% ในด้านสมมติฐานของ CAPEX ต่อสถานีฐาน และแตกต่างกันถึง 25% ในกรณี OPEX ต่อสถานีฐาน ต้นทุนต่อหน่วยในบางกรณีอาจแตกต่างกันถึง 2 เท่า เนื่องจากต้นทุนต่อหน่วยไม่ได้เกิดจากต้นทุนค่าใช้จ่ายเพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงปัจจัยด้านจำนวนจุดเชื่อมต่อต่อสถานีฐานอีกด้วย ซึ่งจำนวนจุดเชื่อมต่อต่อสถานีฐานจะถูกผลักดันจากการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์ (เช่น 20%, 50% หรือเกือบ 100%) และความหนาแน่นของประชากร เนื่องจากพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นจะมีศักยภาพจำนวนจุดเชื่อมต่อพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานที่สูงกว่า ส่งผลให้จำนวนจุดเชื่อมต่อต่อสถานีฐานมีค่าสูงกว่า อย่างไรก็ตาม กรณีที่จำนวนจุดเชื่อมต่อต่อสถานีฐานมีค่าต่ำ ซึ่งถือว่าอัตราการใช้ประโยชน์ของโครงข่ายอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้น โครงข่ายสื่อสารจึงมีพื้นที่ว่างเหลือสำหรับรองรับการเชื่อมต่ออื่น ๆ ได้ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มจำนวนสมาร์ทมิเตอร์ให้ครอบคลุมมากขึ้นในอนาคต หรือรองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ใน Application อื่น ๆ ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

จากการแนวทางคำนวณ Total Cost of Ownership ของ CDMA450 ข้างต้นสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบ Total Cost of Ownership ระหว่าง CDMA450 กับ GPRS900 ได้ในหัวข้อถัดไป

7.1.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนระหว่าง CDMA450 กับ GPRS900

ในหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ Total Cost of Ownership ต่อจุดเชื่อมต่อ ภายใต้ระยะเวลา 15 ปี ระหว่างการใช้งานเทคโนโลยี CDMA450 ที่เป็นการลงทุนสร้างโครงข่ายใหม่ทั้งหมด เปรียบเทียบกับการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS บนย่านความถี่ 900 MHz (GPRS900) ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่

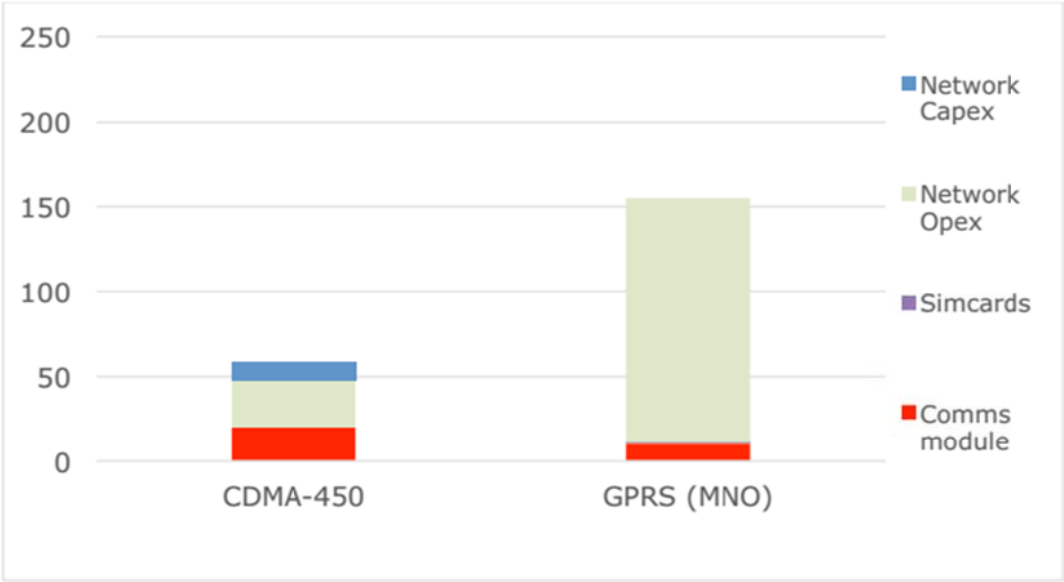
โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS900 ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ เป็นกรณีตัวอย่างของการใช้บริการโครงข่ายจากผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่สาธารณะในประเทศเยอรมนี ค่าธรรมเนียมการใช้บริการจะขึ้นอยู่กับข้อตกลงด้านความเร็วของข้อมูล, ปริมาณข้อมูล, ความถี่ของการใช้งาน และระดับการให้บริการ โดยอาจเป็นลักษณะเก็บค่าบริการในอัตราคงที่ต่อการใช้งานหนึ่งครั้ง หรืออาจเป็นการคิดค่าบริการร่วมกัน ทั้งที่เป็นค่าบริการคงที่และค่าใช้จ่ายตามการใช้งานซึ่งอาจขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูล (จำนวน MB ต่อเดือน) หรือระยะเวลาที่ใช้งาน เป็นต้น

แม้ว่าตลาดโครงข่ายเซลลูลาร์ในปัจจุบันจะเริ่มเสนอบริการสื่อสารสำหรับอุปกรณ์ (Machine-to-machine: M2M) นอกเหนือไปจากรองรับการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่อัตราค่าบริการยังค่อนข้างสูงอยู่ (เช่น สูงกว่า 5 EUR ต่อเดือน) แต่เป็นที่คาดหมายว่าผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่มีแนวโน้มเสนออัตราค่าบริการที่ลดลงอย่างมากสำหรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคต เนื่องจากมีจุดเชื่อมจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังคงต้องพิจารณาขนาดของโครงข่ายและระดับการให้บริการว่าสามารถรองรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้เพียงพอหรือไม่ ทั้งนี้ แม้ว่าการใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์สำหรับรองรับการสื่อสารแบบ M2M ในช่วงเวลากลางคืนซึ่งมีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่ำจะช่วยให้สามารถใช้งานโครงข่ายได้อย่างคุ้มค่ามากขึ้น ส่งผลให้ผู้ให้บริการสามารถคิดค่าบริการในอัตราที่ต่ำได้ แต่เนื่องจากการสื่อสารแบบ M2M มีลักษณะการสื่อสารเป็นช่วงเวลาตลอดทั้งวัน (เช่น การอ่านค่าจากสมาร์ทมิเตอร์ทุก ๆ 15 นาที) อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ในช่วงเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงที่โครงข่ายมีปริมาณการใช้งานสูงสุด ทำให้เกิดผลกระทบต่อระดับการให้บริการของผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งผู้ใช้บริการเหล่านี้มีความสำคัญในการสร้างรายได้ให้กับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่มากกว่ารายได้จากบริการ M2M (เช่น ระบบสมาร์ทกริด/สมาร์ทมิเตอร์) ซึ่งถือว่าไม่ใช่เป้าหมายหลักเชิงพาณิชย์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ นอกจากนี้ การแข่งขันด้านสมรรถนะของโครงข่ายเซลลูลาร์มีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความต้องการใช้งานจากกลุ่มลูกค้าทั่วไปและ Application ด้านM2M มีจำนวนและปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้จะตั้งสมมติฐานว่าผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่คิดอัตราค่าบริการเฉลี่ย 1 EUR ต่อเดือน ต่อจุดเชื่อมต่อ ส่วนกรณี CDMA450 จะตั้งสมมติฐานว่าเป็นการสร้างโครงข่ายใหม่ทั้งหมด ซึ่งรวมองค์ประกอบทั้ง CAPEX และ OPEX ที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ 7.1.1 ไว้ทั้งหมด นอกจากนี้ ยังรวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อให้การวิเคราะห์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยตั้งสมมติฐานค่าใช้จ่ายการขอใช้คลื่นความถี่เป็นการใช้จ่ายครั้งเดียว (One-time Cost) ที่ 5 EUR ต่อจุดเชื่อมต่อ

นอกจากนี้ อุปกรณ์ปลายทางแต่ละเครื่องยังต้องติดตั้งโมดูลสื่อสารเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อเข้าสู่โครงข่ายได้ ซึ่งในกรณีของ GSM/GPRS อุปกรณ์ปลายทางยังต้องติดตั้งซิมการ์ดซึ่งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของระบบ GSM/GPRS ทั้งนี้ ราคาของโมดูลสื่อสารจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและขนาดของตลาด เนื่องจาก GSM/GPRS เป็นเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่มีการใช้งานแพร่หลายทั่วโลก ทำให้ต้นทุนของโมดูลสื่อสาร GSM/GPRS มีข้อได้เปรียบด้านราคามากกว่าเทคโนโลยีอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ความได้เปรียบด้านราคาดังกล่าวจะลดลงในอนาคต

เนื่องจากการใช้งาน CDMA450 สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด/ระบบสมาร์ทมิเตอร์ จะช่วยเพิ่มปริมาณความต้องการของโมดูลสื่อสาร CDMA450 เป็นจำนวนหลายล้านตัว ทำให้ช่องว่างด้านราคาโมดูลสื่อสารระหว่าง GSM/GPRS กับ CDMA450 มีแนวโน้มลดลงอย่างมาก ซึ่งในการวิเคราะห์นี้สันนิษฐานว่าโมดูลสื่อสาร CDMA450 มีราคาสูงกว่า GSM/GPRS โดยเฉลี่ยที่ 10 EUR โดยที่ช่องว่างจะลดลงเหลือ 9 EUR เนื่องจากโมดูลสื่อสาร GSM/GPRS จำเป็นต้องมีซิมการ์ดซึ่งมีราคาเฉลี่ยที่ 1 EUR

กราฟในรูปที่ 7-2 แสดงการวิเคราะห์ Total Cost of Ownership ระหว่าง GSM/GRPS900 กับ CDMA450 ตามสมมติฐานที่กล่าวถึงข้างต้นในช่วงระยะเวลาใช้งาน 15 ปี และเนื่องจากการพัฒนาโครงข่าย CDMA450 ใหม่ทั้งหมดต้องใช้เวลาระยะหนึ่ง (เช่น ประมาณ 3 ปี) ซึ่งในระยะนี้โครงข่าย CDMA450 มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนแต่ยังไม่มีผู้ใช้งาน ดังนั้น ค่าบริการ GSM/GPRS จะถูกพิจารณาเพียงแค่ 12 ปี เพื่อให้สอดคล้องกัน



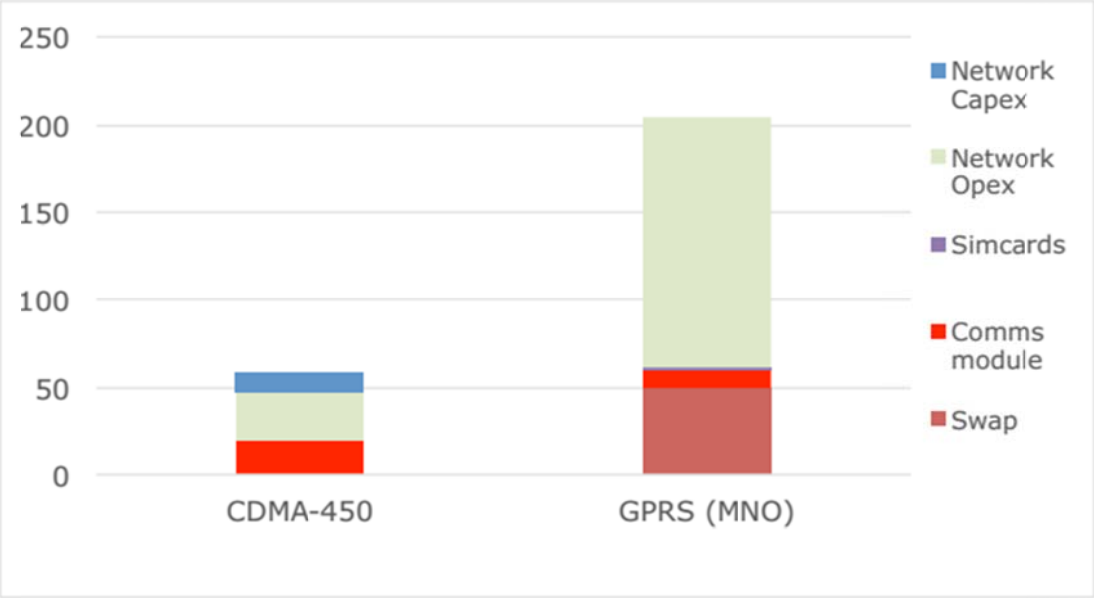
รูปที่ 7-2 Total Cost of Ownership ระหว่าง GSM/GRPS900 กับ CDMA450 (หน่วย EUR)

จากกราฟในรูปที่ 7-2 จะเห็นว่า Total Cost of Ownership ของการใช้บริการโครงข่าย GPRS900 อยู่ที่ประมาณ 144 EUR ต่อจุดเชื่อมต่อ และ Total Cost of Ownership ของการลงทุนสร้างโครงข่าย CDMA450 อยู่ที่ประมาณ 52 EUR ต่อจุดเชื่อมต่อ ดังนั้น การพัฒนาโครงข่าย CDMA450 จึงมีความคุ้มค่าในระยะยาวมากกว่าการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ GSM/GPRS ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อพิจารณาจากสมมติฐานตามหัวข้อที่ 7.1.1 ที่อายุการใช้งาน 15 ปี

ข้อได้เปรียบของการพัฒนาโครงข่าย CDMA450 อาจสูงขึ้นกว่านี้ ในกรณีที่จำนวนจุดเชื่อมต่อต่อสถานีฐานสูงขึ้น, ต้นทุนโมดูลสื่อสาร CDMA450 ลดลง หรือค่าบริการ GSM/GRPS สูงขึ้น ซึ่งข้อได้เปรียบจะลดลงในกรณีกลับกัน โดยหากพิจารณาการคาดการณ์ว่าการใช้งานระบบสมาร์ทมิเตอร์จะเกิดขึ้นอย่างแพร่หลายในอนาคต ซึ่งทำให้เกิดความต้องการทั้งด้านขนาดและระดับการให้บริการของระบบสื่อสารไร้สาย ดังนั้น ด้วยแนวโน้มของระบบ

โครงข่ายสมาร์ทกริด สมมติฐานด้านความคุ้มค่าของโครงข่าย CDMA450 ดังการวิเคราะห์ข้างต้น ถือว่าไม่ได้เป็นการประเมินที่เกินความเป็นจริงแต่อย่างใด

ข้อได้เปรียบด้าน Total Cost of Ownership ของโครงข่าย CDMA450 จะยิ่งชัดเจนมากขึ้น หากพิจารณาว่าโครงข่าย GSM/GPRS อาจไม่สามารถใช้งานได้ถึงระยะเวลา 15 ปี เนื่องจากผู้ให้บริการโทรคมนาคมเชิงพาณิชย์อาจปรับเปลี่ยนไปใช้เทคโนโลยี LTE ทั้งหมดภายในไม่กี่ปีข้างหน้า เพื่อเพิ่มความเร็วและความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลรองรับความต้องการของกลุ่มลูกค้าส่วนใหญ่ ส่งผลให้ต้องมีการเปลี่ยนโมดูลสื่อสาร GPRS ที่ติดตั้งอยู่เดิมและแทนที่ด้วยโมดูลสื่อสาร LTE หากสมมติให้ค่าใช้จ่ายสำหรับการเปลี่ยนโมดูลสื่อสารของสมาร์ทมิเตอร์เป็น LTE อยู่ที่ประมาณ 50 EUR เป็นอย่างต่ำ ส่งผลให้การวิเคราะห์ Total Cost of Ownership ยิ่งแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการลงทุนพัฒนาโครงข่าย CDMA450 สำหรับการใช้งานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด/สมาร์ทมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 7-3 โดยพิจารณาว่าไม่มีการลงทุนใหม่ทางเทคนิคอื่น ๆ ตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ



รูปที่ 7-3 Total Cost of Ownership ระหว่าง GSM/GRPS900 กับ CDMA450 ในกรณีที่ GSM/GPSR900 มีการปรับเปลี่ยนไปสู่ LTE (หน่วย EUR)

7.1.3 การวิเคราะห์ความไวของการลงทุนสร้างโครงข่าย CDMA450

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างและใช้งานโครงข่าย CDMA450 ในประเทศใดประเทศหนึ่ง ต้นทุนของการลงทุนใหม่ (Greenfield) ที่แสดงข้างต้นอาจลดลงได้อีก ด้วยสองแนวทางดังต่อไปนี้

1) การเพิ่มความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน

แนวทางแรก คือ การเพิ่มความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน ซึ่งทำได้โดยการลดต้นทุนและการเพิ่มรายรับของโครงการ ตัวอย่างเช่น

- การประยุกต์ความร่วมมือกับหน่วยงานอื่น โดยการสร้างโครงข่าย CDMA450 บนโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่เดิม เช่น สถานีฐาน, อสังหาริมทรัพย์ และโครงข่ายหลัก/โครงข่าย Backhaul ที่มีอยู่เดิมของผู้ให้บริการไฟฟ้าหรือผู้ให้บริการโทรคมนาคมรายอื่น รวมไปถึงการใช้ประโยชน์จากดำเนินงานที่มีอยู่เดิม เช่น การว่าจ้างหน่วยงานภายนอกในการบริหารจัดการโครงข่าย, การบำรุงรักษาโครงข่าย และการบริหารจัดการทั่วไป
- การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างที่เหลืออยู่ของโครงข่าย เช่น เพิ่มจำนวนจุดเชื่อมต่อในโครงข่ายจากอุปกรณ์ใน Application อื่น ๆ หรือผู้ให้บริการไฟฟ้ารายอื่น รวมไปถึงแสวงหาโอกาสจากตลาดอื่น ๆ เช่น การคมนาคมขนส่ง หรือ การแพทย์และสุขภาพ

ขอบเขตของความร่วมมือและส่วนแบ่งรายได้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ให้บริการไฟฟ้าและผู้ให้บริการโทรคมนาคม สำหรับความร่วมมือกันในการสร้างและใช้งานโครงข่าย CDMA450 เช่น หากมุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุน ผู้ให้บริการไฟฟ้าและผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะพยายามแสวงหาความร่วมมือและการใช้ประโยชน์สูงสุดจากโครงข่ายร่วมกัน ส่งผลให้ต้นทุนต่อจุดเชื่อมต่อลดลงได้อย่างมาก ทำให้ภาพรวมทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการดีขึ้น ทั้งนี้ ความร่วมมือที่สมเหตุสมผลกับหน่วยงานอื่น ๆ อาจช่วยลด CAPEX ได้ถึง 10-30% และลด OPEX ได้ถึง 20-40%

ตารางที่ 7-4 ต้นทุนต่อหน่วยของโครงข่าย CDMA450 กรณีมีความร่วมมือระหว่างผู้ให้บริการไฟฟ้ากับผู้ให้บริการโทรคมนาคม

รายการ	ต้นทุนเฉลี่ย (EUR)	ประโยชน์จากความร่วมมือ (%)		ประโยชน์จากความร่วมมือ (EUR)		ผลกระทบของต้นทุนต่อหน่วย (EUR ต่อปี)	
		ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
CAPEX ต่อ Site	158,681	10%	30%	15,686	47,604	0.07	0.22
OPEX ต่อปี ต่อ Site	26,082	20%	40%	5,216	10,433	0.37	0.73

จากตารางที่ 7-4 จะเห็นว่าหากมีความร่วมมือที่เหมาะสมกับหน่วยงานอื่น สามารถลดต้นทุนต่อหน่วยได้ถึง 0.42-0.95 EUR ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี ซึ่งช่วยให้ต้นทุนเฉลี่ยต่อจุดเชื่อมต่อลดลงอย่างมากจากต้นทุนเฉลี่ยต่อจุดเชื่อมต่อในกรณีที่ไม่มีความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นซึ่งอยู่ที่ 2.57 EUR ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี

ในส่วนของผลกระทบด้านต้นทุนต่อหน่วยจากการเพิ่มจำนวนจุดเชื่อมต่อ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างที่เหลืออยู่ของโครงข่ายจะขึ้นอยู่กับการกำหนดราคาสำหรับจุดเชื่อมต่อในส่วนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากระบบสื่อสารไร้สาย 450 MHz ถือเป็นข้อเสนอทางธุรกิจที่เป็นลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากเทคโนโลยีอื่น ๆ ทั่วไปทั้ง ในแง่ของความครอบคลุม, ความปลอดภัย และคุณภาพ ดังนั้น จึงสันนิษฐานได้ว่าผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถเสนอบริการให้กับบุคคลที่สามได้ในราคาที่ค่อนข้างสูง ตารางที่ 7-5 แสดงผลกระทบของต้นทุนต่อหน่วยจากเพิ่มจำนวนจุดเชื่อมต่อ และการคิดค่าบริการที่เป็นไปได้

ตารางที่ 7-5 ต้นทุนต่อหน่วยของโครงข่าย CDMA450 กรณีมีการแสวงหาโอกาสเพื่อเพิ่มจำนวนจุดเชื่อมต่อ

รายการ	กรณีฐาน (EUR)	กรณีจำนวนจุดเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น 2 เท่า (EUR)		
		ค่าบริการคงเดิม สำหรับจุดเชื่อมต่อ ส่วนเพิ่ม	ค่าบริการเพิ่มขึ้น 50% สำหรับจุดเชื่อมต่อ ส่วนเพิ่ม	ค่าบริการเพิ่มขึ้น 100% สำหรับจุดเชื่อมต่อ ส่วนเพิ่ม
จำนวนจุดเชื่อมต่อ ต่อ Site	14,252	28,503	28,503	28,503
การใช้ประโยชน์จากโครงข่าย	32%	64%	64%	64%
ต้นทุน ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี	2.57	1.29	1.03	0.86
ต้นทุน ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อปี สำหรับจุดเชื่อมต่อส่วนเพิ่ม	-	1.29	1.54	1.71
ผลกระทบของต้นทุนต่อหน่วย	-	ลดลง 50% เนื่องจากจุดเชื่อมต่อส่วนเพิ่มจ่ายค่าบริการเท่าเดิม	ลดลง 60% เนื่องจากจุดเชื่อมต่อส่วนเพิ่มต้องจ่ายค่าบริการสูงขึ้น 50%	ลดลง 67% เนื่องจากจุดเชื่อมต่อส่วนเพิ่มต้องจ่ายค่าบริการสูงขึ้น 100%

ตารางที่ 7-5 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุดเชื่อมต่อส่งผลโดยตรงทำให้ต้นทุนต่อจุดเชื่อมต่อลดลง อย่างไรก็ตาม หากผู้ให้บริการไฟฟ้าหรือผู้ให้บริการโทรคมนาคมสามารถเรียกเก็บค่าบริการจากจุดเชื่อมต่อส่วนเพิ่มด้วยราคาที่สูงขึ้น (ซึ่งถือว่าสมเหตุสมผลเมื่อพิจารณาประโยชน์ที่หน่วยงานบุคคลที่สามได้รับจากการใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย 450 MHz) จุดเชื่อมต่อส่วนเพิ่มนี้จะช่วยลดต้นทุนต่อหน่วยให้กับผู้ให้บริการไฟฟ้าหรือผู้ให้บริการโทรคมนาคมลงได้อย่างมาก

2) การใช้ประโยชน์จากโครงข่ายระบบสื่อสารไร้สาย 450 MHz ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

แนวทางที่สอง คือ การใช้ประโยชน์จากระบบสื่อสารไร้สาย 450 MHz ซึ่งอาจมีอยู่เดิมในบางประเทศสำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด/ระบบสมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไป โครงข่ายเหล่านี้มักถูกพัฒนาเพื่อรองรับการให้บริการด้านโทรคมนาคมสำหรับพื้นที่ในชนบท หรือการให้บริการบรอดแบนด์ขั้นพื้นฐาน แต่เนื่องจากจำนวนผู้ใช้งานมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจึงจำเป็นต้องมองหาตลาดใหม่ ๆ ซึ่งการนำมาใช้งานเป็นระบบสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (M2M) ของผู้ให้บริการไฟฟ้าเป็นโอกาสที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด แม้ว่าโครงข่ายเหล่านี้จะเป็นบริการเชิงพาณิชย์ แต่เมื่อพิจารณาในมุมมองเชิงพาณิชย์ยังถือว่ามีศักยภาพต่ำมาก ดังนั้น ผู้ให้บริการโครงข่ายเหล่านี้อาจสนใจโอกาสในการปรับเปลี่ยนธุรกิจของตนเข้าสู่ตลาด M2M และระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งจะทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถใช้งานโครงข่าย 450 MHz เพื่อเป็นโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดตลอดจนผู้ให้บริการไฟฟ้าซึ่งกลายเป็นลูกค้ารายหลักจะมีอำนาจกำหนดความต้องการในด้านต่าง ๆ ได้ เช่น ความปลอดภัย, การควบคุมโครงข่าย และระดับการให้บริการ เป็นต้น

ในประเทศที่มีโครงข่ายสื่อสาร 450 MHz อยู่แล้ว ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถสร้างความร่วมมือกับเจ้าของโครงข่าย 450 MHz เดิม เพื่อขอใช้พื้นที่ว่างที่เหลือจากการให้บริการเชิงพาณิชย์เดิมของโครงข่ายสำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด แทนที่การลงทุนสร้างโครงข่าย CDMA450 ใหม่ทั้งหมด ซึ่งมีต้นทุนการลงทุนที่สูงกว่ามากสำหรับประเด็นด้านค่าบริการหรือค่าใช้จ่ายที่ถูกเรียกเก็บ คาดว่าจะอยู่ในระดับเดียวกับต้นทุนของการสร้างโครงข่าย

CDMA450 ใหม่ในแนวทางที่ 1 คือ รูปแบบที่มีความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นร่วมกับการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างของโครงข่ายโดยการแสวงหาโอกาสการให้บริการให้กับบุคคลที่สาม ตามสมมติฐานดังนี้

- โครงข่ายที่มีอยู่เดิมมีการใช้งานมาเป็นระยะเวลานานจึงมีค่าเสื่อมราคาสูงมาก ทำให้ต้นทุน CAPEX โดยรวมต่ำกว่ากรณีสร้างโครงข่ายใหม่ทั้งหมด (Greenfield) อย่างมาก
- ผู้ให้บริการโครงข่ายเชิงพาณิชย์คาดหวังว่าจะได้รับผลตอบแทนเทียบเท่ากับต้นทุนของเงินทุน ได้แก่ อัตรากำไรที่เหมาะสมเพื่อให้ครอบคลุมค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงข่าย, ค่าเสื่อมราคา และต้นทุนอื่น ๆ
- ลูกค้าเดิมและลูกค้ากลุ่มเป้าหมายของผู้ให้บริการโครงข่าย มีส่วนในการสร้างผลกำไรให้กับผู้ให้บริการโครงข่ายอยู่แล้ว ผู้ให้บริการโครงข่ายจึงไม่ต้องการผลตอบแทนสำหรับจุดเชื่อมต่อส่วนเพิ่มมากนัก

ในกรณีนี้ ผู้ให้บริการไฟฟ้าซึ่งกลายเป็นลูกค้าหลักรายใหม่จะเสียค่าบริการเพียงแค่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงข่ายในส่วนที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าใช้งานเท่านั้น เนื่องจากค่าใช้จ่ายในส่วนอื่น ๆ ส่วนใหญ่ถูกเรียกเก็บจากลูกค้าเชิงพาณิชย์ทั่วไปอยู่แล้ว สถานการณ์ดังกล่าวอาจแตกต่างกันในแต่ละประเทศ เนื่องจากผู้ให้บริการโครงข่ายบางรายอาจมีผลประกอบการทางธุรกิจที่ดีอยู่แล้ว จึงมีอำนาจในการต่อรองมากขึ้นในการกำหนดผลตอบแทน ในขณะที่ผู้ให้บริการโครงข่ายที่กำลังมองหาโอกาสทางธุรกิจใหม่ ๆ อาจพิจารณาผู้ให้บริการไฟฟ้าเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักของตน และมอบข้อเสนอที่น่าสนใจให้กับผู้ให้บริการไฟฟ้า

7.1.4 ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการลงทุนสร้างระบบโครงข่ายสื่อสารไร้สายใหม่บนย่านความถี่ 450 MHz (พิจารณาจากเทคโนโลยี CDMA450) ไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดประโยชน์ที่สำคัญในด้านความครอบคลุมของพื้นที่, คุณภาพการให้บริการ และความสามารถในบริหารจัดการโครงข่าย แต่ยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายเชิงพาณิชย์ เช่น โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS บนย่านความถี่ 900 MHz ทั้งนี้ เป็นผลมาจากประโยชน์โดยธรรมชาติของย่านความถี่ 450 MHz ซึ่งมีระยะสื่อสารที่ไกล ทำให้มีความต้องการจำนวนสถานีฐานที่ต่ำกว่าย่านความถี่ 900 MHz จึงมีต้นทุนในการลงทุนและค่าบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า ประกอบกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดและระบบสมาร์ทมิเตอร์มีอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมาก ส่งผลให้ต้นทุนต่อจุดเชื่อมต่อต่ำลงไปด้วย ตรงกันข้ามกับกรณีการใช้บริการโครงข่าย GPRS ซึ่งค่าบริการจะถูกเรียกเก็บตามจำนวนจุดเชื่อมต่อ ต้นทุนต่อจุดเชื่อมต่อจึงมักคงที่เสมอ

การใช้บริการโครงข่าย GPRS สามารถแข่งขันกับการลงทุนสร้างโครงข่าย CDMA450 ได้ก็ต่อเมื่อละเว้นการพิจารณาด้าน Capacity ของโครงข่าย และระดับการให้บริการ เนื่องจากหากเพิ่มการใช้งานในส่วนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอาจส่งผลให้สมรรถนะโดยรวมของโครงข่าย GPRS ลดลงอย่างมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้งานของกลุ่มลูกค้าหลักของโครงข่าย GPRS โดยตรง นอกจากนี้ โครงข่าย GSM/GPRS มีแนวโน้มที่ถูกเรียกคืน (Refarming) เพื่อจัดสรรให้กับเทคโนโลยี LTE ในอนาคต

ในตลาดที่ย่านความถี่ 450 MHz ยังคงว่างอยู่ และต้องมีการลงทุนสร้างโครงข่ายใหม่ ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ของโครงข่ายไร้สายบนย่านความถี่ 450 MHz สามารถปรับปรุงให้เหมาะสมมากขึ้นโดยการมองหาโอกาสสร้างความร่วมมือด้านต้นทุนกับโครงสร้างพื้นฐานและผู้ให้บริการที่มีอยู่เดิม ไม่ว่าจะเป็นผู้ให้บริการไฟฟ้าหรือผู้ให้บริการโทรคมนาคม รวมไปถึงการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างที่เหลืออยู่ของโครงข่ายเพื่อแสวงหาโอกาสในการเพิ่มจำนวนจุดเชื่อมต่อจากตลาดอื่น ๆ

ในมุมมองทางเศรษฐศาสตร์ ผู้ให้บริการไฟฟ้าอาจได้ข้อเสนอที่มีความน่าสนใจมากกว่า ในตลาดที่มีผู้ให้บริการโครงข่าย CDMA450 รายเดิมซึ่งกำลังมองหาโอกาสในการพัฒนารูปแบบทางธุรกิจใหม่ ๆ ซึ่งอาจทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้ากลายเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่สำคัญในฐานะลูกค้าหลัก ผู้ร่วมทุน หรือแม้กระทั่งผู้ถือหุ้นรายใหญ่ การร่วมทุนกันระหว่างผู้ให้บริการไฟฟ้ากับผู้ให้บริการโครงข่าย CDMA450 จะก่อให้เกิดผลประโยชน์ต่อทั้งสองฝ่าย กล่าวคือ ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนเมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างโครงข่ายใหม่ทั้งหมดด้วยตนเอง และผู้ให้บริการโครงข่าย CDMA450 สามารถลดความจำเป็นในการลงทุนปรับปรุงหรือขยายโครงข่ายลงได้ตลอดจนสามารถใช้งานโครงข่ายที่มีอยู่เดิมได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

7.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนระหว่างเทคโนโลยี 3G/GPRS/RF Mesh/PLC

เอกสาร [31] แสดงผลการศึกษา Total Cost of Ownership ของการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์เปรียบเทียบระหว่างการเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สาย 3 ชนิด ได้แก่ เทคโนโลยี 3G และ GPRS ซึ่งในกรณีนี้หมายถึงการที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าเลือกใช้บริการโครงข่าย 3G/GPRS ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเทคโนโลยี RF Mesh ซึ่งเป็นกรณีที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าเป็นผู้ลงทุนสร้างโครงข่ายด้วยตนเอง นอกจากนี้ ยังมีการเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีระบบสื่อสารแบบมีสาย ได้แก่ Power Line Communication (PLC) ซึ่งเป็นกรณีที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าเป็นผู้สร้างโครงข่ายด้วยตนเองเช่นกัน

ทั้ง 4 เทคโนโลยีข้างต้นจะเปรียบเทียบกันด้วยค่า Total Cost of Ownership ต่อสมาร์ทมิเตอร์ 1 เครื่อง (USD/มิเตอร์) ภายใต้ระยะเวลาใช้งาน 25 ปี ดังแสดงในรูปที่ 7-4

รูปที่ 7-4 เปรียบเทียบ Total Cost of Ownership ระหว่างเทคโนโลยี 3G/GPRS/RF Mesh/PLC

จากรูปที่ 7-4 Total Cost of Ownership ของระบบสมาร์ทมิเตอร์ ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Expenditures: CAPEX) ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานระบบสื่อสารทั้งหมด และค่าอุปกรณ์สมาร์ทมิเตอร์ รวมกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operational Expenditures: OPEX) ได้แก่ ค่าบริการเชื่อมต่อการบริหารจัดการและใช้งานโครงข่าย การใช้งานศูนย์ข้อมูล และค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการอื่น ๆ

ในกรณีที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าเลือกใช้เทคโนโลยี 3G และ GPRS ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเรียกเก็บค่าบริการเชื่อมต่อ (Connectivity) ซึ่งอีก 2 เทคโนโลยีไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะถูกหักล้างโดยค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการและการบำรุงรักษาภาคสนาม (Field O&M) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของ Total Cost of Ownership สำหรับเทคโนโลยี RF Mesh และ PLC ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการและการบำรุงรักษาภาคสนามจะไม่เกิดขึ้นสำหรับเทคโนโลยี 3G และ GPRS เนื่องจากค่าใช้จ่ายส่วนนี้ถูกรับผิดชอบโดยผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการให้บริการอยู่แล้ว

จากการศึกษาตามแบบจำลองใน [31] พบว่าการใช้บริการโครงข่าย 3G และ GPRS มี Total Cost of Ownership ต่ำกว่าการพัฒนาโครงข่าย RF Mesh และ PLC โดยมีข้อได้เปรียบหลัก คือ ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษาโครงข่าย ซึ่งอาจมีค่าใช้จ่ายสูงมากในกรณีที่ระบบมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ เทคโนโลยี 3G มีแนวโน้มที่จะมี Total Cost of Ownership ต่ำที่สุดได้ เนื่องจากราคาค่าบริการเชื่อมต่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา อันเป็นผลมาจากการแข่งขันอย่างรุนแรงระหว่างผู้ให้บริการแต่ละรายเพื่อเอาชนะกันทางธุรกิจ อีกทั้งเมื่อคำนึงถึงสมรรถนะของระบบสื่อสารด้วยแล้ว เทคโนโลยี 3G ถือว่ามีสมรรถนะและอัตราข้อมูลสูงที่สุดจากเทคโนโลยีที่นำมาพิจารณาข้างต้น โดยที่มี Total Cost of Ownership ต่ำที่สุดด้วย ดังนั้น ในกรณีธุรกิจของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด การเลือกใช้บริการโครงข่าย 3G สามารถแข่งขันหรือแม้กระทั่งคุ้มค่าต่อการลงทุนมากกว่าเทคโนโลยีทางเลือกอื่น ๆ อีกทั้งยังมีสมรรถนะของระบบสื่อสารที่สูงกว่าอีกด้วย

7.3 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้ระบบสื่อสารไร้สายบนคลื่นความถี่ต่างกัน ในรายงานฉบับนี้จะพิจารณาที่โครงข่าย NAN/FAN เป็นหลัก ซึ่งมีโอกาสเกิดผลกระทบจากการเลือกใช้คลื่นความถี่และเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายได้มากที่สุด เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่ต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมากบนสภาพแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันมากในแต่ละพื้นที่ อีกทั้งโครงข่าย NAN/FAN ยังมีความต้องการด้านความเชื่อถือได้และความหน่วงของสัญญาณในระดับสูง ทั้งนี้ ระบบสมาร์ทมิเตอร์หรือระบบ AMI ถือเป็น Application พื้นฐานในโครงข่าย NAN/FAN ซึ่งผู้ให้บริการไฟฟ้าส่วนใหญ่มักเลือกพัฒนาเป็นลำดับแรกสำหรับการก้าวไปสู่ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอย่างเต็มรูปแบบ เนื่องจากการพัฒนาระบบ AMI จำเป็นต้องสร้างโครงสร้างพื้นฐานในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านโครงข่ายสื่อสารเพื่อเชื่อมต่อระหว่างผู้ให้บริการไฟฟ้า, ระบบจำหน่ายไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาหรือให้บริการ Application อื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 7.1 ซึ่งเป็นการศึกษาต้นทุนรวมของการเป็นเจ้าของ (Total Cost of Ownership: TCO) ภายใต้ระยะเวลาใช้งาน 15 ปี ของการลงทุนสร้างโครงข่าย CDMA บนย่านความถี่ 450 MHz ในรูปแบบการลงทุนใหม่ทั้งหมด เปรียบเทียบกับการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ GSM/GPRS บนย่านความถี่ 900 MHz จากผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการลงทุนสร้างโครงข่าย CDMA ใหม่ มี Total Cost of Ownership ประมาณ 52 EUR ต่อจุดเชื่อมต่อ ขณะที่ Total Cost of Ownership ของการใช้บริการโครงข่าย GSM/GPRS อยู่ที่ประมาณ 144 EUR ต่อจุดเชื่อมต่อ ดังนั้น การลงทุนสร้างโครงข่าย CDMA บนย่านความถี่ 450 MHz มีความคุ้มค่าในระยะยาวดีกว่ามาก นอกจากนี้ ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถลดต้นทุนการลงทุนสำหรับการสร้างโครงข่าย CDMA450 ด้วยกลยุทธ์เชิงธุรกิจ เช่น การร่วมทุนกับผู้ให้บริการโทรคมนาคมหรือผู้ให้บริการไฟฟ้ารายอื่น และการหารายได้เพิ่มเติมจากการเปิดให้หน่วยงานอื่น ๆ ใช้บริการโครงข่าย CDMA450 ดังกล่าวได้อีกด้วย

สำหรับหัวข้อ 7.2 เป็นการศึกษา Total Cost of Ownership เปรียบเทียบระหว่างการเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารต่าง ๆ ในการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์ ได้แก่ กรณีที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าใช้บริการโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ (3G, GPRS) และกรณีที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าพัฒนาโครงข่ายของตนเอง (RF Mesh, PLC) ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้บริการเทคโนโลยี 3G หรือ GPRS มี Total Cost of Ownership ต่ำกว่าการพัฒนาโครงข่าย RF Mesh หรือ PLC ซึ่งความแตกต่างที่สำคัญ คือ การพัฒนาโครงข่าย RF Mesh หรือ PLC มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูงมาก

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในหัวข้อที่ 7.1 และ 7.2 ยังอยู่บนฐานการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังนั้น การนำผลการศึกษาทั้งในหัวข้อที่ 7.1 และ 7.2 มาผนวกกันเพื่อเปรียบเทียบ Total Cost of Ownership ของทุกเทคโนโลยีจำเป็นต้องปรับองค์ประกอบที่ใช้ในการคำนวณให้อยู่บนฐานเดียวกัน เช่น ตารางที่ 7-5 เป็นการปรับผลการศึกษาในหัวข้อที่ 7.1 (ตารางที่ 7-3) ให้อยู่ในฐานระยะเวลาใช้งาน 25 ปี และปรับสกุลเงินเป็น USD เพื่อให้สอดคล้องกับผลการศึกษาในหัวข้อที่ 7.2 รวมทั้งพิจารณาสมมติฐานราคาที่แตกต่างกันของโมดูลสื่อสารให้สอดคล้องกับราคาสมาร์ทมิเตอร์ในหัวข้อที่ 7.2 นอกจากนี้ ยังมีการตัดค่าใช้จ่ายในส่วนของ OPEX บางรายการเพื่อให้อยู่บนฐานการเปรียบเทียบเดียวกัน สรุปผลการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 7-6

ตารางที่ 7-5 การปรับผลการศึกษาในหัวข้อที่ 7.1 ให้อยู่ในฐานระยะเวลาใช้งาน 25 ปี

รายการ	หน่วย	ต้นทุน
CAPEX ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อเดือน	EUR	0.105
CAPEX ต่อจุดเชื่อมต่อ (25 ปี)	EUR	31.5
CAPEX ต่อจุดเชื่อมต่อ (25 ปี)	**USD**	**37.14**
OPEX ต่อจุดเชื่อมต่อ ต่อเดือน	EUR	0.128
OPEX ต่อจุดเชื่อมต่อ (25 ปี)	EUR	38.4
OPEX ต่อจุดเชื่อมต่อ (25 ปี)	**USD**	**45.75**

หมายเหตุ: 1 EUR = 1.179 USD

ตารางที่ 7-6 สรุปผลการเปรียบเทียบ Total Cost of Ownership ระหว่างเทคโนโลยีระบบสื่อสารต่าง ๆ

หน่วย: USD

	3G	GPRS จากการศึกษาในหัวข้อ 7.1	GPRS จากการศึกษาในหัวข้อ 7.2	CDMA450	RF Mesh	PLC
CAPEX						
โครงสร้างพื้นฐาน	-	-	-	37	7	4
สมาร์ทมิเตอร์	63	57	57	68	57	45
รวม CAPEX	**63**	**57**	**57**	**105**	**64**	**49**
OPEX						
ค่าบำรุงรักษา	-	-	-	46	99	82
ค่าบริการเชื่อมต่อ	49	187 (จากสมมติฐาน 1 EUR ต่อเดือน และต้นทุนของเงินทุน 4.25%)	49	-	-	-
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (Overhead)	13	11	11	รวมอยู่ในค่าบำรุงรักษาแล้ว	13	10
รวม OPEX	**62**	**198**	**60**	**46**	**112**	**92**
รวมทั้งหมด	**125**	**255**	**117**	**151**	**176**	**141**

จากตารางที่ 7-6 จะเห็นว่า Total Cost of Ownership ของการใช้บริการโครงข่าย GPRS จากการศึกษาในหัวข้อที่ 7.1 และหัวข้อที่ 7.2 มีความแตกต่างกันมาก อันเป็นผลมาจากสมมติฐานของค่าบริการเชื่อมต่อที่ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียกเก็บซึ่งมีความแตกต่างกันมากในแต่ละประเทศ/แต่ละกรณี รวมทั้งยังมีอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น จำนวนจุดเชื่อมต่อ, ความเร็วของข้อมูลที่ต้องการ และรูปแบบทางธุรกิจ จึงเป็นเรื่องยากที่จะศึกษา

ต้นทุนบนฐานเดียวกันได้ เช่นเดียวกันกับกรณี 3G ดังนั้น การวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับการใช้บริการโครงข่าย GSM/GPRS/3G ผู้ให้บริการไฟฟ้าจึงต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมในลักษณะเป็นแต่ละกรณีไป โดยมีการหารือข้อตกลงและรูปแบบทางธุรกิจร่วมกันกับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เจ้าของโครงข่าย อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าบริการโครงข่าย GPRS สำหรับระบบสมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเคยศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2555 พบว่ามีค่าบริการสูงกว่า 100 บาท ต่อเดือน ซึ่งสูงกว่าสมมติฐานของการศึกษาในหัวข้อ 7.1 ซึ่งกำหนดไว้ที่ 1 EUR ต่อเดือน (ประมาณ 40 บาท ต่อเดือน) ดังนั้น จึงพอสรุปในเบื้องต้นได้ว่าการใช้บริการโครงข่าย GSM/GPRS/3G สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทยถือว่าไม่คุ้มค่าในระยะยาว เว้นแต่หน่วยงานการไฟฟ้าและผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถเจรจาเพื่อบรรลุข้อตกลงที่เหมาะสมร่วมกันได้

เมื่อพิจารณากรณีที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าลงทุนสร้างโครงข่ายสื่อสารด้วยตนเอง การเลือกพัฒนาโครงข่าย CDMA450 จะมี Total Cost of Ownership ต่ำกว่าโครงข่าย RF Mesh ถึงแม้ว่าโครงข่าย CDMA450 มีต้นทุนในการลงทุนครั้งแรกสูงกว่าโครงข่าย RF Mesh แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีจำนวนอุปกรณ์สื่อสารที่จำเป็นน้อยกว่ามาก อันเป็นผลมาจากการที่โครงข่าย CDMA450 ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ทำให้สามารถส่งสัญญาณวิทยุด้วยกำลังส่งที่สูง อีกทั้งคลื่นความถี่ 450 MHz มีผลกระทบจากการสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss) ต่ำกว่าย่านความถี่ที่สูงกว่า ดังนั้น สถานีฐานของโครงข่าย CDMA450 จึงมีพื้นที่ครอบคลุมกว้างมาก เมื่อพิจารณา Total Cost of Ownership ในระยะยาวจึงมีความคุ้มค่ากว่าโครงข่าย RF Mesh นอกจากนี้ ผู้ให้บริการไฟฟ้ายังมีโอกาสลดต้นทุนในการสร้างโครงข่าย CDMA450 รวมทั้งเพิ่มรายได้จากการเปิดให้ผู้ใช้งานบุคคลที่สามใช้บริการโครงข่าย CDMA450 ตามที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในบทนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบ Total Cost of Ownership ของการเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายต่าง ๆ สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ที่ยังไม่อยู่บนฐานการเปรียบเทียบเดียวกันมากนัก เช่น เป็นกรณีศึกษาจากประเทศที่ต่างกัน ต้นทุนของอุปกรณ์จึงมีความแตกต่างกัน อีกทั้งจำนวนจุดเชื่อมต่อและความต้องการด้านระบบสื่อสารยังมีความแตกต่างกัน ดังนั้น กรณีศึกษาข้างต้นจึงมีลักษณะเป็นตัวอย่างการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางให้การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และ กสทช. ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกันต่อไป ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวจำเป็นต้องอยู่บนฐานข้อมูลของประเทศไทยและมีการพิจารณาร่วมกับผู้ใส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถประเมินต้นทุนทั้ง CAPEX และ OPEX ได้อย่างถูกต้อง

บทที่ 8
ผลการวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้ สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

จากบทที่ผ่านมาซึ่งเป็นการศึกษาการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ, การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ, การศึกษาย่านความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานของ Application ต่างๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด และการวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทยจำเป็นต้องพิจารณาบริบทอื่น ๆ ของประเทศไทย โดยเฉพาะความพร้อมใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของหน่วยงานการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย โดยทั้ง 3 หน่วยงานได้จัดทำแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของตน ซึ่งประกอบด้วยการดำเนินการระยะสั้น เช่น การพัฒนาโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด รวมไปถึงการวางแผนระยะยาวในอนาคต ในบทนี้จะเป็นการศึกษาวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้ของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง เช่น โครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของทั้ง 3 หน่วยงาน พร้อมทั้งวิเคราะห์แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของแต่ละหน่วยงานในอนาคต

8.1 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

8.1.1 การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ริเริ่มดำเนินโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ในพื้นที่ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน ซึ่งเป็นความร่วมมือกับ จ.แม่ฮ่องสอน, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.), การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นโครงการนำร่องการบูรณาการระบบผลิตไฟฟ้า เนื่องจาก จ.แม่ฮ่องสอน ไม่มีทั้งระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่และสายส่งแรงดันสูงของ กฟผ. ด้วยข้อจำกัดสภาพภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นป่าเขาและมีการสงวนพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ แหล่งพลังงานภายใน จ.แม่ฮ่องสอน มาจากโรงไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงดัน 22 kV ของ กฟภ.ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำ พลังแสงอาทิตย์ และพลังงานดีเซล นอกจากนี้ พลังงานไฟฟ้าบางส่วนถูกจ่ายมาจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดัน 115 kV และ 22 kV ของ กฟภ. ที่รับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.เชียงใหม่ ของ กฟผ. ซึ่งมีระยะทางไกลและผ่านพื้นที่ป่าซึ่งมีต้นไม้หนาแน่น ประกอบกับปัญหาสภาพภูมิอากาศและภัยธรรมชาติ จึงเป็นเหตุให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องบ่อยครั้งเนื่องจากต้นไม้ล้มพาดสายไฟ ดังนั้นปัญหาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าถือเป็นปัญหาหลักที่ควรได้รับการแก้ไขโดยเร็ว เป็นเหตุให้ กฟผ. เลือกพื้นที่ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน เป็นพื้นที่นำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ในพื้นที่ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน ของ กฟผ. แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่

1) **การพัฒนาการผลิตและกักเก็บพลังงานอย่างชาญฉลาด (Smart Energy):** เป็นการพัฒนาระบบในด้านการจัดหาไฟฟ้าโดยพึ่งพาพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่เป็นหลัก พร้อมกับเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าด้วยการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System: BESS) ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในยามฉุกเฉิน
2) **การพัฒนาการจัดการพลังงานอย่างชาญฉลาด (Smart System):** เป็นการพัฒนาระบบควบคุมและปฏิบัติการซึ่งเป็นตัวกลางที่ประสานงานและเชื่อมโยงระหว่างภาคการผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถรองรับพลังงานหมุนเวียนที่มีคุณลักษณะของการผลิตที่ไม่แน่นอน รวมทั้งรองรับมาตรการ Demand Response นอกจากนี้ ในเวลาที่ระบบไฟฟ้าในพื้นที่ อ.เมืองจ.แม่ฮ่องสอน แยกตัวออกจากระบบหลัก ระบบปฏิบัติการจะต้องสามารถควบคุมสมดุลระหว่างกำลังการผลิตกับความต้องการไฟฟ้าได้โดยอัตโนมัติ โดยไม่ส่งผลกระทบกับความถี่ทางไฟฟ้า
3) **การพัฒนาการตระหนักรู้และใช้พลังงานอย่างชาญฉลาด (Smart City):** เป็นการพัฒนาระบบเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดความตระหนักรู้ด้านการใช้พลังงานอย่างชาญฉลาด ซึ่งจะทำให้เกิดการตอบสนองในพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ทั้งนี้ บทบาทของผู้ใช้ไฟฟ้ามีส่วนช่วยอย่างมากต่อการรักษาความมั่นคงในระบบไฟฟ้าและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ รวมทั้งด้านการรักษาสิ่งแวดล้อม
4) **การพัฒนาศูนย์เรียนรู้เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Smart Learning):** เป็นการพัฒนาองค์ความรู้ของประชาชนในเรื่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากความรู้ความเข้าใจของผู้ใช้ไฟฟ้าจะช่วยส่งเสริมให้การมีส่วนร่วมของภาคประชาชนเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

จากยุทธศาสตร์ทั้ง 4 ด้านข้างต้น สามารถสรุป Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่จะนำมาใช้ในโครงการนำร่องในพื้นที่ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน รวมทั้งแผนการใช้งานระบบสื่อสารสำหรับแต่ละ Application ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 การใช้งานระบบสื่อสารในโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟผ. ที่ จ.แม่ฮ่องสอน

Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Smart Energy		
เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟาร์มและแบบบนหลังคา	โครงข่าย LAN และวงจรเช่า MPLS	-
ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	โครงข่าย LAN, วงจรเช่า MPLS และวงจรเช่า DDN	-
โรงไฟฟ้าชีวมวล	-	-
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	LAN และ วงจรเช่า MPLS	-
Smart System		
ระบบการจัดการพลังงานขนาดเล็ก (Micro EMS)	วงจรเช่า MPLS	-
การบูรณาการระบบสื่อสารและสารสนเทศ	LAN และ IP/MPLS	-

Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบทดสอบการทำงานของ Micro-EMS จากระยะไกล (Test bed at CU)	วงจรเช่า FTTX	-
Smart City		
ป้ายอัจฉริยะ (Smart Billboard)	วงจรเช่า MPLS	-
ระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (BEMS)	วงจรเช่า MPLS และวงจรเช่า FTTX	-
ยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า	โครงข่ายเซลลูลาร์ 4G	ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
ระบบ Smart Streetlight	วงจรเช่า FTTX	-
Smart Learning		
Smart Learning Center	-	-

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)*

จากตารางที่ 8.1 เห็นได้ว่าโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในพื้นที่ อ.เมืองจ.แม่ฮ่องสอน ของ กฟผ. มีการใช้คลื่นความถี่สำหรับรองรับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้าเท่านั้น ในลักษณะการส่งข้อมูลการใช้งานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ในการบริหารจัดการ ซึ่งระบบสื่อสารที่ใช้ได้แก่ โครงข่ายเซลลูลาร์ 4G ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยในโครงการนี้ กฟผ. ยังไม่มีการสร้างโครงข่ายสื่อสารของตนเองทั้งกรณีคลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed

นอกจากนี้ กฟผ. ยังมีการใช้งานระบบสื่อสารสำหรับ Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 8.2 ซึ่งทั้งหมดเป็นการใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายจึงไม่มีการใช้คลื่นความถี่

ตารางที่ 8.2 การใช้งานระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟผ. ในปัจจุบัน

Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบสื่อสารกับ SPP/VSPP	Optical Fiber, IP/MPLS, LAN และวงจรเช่า	-
Wide Area Monitoring System (WAMS)	Optical Fiber และ IP/MPLS	-
IEC 61850 Substation Automation	Optical Fiber และ IP/MPLS	-

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)*

ในส่วนของการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ ซึ่งไม่ได้เป็น Application ที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ปัจจุบัน กฟผ. มีการใช้คลื่นความถี่ดังนี้

1) ความถี่ 40 MHz: เหมืองแม่เมาะ
2) ความถี่ 147-171 MHz: การปฏิบัติการภายในโรงไฟฟ้าทั่วประเทศ และ Telemetering
3) ความถี่ 400-447 MHz: การปฏิบัติการภายในโรงไฟฟ้าทั่วประเทศ, Telemetering และการตรวจสายส่ง
4) ความถี่ 1,290 MHz: ตรวจวัดสภาพอากาศ
5) ความถี่ 9,320-9,480 MHz: เรือในเขื่อน
6) ความถี่ 2,030-2,230 MHz: การปฏิบัติการภายในโรงไฟฟ้าทั่วประเทศ และ Telemetering

8.1.2 แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟผ. ในอนาคต (ข้อมูล ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560) โดยแบ่งเป็นแผนงานระยะสั้น (< 5 ปี) และระยะยาว (> 5 ปี) พร้อมทั้งระบุความจำเป็นของการพัฒนา Application ดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการคาดการณ์แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟผ. ในอนาคต สรุปผลการศึกษาดังตารางที่ 8.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตของ กฟผ. ส่วนใหญ่ยังคงใช้พึ่งพาระบบสื่อสารแบบมีสาย เช่น Optical Fiber, IP/MPLS, LAN และวงจรเช่า โดยในส่วนของ Demand Response และระบบ RE Forecast ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย ปัจจุบัน กฟผ. ยังอยู่ระหว่างการศึกษาโครงการจึงยังไม่มีการวางแผนออกแบบระบบสื่อสาร ทั้งนี้ ในกรณีที่มีการนำร่อง Demand Response และระบบ RE Forecast กฟผ. อาจพิจารณาใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ 4G ไปก่อน เนื่องจากมีความสะดวกต่อการทดสอบนำร่องในระยะแรก

ตารางที่ 8.3 แผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟผ. ในอนาคต

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Application ในโครงข่ายระดับ NAN/FAN (Neighborhood Area Network/Field Area Network)						
Demand Response	จัดตั้งศูนย์สั่งการ DRCC และพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการสั่งการโดยตรงไปยังอาคาร	▪ มีผลการศึกษา Grid-RE Integration Assessment สำหรับประเทศไทย ▪ มีแผนงานโครงการเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของระบบทั้ง Plant Flexibility, BESS และ Demand Response ▪ มีแผนงานโครงการเพื่อเพิ่มความสามารถด้าน Stability ของระบบไฟฟ้า	-	ช่วยลดผลกระทบต่อการวางแผนการผลิตไฟฟ้าสำรอง และช่วยให้การผลิตและส่งจ่ายไฟห้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น	อยู่ในช่วงศึกษาโครงการ จึงยังไม่มีการวางแผนออกแบบระบบสื่อสาร	อยู่ในช่วงศึกษาโครงการ จึงยังไม่มีการวางแผนออกแบบระบบสื่อสาร
ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับกริด)	เพื่อรองรับผลกระทบจากพลังงานหมุนเวียน	แผนการดำเนินงานติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ จ.ชัยภูมิ และ จ.ลพบุรี	-	ช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า และรองรับการจ่ายไฟของพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของ กฟผ.	Optical Fiber และ IP/MPLS	-

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบ RE Forecast	เพื่อมีศูนย์พยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของประเทศ	▪ พัฒนา/จัดหาแบบจำลองการพยากรณ์ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังลมและแสงอาทิตย์ หรือจัดซื้อผลการพยากรณ์และทดสอบแบบจำลองการพยากรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวในโรงไฟฟ้านำร่อง ▪ ขยายการพยากรณ์สู่โรงไฟฟ้าพลังลมหรือแสงอาทิตย์	-	เป็นศูนย์พยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของประเทศเพื่อรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียน	อยู่ในช่วงศึกษาโครงการ จึงยังไม่มีการวางแผนออกแบบระบบสื่อสาร	อยู่ในช่วงศึกษาโครงการ จึงยังไม่มีการวางแผนออกแบบระบบสื่อสาร
ระบบสื่อสารกับ SPP	การติดต่อสื่อสารระหว่าง กฟผ. กับ SPP เป็นช่องทางในการส่งข้อมูลเกี่ยวกับระบบควบคุมป้องกัน, Monitoring และ Metering ของระบบผลิตและสั่งจ่ายกระแสไฟฟ้ารวมถึงการสื่อสารด้านการบริหารงาน	▪ SPP ที่ลงนามสัญญากับ กฟผ. แล้ว แต่ยังไม่เริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้า กับ กฟผ. จำนวน 37 ราย ▪ SPP ที่รอลงนามสัญญากับ กฟผ. จำนวน 4 ราย	-	เป็นช่องทางในการส่งข้อมูลระบบควบคุมป้องกัน, Monitoring และ Metering ของระบบผลิตและสั่งจ่ายกระแสไฟฟ้า รวมถึงการสื่อสารด้านการบริหารงาน	Optical Fiber, IP/MPLS, LAN และวงจรเช่า	-

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Application ในโครงข่ายระดับ WAN (Wide Area Network)						
Wide Area Monitoring System (WAMS)	เพื่อวัดและเก็บข้อมูลของระบบไฟฟ้า และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลระบบไฟฟ้า	ขยาย WAMS ให้ครอบคลุมสถานีไฟฟ้าของ กฟผ. มากขึ้น	-	ช่วยในการวางแผนระบบไฟฟ้า การปฏิบัติการ และการป้องกันระบบไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น	Optical Fiber และ IP/MPLS	-
Wide Area Protection and Control (WAPC)	เพื่อวัดและเก็บข้อมูลของระบบไฟฟ้า และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลระบบไฟฟ้า	พัฒนา WAMS เป็น WAPC	-	ช่วยในการวางแผนระบบไฟฟ้า การ ปฏิบัติการ และการป้องกันระบบไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น	Optical Fiber และ IP/MPLS	-
Application ในโครงข่ายของการไฟฟ้า						
Substation Automation	เพื่อมีสถานีไฟฟ้าที่เป็น IEC 61850 Substation Automation	สร้างสถานีไฟฟ้าที่เป็น IEC 61850 Substation Automation เพิ่มขึ้น	-	เป็นต้นแบบในการทดสอบการทำงานของ IEC 61850 Substation Automation และขยายผลเพื่อสร้าง Substation Automation ใช้งานอนาคต	Optical Fiber และ IP/MPLS	-

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)*

8.1.3 แนวคิดการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟผ.

ปัจจุบัน กฟผ. ยังอยู่ระหว่างศึกษาความต้องการด้านระบบสื่อสารเพื่อรองรับ Application ต่าง ๆ ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟผ. ทั่วประเทศ รวมทั้ง Application อื่นๆ ที่มีการใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed เพื่อนำมาประเมินความต้องการใช้คลื่นความถี่ ซึ่งจากการประเมินเบื้องต้น กฟผ. คาดว่าจำเป็นต้องมีการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เนื่องจากคลื่นความถี่แบบ Unlicensed มีผู้ใช้งานจำนวนมาก ส่งผลให้แบนด์วิดท์อาจไม่เพียงพอต่อการใช้งานเพื่อรองรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด อีกทั้งยังมีข้อกังวลในด้านความเชื่อถือได้ (Reliability), ความพร้อมใช้งาน (Availability) และความปลอดภัย (Security) ของคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่งอาจไม่เพียงพอและเหมาะสมต่อการรับ-ส่งข้อมูลปฏิบัติการด้านการผลิตและสั่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็น Application ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ร่วมกับ Application ทั่วไปอื่น ๆ

ทั้งนี้ กฟผ. มีความเห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดย กฟผ. มีความจำเป็นต้องเตรียมระบบสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสำหรับงาน 2 ส่วนหลักดังนี้

1) งานภาคปฏิบัติการ (Operation Side) เพื่อรองรับการสั่งจ่ายกระแสไฟฟ้าระหว่างศูนย์ควบคุมโรงไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้า, การรับ-ส่งข้อมูลของ Microgrid, การรับ-ส่งข้อมูลของระบบ Micro-Energy Management System (Micro-EMS) และระบบ Distribution Management System (DMS) ซึ่งเป็นงานภาคปฏิบัติการที่ตั้งอยู่ในสถานที่ห่างไกล ไม่อยู่ในแนวข่ายสาย Optical Ground Wire (OPGW) หรืออยู่ในพื้นที่ไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้
2) งานภาคผลิต (Supply Side) เพื่อรองรับการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนไปยังศูนย์ควบคุมโรงไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งในกรณีนี้ความจำเป็นใช้งานระบบสื่อสารไร้สายจะรวมถึงการรับ-ส่งข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ตั้งอยู่ในสถานที่ห่างไกล ไม่อยู่ในแนวข่ายสาย OPGW หรืออยู่ในพื้นที่ไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้ รวมถึงการเตรียมความพร้อมระบบสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับ Application รูปแบบใหม่ ๆ ของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้

เนื่องจากงานทั้ง 2 ส่วนเป็นงานที่มีความสำคัญต่อความมั่นคงของระบบโครงข่ายไฟฟ้าอย่างมาก จึงต้องการระบบสื่อสารที่มีความเชื่อถือได้ ความพร้อมใช้งาน และความปลอดภัยสูง รวมทั้งเป็นระบบสื่อสารที่สามารถเข้าถึงพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ ได้ดี (Accessibility) โดยเฉพาะพื้นที่ห่างไกล

จากความต้องการใช้งานดังกล่าว กฟผ. มีความประสงค์เพื่อขอให้ กสทช. จัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ชนิด Non-line-of-sight ที่เหมาะสม สำหรับการสื่อสารในกิจการไฟฟ้าและระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดตามที่กล่าวถึงข้างต้น นอกจากนี้ กฟผ. ยังอยู่ระหว่างการศึกษาเพื่อใช้งานย่านความถี่ 5 GHz ทั้งแบบ Licensed และ Unlicensed สำหรับสนับสนุนกิจการภายใน กฟผ. ซึ่งรวมถึงงานด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตด้วย ดังนั้น กฟผ. จึงขอให้กสทช. พิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ในย่านความถี่ 5 GHz เช่นกัน สำหรับรองรับการใช้งานในภารกิจด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตต่อไป

กฟผ. มีข้อคิดเห็นเพิ่มเติมว่าอุปกรณ์ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่ใช้งานระบบสื่อสารไร้สายจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต รวมไปถึงอุปกรณ์สำหรับงานภาคปฏิบัติการและงานภาคผลิตดังที่กล่าวข้างต้น นอกจากนี้ อุปกรณ์ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกี่ยวข้องผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น ระบบ AMI และ Demand Response อาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยจำนวนมาก ดังนั้น กสทช. ควรมีความชัดเจนในการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ที่มีความเหมาะสมต่อเทคโนโลยีในปัจจุบันและอนาคต และมีแบนด์วิดท์เพียงพอต่อความต้องการใช้งานในกิจการไฟฟ้าโดยเฉพาะ เพื่อให้หน่วยงานการไฟฟ้าสามารถควบคุม จัดสรร และจัดการด้านคุณภาพ, ความเชื่อถือได้, ความพร้อมใช้งาน และความปลอดภัยของระบบสื่อสารให้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

8.2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

8.2.1 การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีแผนนำร่องพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี ได้แก่ การพัฒนาระบบ AMI (Advanced Metering Infrastructure), ระบบแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องอัจฉริยะแบบเคลื่อนที่ (Mobile Workforce Management System: MWMS), ระบบ Substation Automation และระบบ IT Integration System โดยมีขอบเขตงานหลัก ดังนี้

1) การรื้อถอนมิเตอร์เดิม และติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. ทุกรายในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี รวมทั้งติดตั้งระบบ AMI Head-End และระบบบริหารจัดการข้อมูลการอ่านมิเตอร์ (Meter Data Management System: MDMS)
2) การติดตั้งระบบแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องอัจฉริยะแบบเคลื่อนที่ (MWMS) ณ กฟภ. สำนักงานใหญ่หรือสถานที่อื่น ๆ ที่กำหนด
3) การติดตั้งระบบ Substation Automation ณ สถานีไฟฟ้าที่กำหนด
4) การติดตั้งระบบ IT Integration System เพื่อบูรณาการ Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเข้ากับระบบสารสนเทศของ กฟภ.

การใช้งานระบบสื่อสารในโครงการนำร่องดังกล่าวจะอยู่ที่ระบบ AMI เป็นหลัก โดยเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ กฟภ. พิจารณาเลือกใช้สำหรับระบบ AMI ในกรณีโครงข่าย Last Mile (หรือโครงข่าย NAN/FAN) ได้แก่ ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Radio Frequency (RF), ระบบสื่อสาร Power Line Communication (PLC) และโครงข่ายเซลลูลาร์ ส่วนกรณีโครงข่าย Backhaul (หรือโครงข่าย WAN) เทคโนโลยีที่พิจารณา ได้แก่ ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF, โครงข่ายเซลลูลาร์, โครงข่าย Optical Fiber และวงจรเช่าบรอดแบนด์ (Broadband Leased Line) ทั้งนี้ สำหรับระบบแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องอัจฉริยะแบบเคลื่อนที่ (MWMS) กฟภ. ไม่ได้กำหนดเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ต้องการใช้งาน โดยเปิดโอกาสให้บริษัทผู้เสนอราคาเป็นผู้เสนอเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการใช้งานน่าจะเป็นโครงข่ายเซลลูลาร์ ส่วนกรณีระบบ Substation Automation จะเลือกใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าการใช้คลื่นความถี่ในโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. ในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี ได้แก่ ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF และโครงข่ายเซลลูลาร์

สรุปแผนการใช้งานระบบสื่อสารในโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. ในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี ดังตารางที่ 8.4

ตารางที่ 8.4 การใช้งานระบบสื่อสารในโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. ที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี

Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบสมาร์ทมิเตอร์ (AMI)	RF, PLC และโครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G	▪ กรณี RF: 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.5 GHz และ 5 GHz ▪ ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
ระบบแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องอัจฉริยะ	โครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G	ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
Substation Automation	Optical Fiber	-
IT Integration System	-	-

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)*

กฟภ. มีข้อกำหนดสำหรับระบบสื่อสารแบบ RF และโครงข่ายเซลลูลาร์ เพื่อรองรับระบบ AMI ดังนี้

- **ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF**
  1) โครงข่าย RF ต้องทำงานบนย่านความถี่ที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตภายใต้ข้อบังคับของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) และอุปกรณ์สื่อสารต้องมีกำลังส่งสูงสุดเป็นไปตามมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ของประเทศไทย โดยที่ กฟภ. ยอมรับการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ได้ หากบริษัทผู้เสนอราคาเป็นผู้รับผิดชอบการดำเนินการและค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการขอใช้คลื่นความถี่
  2) โครงข่าย RF ต้องสามารถรองรับทุกฟังก์ชันของระบบ AMI ที่กำหนด และรองรับสมรรถนะการทำงานของสมาร์ทมิเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยี RF และต้องพิสูจน์ได้ว่าสามารถรองรับการขยายขนาดระบบได้ถึง 1 ล้านจุดปลายทาง (Endpoint)
  3) โครงข่าย RF ต้องรองรับการสื่อสารแบบสองทาง
  4) โครงข่าย RF ต้องสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมภายใต้สภาวะแวดล้อมในเขตเมืองที่อาจมีสัญญาณรบกวนสูง
  5) ในกรณีที่เป็นการสร้างโครงข่ายแบบ Mesh จำนวน Hop สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ต้องได้รับการอนุมัติโดย กฟภ.
  6) โครงข่าย RF ต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดระบบ AMI ของ กฟภ. ในด้านฟังก์ชันเฉพาะ, ความเร็ว, ความหน่วงของสัญญาณ (Latency), พื้นที่ครอบคลุม และข้อกำหนดการเชื่อมต่อ
  7) เทคโนโลยีโครงข่ายต้องอยู่บนมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลกที่น่าเชื่อถือเช่น IEC, IEEE (เช่น IEEE 802.15.4g และ IEEE 802.15.4e), Zigbee, Wi-SUN Alliance และ 3GPP เป็นต้น โดย กฟภ. ไม่พิจารณาเทคโนโลยีที่เป็นกรรมสิทธิ์เฉพาะ (Proprietary)

8) อัตราข้อมูล Effective Data Rate ต่ำสุด ต้องสูงกว่า 100 kbps ใน Normal Mode และ 9.6 kbps ใน Stressed Mode (สภาวะที่ระบบเกิดปัญหาตามเงื่อนไขที่ กฟภ. กำหนด)
9) อุปกรณ์ Data Concentrator Unit (DCU) และ/หรือ Access Point (AP) ต้องรองรับสมาร์ทมิเตอร์ได้อย่างต่ำ 1,000 เครื่อง ต่อ Cluster
10) ระบบสื่อสารและอุปกรณ์ต้องรองรับเทคโนโลยี IP-based

เมื่อพิจารณาข้อกำหนดข้างต้นจะเห็นว่ากรณีการใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF นั้น กฟภ. พิจารณาย่านความถี่แบบ Unlicensed จำนวน 4 ย่าน ได้แก่ 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.5 GHz และ 5 GHz โดยต้องเป็นเทคโนโลยีที่อยู่บนมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลกที่น่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม ย่าน 433 MHz ยังไม่มีเทคโนโลยีบนมาตรฐานแบบเปิดที่แพร่หลาย นอกจากนี้ กฟภ. ยังเปิดโอกาสในการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในกรณีที่บริษัทผู้เสนอราคาเป็นผู้รับผิดชอบการดำเนินการและค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการขอใช้คลื่นความถี่

- **โครงข่ายเซลลูลาร์**: กฟภ. พิจารณาใช้งานเทคโนโลยี 3G หรือเทคโนโลยีที่ใหม่กว่า สำหรับการสื่อสารไปยังพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึงและพื้นที่ห่างไกล

นอกจากนี้ กฟภ. ยังมีโครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid) ที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน และโครงการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนบนพื้นที่เกาะกูด เกาะหมาก จ.ตราด ซึ่ง Application ที่นำมาใช้งานใน 2 โครงการดังกล่าวจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ได้แก่ ระบบบริหารจัดการ Microgrid โดยใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร ดังนั้น ทั้ง 2 โครงการนี้จึงไม่มีความต้องการใช้คลื่นความถี่ อย่างไรก็ตาม แผนการใช้งานระบบสื่อสารของทั้ง 2 โครงการดังกล่าวยังอยู่ระหว่างการพิจารณาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม

ปัจจุบัน กฟภ. ยังมีการใช้งานระบบสื่อสารสำหรับ Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 การใช้งานระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. ในปัจจุบัน

Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบ AMR สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่	โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS / 3G	ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
SCADA	Optical Fiber และ RF	กรณี RF: 450-470 MHz และ 470-510 MHz (Licensed Band)
Outage Management System (OMS)	Optical Fiber (จาก Server ของ Electric Office (EO) ไปยัง Server ของ กฟภ. สำนักงานใหญ่)	-

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)*

8.2.2 แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. ในอนาคต (ข้อมูล ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560) โดยแบ่งเป็นแผนงานระยะสั้น (< 5 ปี) และระยะยาว (> 5 ปี) พร้อมทั้งระบุความจำเป็นของการพัฒนา Application ดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการคาดการณ์แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. ในอนาคต สรุปผลการศึกษาดังตารางที่ 8.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตของ กฟภ. มีความต้องการใช้คลื่นความถี่จำนวนมาก โดยเฉพาะเพื่อรองรับระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI ซึ่ง กฟภ. มีแผนขยายระบบให้ครอบคลุมทั่วประเทศในอนาคต รวมทั้งยังมีแผนในการนำมาตรการ Demand Response มาใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. ทั่วประเทศเช่นกัน ดังนั้น โครงข่ายสื่อสารไร้สายที่เชื่อมโยงกับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. จึงต้องมีความเชื่อถือได้ ความพร้อมใช้งาน และความปลอดภัยที่สูงมาก โดยเฉพาะเพื่อรองรับการสั่งการ Demand Response ให้เกิดประสิทธิภาพ

ตารางที่ 8.6 แผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. ในอนาคต

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Application ในโครงข่ายของผู้ใช้ไฟฟ้า HAN/BAN/FAN (Home/Building/Factory Area Network)						
HEMS/BEMS/FEMS	เพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และคำสั่งควบคุมภายในอาคารและบ้านอยู่อาศัย	พื้นที่ กฟฟ.พัทยา และพื้นที่นำร่องอื่นๆ	▪ ขยายผลไปยัง 10 จังหวัดใหญ่ ▪ ครอบคลุมการใช้งานทั่วประเทศ	เพื่อรองรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารและบ้านอยู่อาศัย	Bluetooth, WiFi, LoRA, PLC และ ZigBee	▪ 433 MHz ▪ 920-925 MHz ▪ 2.4-2.5 GHz
Application ในโครงข่ายระดับ NAN/FAN (Neighborhood Area Network/Field Area Network)						
สมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI	▪ อ่านข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากสมาร์ทมิเตอร์ ▪ รองรับบริการเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น การจ่ายเงินออนไลน์ และการตรวจสอบค่าบริการ/การใช้ไฟฟ้า	ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี (โครงการนำร่อง)	เทศบาลเมืองใหญ่ ตามแผนพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ของภาครัฐทั้ง 4 ภูมิภาค ตามแผนพัฒนาระบบไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12	ช่วยสร้างความเชื่อมั่นในการอ่านหน่วยเพื่อเรียกเก็บค่าไฟฟ้า โดยผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถตรวจสอบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของตนได้ตลอดเวลา รวมทั้งอำนวยความสะดวกต่อการให้บริการต่าง ๆ ในอนาคต	RF, PLC และโครงข่ายเซลลูลาร์	▪ 433 MHz ▪ 920-925 MHz ▪ 2.4-2.5 GHz
Demand Response	เพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้า, คำสั่งการลดการใช้ไฟฟ้า และคำสั่งควบคุมภายในอาคารและบ้านอยู่อาศัย	พื้นที่ กฟฟ.พัทยา และพื้นที่นำร่องอื่นๆ	▪ ขยายผลไปยัง 10 จังหวัดใหญ่ ▪ ครอบคลุมการใช้งานทั่วประเทศ	เพื่อรองรับการสื่อสารระหว่าง Load Aggregator กับผู้ใช้ไฟฟ้า และระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารและบ้านอยู่อาศัย	Bluetooth, WiFi, LoRA, PLC, ZigBee และ Z-Wave	▪ 433 MHz ▪ 908.42 MHz ▪ 920-925 MHz ▪ 2.4-2.5 GHz

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Distribution Automation	▪ จำกัดพื้นที่ไฟฟ้าขัดข้องในวงแคบ ▪ ควบคุมสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าให้รวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น	แผนพัฒนาระบบไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12	-	เพื่อช่วยในการจำกัดพื้นที่ที่เกิดผลกระทบเมื่อไฟฟ้าขัดข้อง และสั่งการอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ	Optical Fiber	-
ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า)	เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีไฟฟ้าใช้อย่างสม่ำเสมอ สามารถบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้	โครงการเชื่อมโยงระบบกักเก็บพลังงาน และอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย Hive Platform ของ กฟภ.	▪ ขยายผลไปยัง 10 จังหวัดใหญ่ ▪ ครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 12 เขตของ กฟภ.	ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารการใช้ไฟฟ้าของตนเองเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า รวมทั้งได้รับบริการไฟฟ้าที่มีคุณภาพมากขึ้น	โครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G	ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับกริด)	▪ ช่วยลด Peak Load ▪ เพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพมากขึ้น	▪ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ▪ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน	▪ ขยายผลไปสู่พื้นที่ห่างไกลอื่น ๆ ▪ ครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 12 เขตของ กฟภ.	เป็นการบริหารจัดการเพื่อนำพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้ไฟฟ้า	Optical Fiber	-
Microgrid	▪ สามารถบริหารจัดการเพื่อให้มีไฟฟ้าใช้โดยไม่จำเป็นต้องรอกริดหลัก ▪ ลดการใช้พลังงานฟอสซิล	▪ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ▪ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน	▪ ขยายผลไปสู่พื้นที่ห่างไกลอื่นๆ ▪ ครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 12 เขตของ กฟภ.	▪ เพื่อรองรับความต้องการไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล ▪ ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหมุนเวียนจำนวนมาก จึงควรนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด	Optical Fiber	-

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
				▪ ผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วประเทศต้องการบริการไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพสูง และมีประสิทธิภาพ		
ระบบ RE Forecast	เพื่อจัดทำระบบพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน	อยู่ระหว่างจัดทำแผนการศึกษาการพยากรณ์ในระดับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้ง Solar Rooftop ในพื้นที่เศรษฐกิจพิเศษ	-	เพื่อพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวน เพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียน	โครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G	ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
การบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้า	เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการสถานีอัดประจุไฟฟ้าให้สามารถควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม	พัฒนาระบบบริหารจัดการสถานีอัดประจุไฟฟ้าจำนวน 11 แห่ง	-	หากมีการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากในอนาคต อาจเกิดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าได้ จึงจำเป็นต้องมีระบบบริหารจัดการเพื่อช่วยลดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า	โครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G	ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบสื่อสารกับ SPP/VSPP	ควบคุม และตรวจสอบคุณภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้า	เป็นข้อกำหนดตาม Grid Code ที่ต้องเชื่อมโยง SPP/VSPP เข้ากับระบบ SCADA/DMS ของ กฟภ.		▪ SPP/VSPP มีจำนวนมากทั่วประเทศ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อโครงข่ายไฟฟ้าหลักของ กฟภ. ▪ เพื่อให้การควบคุมดูแลโครงข่ายไฟฟ้าหลักเป็นไปอย่างมีเสถียรภาพ และไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการระบบโครงข่ายอื่น จึงจำเป็นต้องมีข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ SPP/VSPP	Optical Fiber, RF และโครงข่ายเซลลูลาร์	กรณี RF: 450-470 MHz และ 470-510 MHz
Application ในโครงข่ายระดับ WAN (Wide Area Network)						
Wide Area Monitoring System (WAMS) และ **Wide Area Protection and Control (WAPC)**	เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Terminal ภายในสถานีไฟฟ้า และส่งข้อมูลสถานะของอุปกรณ์ไปยังระบบ Asset Management	โครงการนำร่องในพื้นที่ อ.เมือง จ.ภูเก็ต	-	เพิ่มประสิทธิภาพสำหรับงานควบคุมสั่งการจ่ายไฟของโครงข่ายไฟฟ้าของ กฟภ.	Optical Fiber	-
Application ในโครงข่ายของการไฟฟ้า						
Substation Automation	▪ เพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารข้อมูลแบบ Real Time	พื้นที่ กฟฟ.พัทยา และพื้นที่นำร่องอื่น ๆ	-	เป็นการพัฒนาระบบควบคุมภายในสถานีไฟฟ้าให้มีความทันสมัย และสามารถ	Optical Fiber	-

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
	▪ เพื่อนำข้อมูลดิจิทัลในสถานีไฟฟ้าไปวิเคราะห์และประมวลผล เช่น การเกิด Fault และความผิดปกติของอุปกรณ์ ▪ เพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นคงให้กับระบบจำหน่าย และเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อกับแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก			ตรวจสอบสถานะและควบคุมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งโดยบุคคลและโดยระบบอัตโนมัติ		

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)*

8.2.3 แนวคิดการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ.

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. มุ่งเน้นไปที่การนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาใช้บริหารจัดการเพื่อให้โครงข่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ มั่นคง เชื่อถือได้ และมีคุณภาพไฟฟ้าได้ตามมาตรฐานสากล รวมถึงรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation: DG) และรองรับการให้บริการ Application ต่าง ๆ ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านระบบ AMI รวมไปถึงรองรับมาตรการ Demand Response เพื่อช่วยลดภาระในการขยายกำลังผลิตและระบบโครงข่ายไฟฟ้าในอนาคต

ในขั้นแรก กฟภ. มีการประชุมหารือระหว่างเจ้าหน้าที่สำนักงาน กสทช. และคณะทำงานระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง (กฟภ. กฟน. และ กฟผ.) โดยมีข้อสรุปในเบื้องต้นว่าย่านความถี่ 915-920 MHz ซึ่งเป็น Guard Band ระหว่างย่านความถี่สำหรับกิจการโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับย่านความถี่ RFID (920-925 MHz) เป็นย่านความถี่ที่ยังว่างอยู่ และอาจขอจัดสรรเพื่อใช้งานรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแล้วมีความเป็นไปได้ยากที่ กสทช. จะอนุญาตให้ใช้งานย่านความถี่นี้ เนื่องจากมีข้อกังวลว่าอาจเกิดการรบกวน (Interference) กับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งได้ใบอนุญาตในช่วงย่านความถี่ 905-915 MHz และย่านความถี่สาธารณะสำหรับ RFID (920-925 MHz)

หลังจากนั้น กฟภ. ได้หารือกับสำนักงาน กสทช. เกี่ยวกับการขออนุมัติการใช้อุปกรณ์สื่อสารในย่านความถี่คมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต (Unlicensed Band) เพื่อรองรับโครงการสมาร์ทกริดของ กฟภ. ประกอบด้วยย่าน 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.5 GHz และ 5 GHz ซึ่งจากข้อกำหนดของ กสทช. เกี่ยวกับเครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต กฟภ. สามารถใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวได้ทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ในประกาศ กสทช. ทั้งนี้ กฟภ. ได้ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ความถี่ที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยี RF ในการพัฒนาโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี โดยพิจารณาจากเทคโนโลยี RF ที่นิยมใช้เป็นระบบสื่อสาร Last Mile ของระบบ AMI ในต่างประเทศ และวิเคราะห์ความเหมาะสมต่อการรองรับ Effective Data Rate สำหรับระบบ AMI ตามสมมติฐานโครงสร้างของโครงข่าย RF Mesh ที่กำหนด คือ ต้องรองรับ Effective Data Rate ต่ำสุด 100 kbps ใน Normal Mode และ 9.6 kbps ใน Stressed Mode ซึ่งผลการศึกษาพบว่าย่านความถี่ 920-925 MHz มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับระบบ AMI ในการพัฒนาโครงการนำร่องของ กฟภ. ทั้งในด้านอัตราการส่งข้อมูลและระยะทางสื่อสาร

อย่างไรก็ตาม กฟภ. ยังคงเปิดโอกาสการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ทั้งในย่าน 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.5 GHz และ 5 GHz โดยต้องเป็นเทคโนโลยีที่อยู่บนมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลกที่น่าเชื่อถือ นอกจากนี้ กฟภ. ยังเปิดโอกาสในการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในกรณีที่บริษัทผู้เสนอราคาเป็นผู้รับผิดชอบการดำเนินการและค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการขอใช้คลื่นความถี่ เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับหน่วยงานการไฟฟ้าในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ทั้งนี้ สำนักงาน กสทช. มีความเห็นในขั้นต้นว่าจะไม่กำหนดย่านความถี่เฉพาะสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด แต่จะเปิดให้สามารถเลือกใช้คลื่นความถี่ได้หลายทางเลือก โดยการตัดสินใจใช้งานย่านความถี่จะขึ้นกับดุลยพินิจของหน่วยงานการไฟฟ้าที่เป็นผู้ใช้งาน ซึ่งจากการหารือภายหลังในระดับผู้บริหารของ กฟภ. และสำนักงาน

กสทช. มีข้อสรุปว่าให้ขอจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในนามของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง โดยมีประเด็นข้อสังเกตและข้อแนะนำจากเจ้าหน้าที่สำนักงาน กสทช. ดังนี้

1) ย่านความถี่ 430-450 MHz (Licensed Band) เป็นย่านที่มีความเป็นไปได้ที่จะจัดสรรสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
2) การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ควรจัดทำข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อชี้แจงให้เห็นถึงเหตุผลความจำเป็นในการขอรับการจัดสรรคลื่นความถี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นด้านความมั่นคงของโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของประเทศ
3) ควรจัดทำข้อมูลเพิ่มเติมในทางเทคนิค เพื่อแสดงให้เห็นว่าแบนด์วิดท์ที่ขอรับการจัดสรรเพียงพอกับการใช้งานในระยะยาว สามารถดำเนินการได้จริง และมีผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ย่านความถี่ดังกล่าวในอุตสาหกรรมด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

การพิจารณาความต้องการด้านระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด กฟภ. ได้แบ่งความสำคัญของข้อมูลในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) Non-critical Infrastructure: ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยที่ กฟภ. ใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อออกใบแจ้งหนี้, วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า และพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต เป็นต้น ซึ่งสำหรับข้อมูลที่กล่าวมานั้น คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เพียงพอต่อการรองรับการใช้งานในปัจจุบัน
2) Critical Infrastructure: ได้แก่ ข้อมูลที่ใช้ในงานระบบควบคุมสั่งการโครงข่ายไฟฟ้า ถือเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าของประเทศไทย ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จึงมีความเหมาะสมมากกว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed แต่เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด กฟภ. จึงวางแผนใช้ระบบสื่อสารแบบมีสาย เช่น Optical Fiber สำหรับรองรับ Applcation ในส่วนนี้

ข้อกังวลหลักของ กฟภ. เกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด คือ ประเด็นด้านความเชื่อถือได้และความพร้อมใช้งานของระบบสื่อสาร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ความเชื่อถือได้ (Reliability): การสื่อสารในงานระบบควบคุมสั่งการระบบโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งมีผลกระทบกับระบบไฟฟ้าของประเทศ การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มีโอกาสถูกรบกวนได้ง่ายจากอุปกรณ์วิทยุคมนาคมอื่น ๆ เช่น สัญญาณ WiFi และ Bluetooth เป็นต้น ทำให้ระบบอาจทำงานไม่ได้เต็มประสิทธิภาพหรือเกิดความผิดพลาด ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าโดยรวม ทั้งนี้ คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เป็นคลื่นความถี่ที่ไม่ได้รับความปกป้องการใช้งาน ดังนั้น เมื่อเกิดการรบกวนจากอุปกรณ์วิทยุคมนาคมอื่น ๆ จะไม่สามารถดำเนินการร้องเรียนใด ๆ ได้
- ความพร้อมใช้งาน (Availability): เนื่องจากคลื่นความถี่แบบ Unlicensed เป็นการใช้งานร่วมกันระหว่างหลากหลายเทคโนโลยี จึงมีข้อกำหนดให้บางย่านความถี่ต้องมีการจำกัดการครอบครองช่องสัญญาณ ดังนั้น หาก กฟภ. จำเป็นต้องส่งข้อมูลจำนวนมากในอนาคต การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามระเบียบ กสทช. อาจไม่เพียงพอต่อการใช้งาน

กฟภ. มีความเห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อสารมาบริหารจัดการเพื่อให้โครงข่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ มั่นคง เชื่อถือได้ และมีคุณภาพไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล สำหรับระบบ AMI และระบบอื่นๆ เช่น Demand Response, Home Energy Management System (HEMS), Building Energy Management System (BEMS) และ Factory Energy Management System (FEMS) จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารในช่วง Last Mile เพื่อเชื่อมโยงการสื่อสารสำหรับรองรับการให้บริการต่าง ๆ ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลก และยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินงานด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังนั้น การมีคลื่นความถี่เฉพาะสำหรับรองรับงานด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในช่วง Last Mile ในลักษณะคลื่นความถี่แบบ Licensed จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนนโยบายการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานของหน่วยงานภาครัฐ และทำให้ กฟภ. สามารถดำเนินการตามวิธีการแบบปลอดภัยในระดับเคร่งครัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเกี่ยวข้องกับงานด้านการควบคุมและการสั่งการระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็น Critical Infrastructure ที่มีผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าและความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ

สำหรับการพิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะยาว กฟภ. มีความเห็นในทิศทางการขอจัดสรรคลื่นความถี่ในนามของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง โดยย่านความถี่ 430-450 MHz ถือว่ามีความเหมาะสมในการขอจัดสรรเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากเป็นย่านความถี่แบบ Licensed จึงช่วยป้องกันปัญหาการรบกวนกับสัญญาณอื่น ๆ อีกทั้งคุณลักษณะของย่านความถี่ 430-450 MHz สามารถรองรับการสื่อสารได้ในระยะทางไกล นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ย่าน 380-510 MHz วันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ที่กำหนดให้โยกย้ายการใช้งานคลื่นความถี่ 470-510 MHz สำหรับเตรียมรองรับการใช้งานกิจการโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ซึ่งจากแผนภูมิการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ในประกาศดังกล่าวกำหนดให้ผู้ใช้งานย่านความถี่ 470-510 MHz ย้ายมาใช้งานย่านความถี่ 430-450 MHz ทั้งนี้ ปัจจุบัน กฟภ. ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ย่าน 450-470 MHz และ 470-510 MHz สำหรับงานสั่งการแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้อง และงานควบคุมระบบอุปกรณ์สั่งการจ่ายไฟอัตโนมัติ (SCADA) ซึ่งถือเป็น Application หนึ่งของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งหาก กฟภ. ดำเนินการคืนความถี่ตามหลักเกณฑ์การปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ของ กสทช. จะทำให้คลื่นความถี่ที่เหลืออยู่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้น กฟภ. จึงมีความประสงค์ขอจัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน 430-450 MHz ดังนี้

- ขอจัดสรรความถี่ CH1 - CH96 (440.0125/445.0125 MHz ถึง 441.2000/446.2000 MHz) ตามแผนความถี่วิทยุกิจการเคลื่อนที่ทางบกและกิจการประจำที่ ย่านความถี่ 440-450 MHz รวมขนาดแบนด์วิดท์ 2.4 MHz สำหรับการใช้งานสั่งการแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้อง
- ขอจัดสรรความถี่ CH200 - CH264 (442.5000/447.5000 MHz ถึง 443.3000/448.3000 MHz) ตามแผนความถี่วิทยุกิจการเคลื่อนที่ทางบกและกิจการประจำที่ ย่านความถี่ 440-450 MHz รวมขนาดแบนด์วิดท์ 1.6 MHz สำหรับการใช้งานควบคุมระบบอุปกรณ์สั่งการจ่ายไฟอัตโนมัติ (SCADA)

ทั้งนี้ การขอจัดสรรความถี่ดังกล่าวเป็นเพียงการรองรับการใช้งานเดิมของงานสั่งการแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้อง และงานควบคุมระบบอุปกรณ์สั่งการจ่ายไฟอัตโนมัติ (SCADA) ยังไม่รวมถึงการรองรับแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟภ. ในอนาคต ซึ่งยังไม่ทราบปริมาณความต้องการใช้งานที่ชัดเจน

สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรก กฟภ. สามารถใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ไปก่อนได้ เนื่องจาก Application ที่นำมาใช้งานในระยะแรกจะเน้นไปที่การพัฒนาระบบ AMI ซึ่งมีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่ไม่สูงมากนัก อย่างไรก็ตาม เพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตซึ่งจำเป็นต้องรองรับ Application ที่เกี่ยวข้องกับความเชื่อถือได้และความมั่นคงของระบบโครงข่ายไฟฟ้า กสทช. ควรพิจารณาจัดสรรย่านความถี่แบบ Licensed เพื่อรองรับการใช้งานดังกล่าว

8.3 การไฟฟ้านครหลวง

8.3.1 การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรกของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) มีแผนในการนำร่องพัฒนาระบบ AMI (Advanced Metering Infrastructure) ซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าตลอดจนพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่น ๆ รวมทั้งช่วยในการคำนวณค่าไฟฟ้าและออกบิลเรียกชำระเงินให้มีความถูกต้องและรวดเร็ว ขอบเขตการพัฒนาโครงการนำร่องระบบ AMI ของ กฟน. แบ่งได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ผู้ใช้ไฟฟ้าภาคบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กในบริเวณพื้นที่นำร่องใจกลางกรุงเทพมหานคร จำนวนประมาณ 10,910 มิเตอร์
- ส่วนที่ 2 ผู้ใช้ไฟฟ้าภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมภายในเขตบริการของ กฟน. ทั้ง 18 เขต ภายใน 3 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จ.นนทบุรี และ จ.สมุทรปราการ จำนวนประมาณ 20,629 มิเตอร์
- ส่วนที่ 3 ผู้ใช้ไฟฟ้าภาคบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กในเขตบริการของ กฟน. จำนวน 6 เขต จำนวนประมาณ 16,042 มิเตอร์
- ส่วนที่ 4 การติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์สำหรับระบบ Transformer Load Monitoring ในบริเวณเขตคลองเตย จำนวนประมาณ 1,675 มิเตอร์

เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ กฟน. พิจารณาเลือกใช้สำหรับการนำร่องระบบ AMI ดังกล่าว ได้แก่ ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Radio Frequency (RF), ระบบสื่อสาร Power Line Communication (PLC), โครงข่ายเซลลูลาร์ และโครงข่าย Optical Fiber โดยในกรณีโครงข่าย Optical Fiber จะใช้สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมเท่านั้น ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่ของ กฟน. จะอยู่ที่ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF ในลักษณะของการสร้างโครงข่าย RF Mesh โดยเป็นการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต และโครงข่ายเซลลูลาร์ซึ่งเป็นการใช้บริการโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่

สรุปแผนการใช้งานระบบสื่อสารในโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน. ดังตารางที่ 8.7

ตารางที่ 8.7 การใช้งานระบบสื่อสารในโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน.

Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบสมาร์ทมิเตอร์ (AMR/AMI)	Optical Fiber, RF, PLC และโครงข่ายเซลลูลาร์	▪ กรณี RF: คลื่นความถี่ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต ▪ ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)*

กฟน. มีข้อกำหนดสำหรับระบบสื่อสารแบบ RF และโครงข่ายเซลลูลาร์ เพื่อรองรับระบบ AMR/AMI ดังนี้

- **ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF**
  1) โครงข่าย RF ต้องทำงานบนย่านความถี่ที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตภายใต้ข้อบังคับของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) และอุปกรณ์สื่อสารต้องมีกำลังส่งสูงสุดเป็นไปตามมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ของประเทศไทย
  2) กฟน. พิจารณาเทคโนโลยีบนมาตรฐาน IEEE 802.15.4g และ IEEE 802.15.4e เป็นเทคโนโลยีหลักสำหรับโครงข่าย RF แต่ก็เปิดโอกาสให้กับเทคโนโลยีบนมาตรฐานอื่นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีโครงข่ายที่นำมาใช้งานต้องเป็นไปตามมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลกที่น่าเชื่อถือ เช่น IEC, IEEE, Zigbee, Wi-SUN Alliance, LoRaWAN Alliance, SIGFOX Alliance และ 3GPP เป็นต้น โดย กฟน. ไม่พิจารณาเทคโนโลยีที่เป็นกรรมสิทธิ์เฉพาะ (Proprietary)
  3) อัตราข้อมูล Effective Data Rate ต่ำสุด ต้องสูงกว่า 100 kbps ใน Normal Mode และ 9.6 kbps ใน Stressed Mode (สภาวะที่ระบบเกิดปัญหาตามเงื่อนไขที่ กฟน. กำหนด)
  4) อุปกรณ์ Data Concentrator Unit (DCU) และ/หรือ Access Point (AP) ต้องรองรับสมาร์ทมิเตอร์ได้อย่างต่ำ 1,000 เครื่อง ต่อ Cluster
  5) ระบบสื่อสารและอุปกรณ์จะต้องรองรับเทคโนโลยี IP-based

เมื่อพิจารณาข้อกำหนดข้างต้นจะเห็นว่ากรณีการใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF นั้น กฟน. พิจารณาทุกย่านความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต โดยต้องเป็นเทคโนโลยีที่อยู่บนมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลกที่น่าเชื่อถือ ดังนั้น ย่านความถี่ที่ กฟน. มีโอกาสใช้งานในการพัฒนาระบบ AMR/AMI ได้แก่ ย่าน 920-925 MHz, 2.4-2.5 GHz และ 5 GHz ทั้งนี้ ย่าน 433 MHz ยังไม่มีเทคโนโลยีบนมาตรฐานแบบเปิดที่แพร่หลาย

- **โครงข่ายเซลลูลาร์**: กฟน. พิจารณาเทคโนโลยี 3G/4G บนย่านความถี่ 900/1800/2100 MHz

นอกจากนี้ กฟน. มีโครงการจัดการการจ่ายพลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย (Distribution Management System: DMS) เพื่อพัฒนาระบบ DMS รองรับการจัดการการจ่ายพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่าย โดยใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร ดังนั้น โครงการนี้จึงไม่มีความต้องการใช้คลื่นความถี่

ปัจจุบัน กฟน. ยังมีการใช้งานระบบสื่อสารสำหรับ Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 8.8 และยังมีการใช้งานย่านความถี่ 800 MHz ระบบ Digital Trunked สำหรับเครื่องวิทยุสื่อสารเพื่อใช้ติดต่อระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับศูนย์สั่งการระบบไฟฟ้าและการไฟฟ้านครหลวงเขตต่าง ๆ อีกด้วย

ตารางที่ 8.8 การใช้งานระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน. ในปัจจุบัน

Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
MEA Smart Life (Mobile Application)	▪ Backbone: Optical Fiber ▪ Client: โครงข่ายเซลลูลาร์ และ WiFi	เป็นการใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ และ WiFi โดยผู้ใช้งานปลายทาง
Field Force Management (FFM)	Optical Fiber และโครงข่ายเซลลูลาร์	ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)*

8.3.2 แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน. ในอนาคต (ข้อมูล ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560) โดยแบ่งเป็นแผนงานระยะสั้น (< 5 ปี) และระยะยาว (> 5 ปี) พร้อมทั้งระบุความจำเป็นของการพัฒนา Application ดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการคาดการณ์แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน. ในอนาคต สรุปผลการศึกษาดังตารางที่ 8.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตของ กฟน. มีความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับหลาย Application ทั้งที่เป็น Application ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI, Demand Response และระบบบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้า รวมทั้ง Application ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบไฟฟ้า เช่น Distribution Automation และ Microgrid โดย กฟน. วางแผนใช้งานระบบสื่อสารไร้สายแบบ Unlicensed สำหรับ Application ที่เป็น Non-critical Infrastructure ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบไฟฟ้า ส่วน Application ที่เป็น Critical Infrastructure ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้า เช่น Distribution Automation และ Microgrid นั้น กฟน. เลือกใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสารหลัก โดยทั้ง 2 กรณี กฟน. อาจพิจารณาใช้งานระบบสื่อสารไร้สายแบบ Licensed เพิ่มเติม ในกรณีที่ กสทช. มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ตารางที่ 8.9 แผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน. ในอนาคต

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Application ในโครงข่ายของผู้ใช้ไฟฟ้า HAN/BAN/FAN (Home/Building/Factory Area Network)						
HEMS/BEMS/FEMS	▪ เพื่อใช้ประโยชน์จากข้อมูลการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ▪ เป็นกลไกสร้างจิตสำนึกด้านการอนุรักษ์พลังงาน ▪ เพื่อรองรับมาตรการ Demand Response	▪ ครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภทในพื้นที่นำร่อง จำนวน 13,250 ราย ▪ ครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 3, 4 และ 5 จำนวน 30,000 รายทั่วพื้นที่ กฟน.	-	เป็นโครงการสำคัญในแผนขับเคลื่อนสมาร์ทกริดของประเทศไทย	RF และ PLC	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต
Application ในโครงข่ายระดับ NAN/FAN (Neighborhood Area Network/Field Area Network)						
สมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI	▪ เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ แทนการจดหน่วยแบบ Manual ▪ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการประเมินความคุ้มค่าก่อนตัดสินใจลงทุนติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์ทั่วพื้นที่ กฟน. ในอนาคต	▪ ครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภทในพื้นที่นำร่อง จำนวน 13,250 ราย ▪ ครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 3, 4 และ 5 จำนวน 30,000 รายทั่วพื้นที่ กฟน.	▪ 5-10 ปี: ครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้า 4 แสนราย ▪ >10 ปี: ครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้า 3.6 ล้านราย ตามนโยบายการเปลี่ยนสมาร์ทมิเตอร์ทดแทนของเดิมที่เสื่อมสภาพ	ต้องการผลักดันการใช้สมาร์ทมิเตอร์ และรองรับการส่งเสริมบริการใหม่ ๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต	Optical Fiber, RF, PLC และโครงข่ายเซลลูลาร์	<u>กรณี RF</u> ▪ คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต ▪ เพิ่มคลื่นความถี่ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต <u>โครงข่ายเซลลูลาร์</u> ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Demand Response	▪ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าจากรูปแบบการใช้งานปกติ ▪ เพื่อตอบสนองต่อราคาค่าไฟในช่วงเวลาต่าง ๆ ▪ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand)	▪ กฟน. ทำหน้าที่เป็น Load Aggregator เพื่อรองรับนโยบายการดำเนินงานด้าน Demand Response ของประเทศไทย ▪ จัดซื้อและติดตั้งระบบ Demand Response	แข่งขันกับภาคเอกชนที่จะเข้ามาทำธุรกิจ Load Aggregator เช่น ผู้ลงทุนและ SPP/VSPP ที่มีลูกค้าของตนเอง	เป็นโครงการสำคัญในแผนขับเคลื่อนสมาร์ทกริดของประเทศไทย	Optical Fiber, RF, PLC และโครงข่ายเซลลูลาร์	<u>กรณี RF</u> ▪ คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต ▪ เพิ่มคลื่นความถี่ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต <u>โครงข่ายเซลลูลาร์</u> ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์
Distribution Automation	▪ เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากมีความสามารถในการทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้แก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องได้อย่างรวดเร็วขึ้น ▪ ทราบปริมาณการใช้ไฟฟ้า และถ่ายโอนโหลดได้แบบ Real-time	ใช้ Load Break Switch (LBS) เป็นอุปกรณ์ตัดต่อในระบบสายป้อนอากาศ และใช้ Ring Main Unit (RMU) เป็นอุปกรณ์ตัดต่อในระบบสายป้อนใต้ดิน ซึ่งใช้งานร่วมกับระบบ DMS จำนวน 15,000 ชุด	-	เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า	Optical Fiber	เพิ่มการใช้งาน RF ที่เป็นคลื่นความถี่แบบ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า)	▪ ศึกษาเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงาน, รูปแบบการประยุกต์ใช้ รวมทั้งตัวอย่างการใช้งานในต่างประเทศ ▪ กำหนดรูปแบบและลักษณะการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานสำหรับการสาธิตทดสอบ รวมถึงสถานที่ติดตั้งและงบประมาณ	โครงการนำร่อง 1 ระบบ	ติดตั้งในทุกอาคารสำนักงานของ กฟน.	เป็นโครงการสำคัญในแผนขับเคลื่อนสมาร์ทกริดของประเทศไทย	Copper Cable	-
Microgrid และระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับกริด)	▪ สนับสนุนให้เกิดการพัฒนาระบบMicrogrid ตามนโยบายภาครัฐ ▪ ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบ Microgrid และนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนและปฏิบัติงานเพื่อรองรับ Microgrid และการขยายตัวของพลังงานทางเลือก	▪ จ้างที่ปรึกษาเพื่อศึกษาเทคโนโลยี Microgrid ที่เหมาะสมกับพื้นที่ กฟน. ▪ ติดตั้ง ทดสอบและรวบรวมผลการใช้งาน	-	เป็นโครงการสำคัญในแผนขับเคลื่อนสมาร์ทกริดของประเทศไทย และช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้มีความพิเศษขึ้น	Optical Fiber	เพิ่มการใช้งาน RF ที่เป็นคลื่นความถี่แบบ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
การบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้า	พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรองรับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า เช่น การควบคุมการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ และระบบสื่อสารสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อบริหารจัดการพลังงานแบบ Real-time	เป็นหน่วยงานหลักในการทดสอบ Commissioning ในโครงการสนับสนุนการลงทุนสถานีอัดประจุไฟฟ้า (Charging Station) ของ สนพ.	-	นโยบายของรัฐบาลต้องการสนับสนุนให้เกิดการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศ	RF, PLC และโครงข่ายเซลลูลาร์	<u>กรณี RF</u> ▪ คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต ▪ เพิ่มคลื่นความถี่ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต <u>โครงข่ายเซลลูลาร์</u> ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์
ระบบสื่อสารกับ SPP/VSPP	▪ กำหนดมาตรการ, ข้อกำหนด, วิธีประเมิน และขีดจำกัดที่เหมาะสม เพื่อควบคุมการเชื่อมต่อ SPP/VSPP ไม่ให้สร้างผลเสียต่อระบบไฟฟ้า ▪ ปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า เช่น การควบคุมแรงดันไฟฟ้า และการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย	▪ ศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบด้านเทคนิคจากการเชื่อมต่อ SPP/VSPP ที่มีต่อระบบจำหน่ายของ กฟน. ▪ การศึกษาครอบคลุมขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ระบบขนาดเล็กในบ้านพักอาศัย จนถึงระบบขนาดใหญ่ที่มีกำลังผลิตเกินกว่า 1 MW	▪ 5-10 ปี: ติดตั้งระบบสื่อสารกับระบบขนาดใหญ่ที่มีกำลังผลิตเกินกว่า 1 MW (SPP) ▪ >10 ปี: ติดตั้งระบบสื่อสารกับระบบขนาดเล็กที่มีกำลังผลิตไม่เกิน 1 MW (VSPP)	ต้องมีการ Monitoring ด้วยระบบ SCADA/EMS/DMS	Optical Fiber	-

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Smart Streetlight	▪ เพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ▪ ลดการเกิดปัญหาอุบัติเหตุบนท้องถนน, ปัญหาการมั่วสุมของเยาวชน และปัญหาการก่ออาชญากรรมต่าง ๆ ในยามวิกาล	มี Application Streetlight Control System เพื่อใช้ในการบริหารควบคุมระดับความสว่าง และการปิด-เปิดโคมไฟสาธารณะ	มีฟังก์ชันตรวจสอบสถานะหลอดไฟชำรุดหรือการบำรุงรักษา ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว	เป็นประเด็นด้านการดูแลสังคม	RF, PLC และโครงข่ายเซลลูลาร์	<u>กรณี RF</u> ▪ คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต ▪ เพิ่มคลื่นความถี่ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต <u>โครงข่ายเซลลูลาร์</u> ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์
Application ในโครงข่ายของการไฟฟ้า						
Substation Automation	▪ เพื่อทดแทนอุปกรณ์ระบบ CSCS, RTU และ Protective Relay ที่ครบกำหนดอายุใช้งาน ▪ เพื่อให้ระบบ SCADA สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในสถานีได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ	สถานีไฟฟ้าต้นทางและสถานีไฟฟ้าย่อย จำนวน 32 สถานี	ทุกสถานีไฟฟ้าของ กฟน. ประมาณ 150 สถานี	ต้องมีการ Monitoring ด้วยระบบ SCADA/EMS/DMS	Optical Fiber	-

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
	▪ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือและฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ ตัดสินใจ เมื่ออุปกรณ์จ่ายไฟขัดข้องหรือเมื่อระบบการจ่ายไฟมีปัญหา					
อื่น ๆ						
Computerized Maintenance Management System (CMMS)	▪ เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในด้านการวางแผนงานสินทรัพย์และงบประมาณได้อย่างละเอียดถูกต้อง รวมทั้งเพิ่มความสะดวก, ความรวดเร็ว, ความแม่นยำและประสิทธิภาพในการทำงาน ▪ ประเมินการใช้งานและความพร้อมของอุปกรณ์เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์	ครอบคลุมอุปกรณ์ที่ระดับแรงดันสูงและแรงดันกลางทั่วพื้นที่ กฟน.	ครอบคลุมอุปกรณ์แรงดันต่ำทั่วพื้นที่ กฟน.	เพื่อบริหารจัดการด้านสินทรัพย์ และงบประมาณได้อย่างละเอียดถูกต้อง	Optical Fiber และ Copper Cable	-

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Transformer Load Monitoring (TLM)	▪ เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานหม้อแปลงของ กฟน. ▪ รองรับระบบสมาร์ทกริด เช่น ตรวจจับสายขาดและการควบคุมไฟถนน	มีอุปกรณ์ตรวจวัดค่าโหลดหม้อแปลง สำหรับการวัดค่าต่าง ๆ เช่น อายุการใช้งาน, ความเสี่ยงที่จะเกิดการชำรุด, โหลดปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อรองรับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าที่จะเชื่อมต่อเข้ามายังระบบไฟฟ้าของ กฟน. ในอนาคต		เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานหม้อแปลง	RF และโครงข่ายเซลลูลาร์	<u>กรณี RF</u> ▪ คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต ▪ เพิ่มคลื่นความถี่ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต <u>โครงข่ายเซลลูลาร์</u> ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์
Smart Fault Circuit Indicator (Smart FCI)	▪ เพื่อใช้แจ้งเตือนการผิดพร่องในสายป้อน โดยเฉพาะสายป้อนแยกที่จ่ายให้ผู้ใช้ไฟฟ้าในซอย ▪ ช่วยให้รู้ตำแหน่งที่เกิดการผิดพร่องได้อย่างชัดเจนแม่นยำ และสามารถเข้าแก้ไขได้อย่างถูกต้องฉับไว ส่งผลให้การเกิดไฟฟ้าดับมีระยะเวลาลดลง	โครงการนำร่อง ติดตั้งจำนวน 51 ชุด (สายป้อนอากาศ) และจำนวน 60 ชุด (สายป้อนใต้ดิน)	-	เป็นเครื่องมือช่วยในการแก้ไฟฟ้าขัดข้อง	RF และโครงข่ายเซลลูลาร์	<u>กรณี RF</u> ▪ คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต ▪ เพิ่มคลื่นความถี่ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต <u>โครงข่ายเซลลูลาร์</u> ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	แผนการพัฒนา		ความจำเป็น	แผนการใช้งานระบบสื่อสาร	
		ระยะสั้น (< 5 ปี)	ระยะยาว (> 5 ปี)		เทคโนโลยี	ย่านความถี่ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Outage Management System (OMS)	เพิ่มประสิทธิภาพของการแก้ไขไฟฟ้าขัดข้องผ่านกระบวนการบริหารการแก้ไขระบบไฟฟ้าขัดข้องซึ่งมีการบูรณาการข้อมูลร่วมกันระหว่างระบบ เช่น GIS, TLM, AMR/AMI และ FFM	จัดซื้อซอฟต์แวร์ OMS	-	เป็นเครื่องมือช่วยในการแก้ไฟฟ้าขัดข้อง	-	-

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)*

8.3.3 แนวคิดการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน.

กฟน. มีความเห็นว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในปัจจุบันตามที่ กสทช. อนุญาติ เช่น ย่านความถี่ 920-925 MHz น่าจะเพียงพอต่อการใช้งานเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน. แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่บริการของ กฟน. มีขนาดเล็ก จึงค่อนข้างสะดวกต่อการติดตั้งระบบสื่อสารแบบมีสาย เช่น โครงข่าย Optical Fiber เพื่อรองรับ Application ที่มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้าได้ง่ายกว่ากรณีของ กฟผ. และ กฟภ. ซึ่งมีพื้นที่บริการขนาดใหญ่ ตลอดจนครอบคลุมพื้นที่ห่างไกลจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม กฟน. มีข้อกังวลเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่นกัน โดยเฉพาะด้านการใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกันซึ่งอาจส่งผลให้อาจเกิดการรบกวนของสัญญาณ อันเนื่องมาจากความหนาแน่นของการใช้งานทั้งจากผู้ให้บริการและผู้ใช้งาน ทำให้การรับ-ส่งข้อมูลอาจไม่สำเร็จได้ โดยเฉพาะย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ที่มีการใช้งานหนาแน่นในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ดังตัวอย่างในรูปที่ 8.1 ซึ่งแสดงการปล่อยสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE802.11 (เทคโนโลยี WiFi) จาก Access Point ต่าง ๆ ในบริเวณหนึ่งของพื้นที่นำร่อง Smart Metro Grid (ถนนพญาไท-ถนนเพชรบุรี-ถนนรัชดาภิเษก-ถนนพระรามที่ 4) ของ กฟน. โดยแกนนอนแสดงตัวเลขช่องสัญญาณ และแกนตั้งแสดงความแรงของสัญญาณเทียบเป็นร้อยละ ซึ่งจะเห็นว่าในพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้งานสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE802.11 บนช่องสัญญาณเดียวกันอย่างหนาแน่นมาก โดยหากพิจารณาที่ย่านความถี่ 2.4 GHz (ช่องสัญญาณที่ 1 - 13) จะเห็นว่า Access Point ส่วนใหญ่เลือกใช้ช่องสัญญาณที่ 1 6 และ 11 ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่นิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับเทคโนโลยี WiFi เนื่องจากเป็น 3 ช่องสัญญาณที่ไม่มีการซ้อนทับกัน อย่างไรก็ตาม มีบาง Access Point ที่เลือกใช้ช่องสัญญาณอื่นเช่นกัน เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการใช้ช่องสัญญาณซ้อนทับกันในสภาพแวดล้อมที่มีการใช้ช่องสัญญาณที่ 1 6 และ 11 อย่างหนาแน่น ส่วนในย่านความถี่ 5 GHz (ช่องสัญญาณที่ 36-64 และ 100-165) มีการใช้งานค่อนข้างหนาแน่นเช่นกัน แต่จะเป็นลักษณะการใช้งานที่ค่อนข้างกระจายในทุกช่องสัญญาณ ดังนั้น ในพื้นที่ดังกล่าวจึงเป็นไปได้ยากที่จะใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยไม่เกิดการรบกวนกับการใช้งานอื่น ๆ

รูปที่ 8.1 การใช้งานช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ในย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ในบริเวณพื้นที่นำร่อง Smart Metro Grid ของ กฟน.

ที่มา: *ข้อมูลจากการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)*

เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าต้องมีการติดต่อสื่อสารแบบเวลาจริง (Real-time) ตลอดเวลา ทั้งการ Monitoring และสั่งการควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันยังคงออกแบบด้วยการใช้โครงข่าย Optical Fiber ที่มีวงจร Redundancy สำหรับรองรับทุกสถานการณ์ และในอนาคตหากจำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารไร้สาย การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะมีความเหมาะสมมากกว่า นอกจากนี้ การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed อาจมีความปลอดภัย (Security) ที่ไม่หนาแน่นเพียงพอ อาจก่อให้เกิดการขโมยข้อมูลหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในระบบที่มีการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์

ดังนั้น กฟน. เห็นว่า กสทช. ควรมีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยเป็นการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับหน่วยงานด้านพลังงานให้ใช้งานย่านความถี่เดียวกัน เพื่อความชัดเจนในการพัฒนาระบบสื่อสารที่เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศ และเป็นการกำหนดมาตรฐานให้กับผู้ผลิตอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ให้สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ตามย่านความถี่ที่กำหนด เพื่อสามารถเสนออุปกรณ์และระบบให้กับทุกหน่วยงานโดยไม่มีปัญหาด้านการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์และระบบที่แตกต่างกัน อีกทั้งคลื่นความถี่แบบ Licensed มีปัญหาด้านการรบกวนสัญญาณน้อยกว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed มาก เนื่องจากได้รับการปกป้องการใช้งานตามข้อกำหนดของ กสทช. จึงสามารถรองรับการทำงานของ Application ที่มีความสำคัญต่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้าได้

สำหรับความคิดเห็นเกี่ยวกับย่านความถี่ที่เหมาะสมในการจัดสรรให้กับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด กฟน. มีความเห็นดังนี้

- ระยะ 3 ปีแรก (พ.ศ. 2561-2563): กฟน. มีความประสงค์ขอใช้ความถี่ CH201 - CH237 (442.5125/447.5125 MHz ถึง 442.9625/447.9625 MHz) ตามแผนความถี่วิทยุกิจการเคลื่อนที่ทางบกและกิจการประจำที่ ย่านความถี่ 440-450 MHz รวมขนาดแบนด์วิดท์ 0.925 MHz หรือตามความเหมาะสมที่ กสทช. จะพิจารณาจัดสรรให้ สำหรับรองรับการใช้งานระบบ AMI, การอ่านหน่วยพลังงานไฟฟ้า, การตรวจจับการละเมิดการใช้ไฟฟ้า, การจัดการปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง และ Demand Response
- ตั้งแต่ พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป: กฟน. ต้องการใช้แบนด์วิดท์เพิ่มเติมอีก 2 MHz โดยขอให้ กสทช. พิจารณาจัดสรรย่านความถี่ที่เหมาะสม เพื่อรองรับการพัฒนาระบบบริหารจัดการไฟสาธารณะ (Smart Streetlight), การบริหารจัดการทรัพย์สิน (Computerized Maintenance Management System), การบริหารจัดการโหลดหม้อแปลง (Transformer Load Monitoring (TLM) และระบบรักษาความปลอดภัยในสถานีไฟฟ้าและสำนักงานการไฟฟ้า

ทั้งนี้ กฟน. เคยมีหนังสือถึงกสทช. เพื่อขอใช้คลื่นความถี่ย่าน 440-450 MHz ตามความต้องการข้างต้นแต่ทาง กสทช. ยังไม่อนุญาต ดังนั้น กฟน. เห็นว่าด้วยบริบทปัจจุบัน การใช้งานระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF สำหรับโครงการระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดควรใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ย่านความถี่ 920-925 MHz เนื่องจากมีระยะทางสื่อสารได้ไกล และสามารถทะลุสิ่งกีดขวางได้ดีโดยเฉพาะอาคารและสิ่งปลูกสร้าง ซึ่ง กสทช. ได้ออกประกาศหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน 920-925 MHz โดยอุปกรณ์ที่ไม่ใช่ RFID แต่เป็น SRD (Short-range Radio Communication Device) ให้สามารถนำมาใช้งานในย่านความถี่ดังกล่าวได้โดยได้รับการยกเว้นไม่ต้องขออนุญาต

8.4 วิเคราะห์ความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

จากหัวข้อที่ 8.1 ถึง 8.3 ซึ่งเป็นการศึกษาแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ทั้งที่เป็นแผนระยะสั้น เช่น การพัฒนาโครงการนำร่องด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด รวมไปถึงการวางแผนระยะยาวในอนาคต จะเห็นว่าแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าแต่ละแห่งยังไม่มีปริมาณงานที่ชัดเจนเพียงพอที่จะกำหนดความต้องการคลื่นความถี่ของแต่ละ Application ได้ อีกทั้งการไฟฟ้าแต่ละแห่งก็ยังไม่สามารถระบุความต้องการคลื่นความถี่ที่ชัดเจนสำหรับแต่ละ Application จึงทำให้สำนักงาน กสทช. ไม่สามารถทราบความต้องการคลื่นความถี่ที่เหมาะสมต่อการจัดสรรเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย โดยเฉพาะสำหรับ Application ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบไฟฟ้า

ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง โดยศึกษาจากแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และความต้องการใช้คลื่นความถี่ (แบนด์วิดท์) โดยทั่วไปของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจาก [32-35] สรุปผลได้ดังตารางที่ 8.10

ตารางที่ 8.10 วิเคราะห์ความต้องการใช้คลื่นความถี่ของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สำหรับแต่ละ Application ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

Application	ความต้องการแบนด์วิดท์			หมายเหตุ
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2570 เป็นต้นไป)	
Application ในโครงข่ายของผู้ใช้ไฟฟ้า HAN/BAN/FAN (Home/Building/Factory Area Network)				
HEMS/BEMS/FEMS	-	-	-	เป็นลักษณะการใช้ระบบสื่อสารของเจ้าของสถานที่ จึงไม่มีความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับการไฟฟ้า
Application ในโครงข่ายระดับ NAN/FAN (Neighborhood Area Network/Field Area Network)				
สมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI ■ กฟภ. ■ กฟน.	 100 kbps 150-200 kbps	 100 kbps 150-200 kbps	 150 kbps 200-250 kbps	- เป็นความต้องการแบนด์วิดท์ต่อจุดรวบรวบข้อมูล (Concentrator) ซึ่งแต่ละจุดรวบรวมข้อมูลสามารถใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ - กรณี กฟน. ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชนหนาแน่นอาจต้องการแบนด์วิดท์สูงกว่า กฟภ. - ในอนาคตระบบ AMI อาจจำเป็นต้องรองรับบริการใหม่ ๆ เช่น การบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัย หรือมีการเรียกใช้มาตรการ Demand Response บ่อยครั้งขึ้น จึงอาจส่งผลให้ความต้องการแบนด์วิดท์สูงขึ้น
Demand Response และระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า) ■ กฟผ. ■ กฟภ. ■ กฟน.	 - 10-50 kbps 10-50 kbps	 - 10-50 kbps 10-50 kbps	 - 10-50 kbps 10-50 kbps	- เป็นความต้องการแบนด์วิดท์ต่อจุดรวบรวบข้อมูล (Concentrator) ซึ่งแต่ละจุดรวบรวมข้อมูลสามารถใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ - กรณี กฟผ. การสร้างระบบสื่อสาร RF อาจไม่คุ้มค่า การใช้ระบบอินเทอร์เน็ตของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโครงข่ายเซลลูลาร์จะเหมาะสมมากกว่า - กรณี กฟภ. และ กฟน. สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกับระบบ AMI ได้ โดยไม่ต้องการแบนด์วิดท์เพิ่มเติม เนื่องจาก Demand Response จะสั่งการเป็นครั้งคราวเท่านั้น <u>หมายเหตุ</u> ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า) อาจพิจารณาเป็นหนึ่งในมาตรการ Demand Response ได้

Application	ความต้องการแบนด์วิดท์			หมายเหตุ
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2570 เป็นต้นไป)	
ระบบการบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า ■ กฟผ. ■ กฟภ. ■ กฟน.	- - -	- - -	- 10-50 kbps 10-50 kbps	- เป็นความต้องการแบนด์วิดท์ต่อจุดรวบรวบข้อมูล (Concentrator) ซึ่งแต่ละจุดรวบรวมข้อมูลสามารถใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ - ระยะแรกยังมีการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าไม่มากและมีลักษณะกระจายไปหลายพื้นที่ การใช้โครงข่ายเซลลูลาร์จึงเหมาะสมมากกว่า แต่หากมีการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากในอนาคต อาจต้องมีระบบบริหารการอัดประจุไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยโดยใช้ระบบสื่อสารแบบ RF ซึ่งอาจเป็นการใช้คลื่นความถี่ร่วมกับระบบ AMI - กรณี กฟผ. การสร้างระบบสื่อสาร RF อาจไม่คุ้มค่า ควรใช้ระบบอินเทอร์เน็ตของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโครงข่ายเซลลูลาร์จะเหมาะสมมากกว่า
Distribution Automation ■ กฟภ. ■ กฟน.	10-100 kbps 10-100 kbps	10-100 kbps 10-100 kbps	10-100 kbps 10-100 kbps	- เป็นความต้องการแบนด์วิดท์ต่อจุดรวบรวบข้อมูล (Concentrator) ซึ่งแต่ละจุดรวบรวมข้อมูลสามารถใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ - ความต้องการแบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์และความสามารถของระบบที่ต้องการใช้งาน - ทั้ง กฟภ. และ กฟน. วางแผนใช้ Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร แต่อาจเพิ่มการใช้คลื่นความถี่ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต
ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับกริด) และ Microgrid	-	-	-	ทั้ง 3 การไฟฟ้าวางแผนใช้ Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร

Application	ความต้องการแบนด์วิดท์			หมายเหตุ
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2570 เป็นต้นไป)	
ระบบ RE Forecast ■ กฟผ. ■ กฟภ.	ยังประเมินไม่ได้ ยังประเมินไม่ได้	ยังประเมินไม่ได้ ยังประเมินไม่ได้	ยังประเมินไม่ได้ ยังประเมินไม่ได้	ทั้ง กฟผ. และ กฟภ. อยู่ระหว่างการศึกษาโครงการจึงยังไม่ทราบความต้องการใช้งานที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ด้วยลักษณะของระบบ RE Forecast ซึ่งเป็นการสื่อสารกับโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ต่าง ๆ และศูนย์ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา จึงอาจไม่จำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารแบบ RF
ระบบสื่อสารกับ SPP/VSPP ■ กฟผ. ■ กฟภ. ■ **กฟน.**	- ยังประเมินไม่ได้ -	- ยังประเมินไม่ได้ -	- ยังประเมินไม่ได้ -	- ทั้ง 3 การไฟฟ้า วางแผนใช้ Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร - กฟภ. อาจมีการใช้ระบบสื่อสารแบบ RF เสริมในบางพื้นที่ โดยใช้คลื่นความถี่เดียวกับที่ ได้รับจัดสรรสำหรับระบบ SCADA
Smart Streetlight ■ กฟน.	10-50 kbps	10-50 kbps	10-50 kbps	ความต้องการแบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์และความสามารถของระบบที่ต้องการใช้งาน
Application ในโครงข่ายระดับ WAN (Wide Area Network)				
Wide Area Monitoring System	-	-	-	เนื่องจากต้องรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากแบบ Real-time และต้องการความเชื่อถือได้สูงมาก การไฟฟ้าแต่ละแห่งจึงวางแผนใช้ระบบสื่อสาร Optical Fiber
Wide Area Protection System				
Wide Area Control System				
Application ในโครงข่ายของการไฟฟ้า				
Substation Automation	-	-	-	การไฟฟ้าแต่ละแห่งวางแผนใช้ระบบสื่อสาร Optical Fiber เนื่องจากมีโครงข่าย Optical Fiber ไปยังสถานีไฟฟ้าอยู่แล้ว

จากตารางที่ 8.10 สามารถประเมินความต้องการใช้คลื่นความถี่ (แบนด์วิดท์) ของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สำหรับใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้ดังตารางที่ 8.11

ตารางที่ 8.11 ความต้องการคลื่นความถี่ของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

หน่วยงาน	ความต้องการแบนด์วิดท์			หมายเหตุ
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2570 เป็นต้นไป)	
กฟผ.	-	-	-	▪ ระบบสมาร์ทกริดของ กฟผ. ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของระบบไฟฟ้า จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้งานระบบสื่อสารแบบมีสาย เช่น Optical Fiber ▪ กรณีบาง Application ที่จำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารไร้สายก็ไม่คุ้มค่าที่จะสร้างโครงข่าย RF ด้วยตนเอง โดยควรใช้โครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคมจึงจะเหมาะสมกว่า
กฟภ.	200 kbps	200 kbps	250 kbps	▪ Application ส่วนใหญ่สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกับระบบสมาร์ทมิเตอร์ได้ เนื่องจากไม่ได้รับ-ส่งข้อมูลตลอดเวลา ▪ ความต้องการแบนด์วิดท์ส่วนใหญ่มาจากระบบสมาร์ทมิเตอร์และ Distribution Automation
กฟน.	300-350 kbps	300-350 kbps	350-400 kbps	▪ Application ส่วนใหญ่สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกับระบบสมาร์ทมิเตอร์ได้ เนื่องจากไม่ได้รับ-ส่งข้อมูลตลอดเวลา ▪ ความต้องการแบนด์วิดท์ส่วนใหญ่มาจากระบบสมาร์ทมิเตอร์และ Distribution Automation และเนื่องจากพื้นที่ของ กฟน. เป็นชุมชนหนาแน่นจึงมีความต้องการแบนด์วิดท์สูงกว่า กฟภ. ▪ กฟน. ยังมีแผนพัฒนา Application อื่นๆ ในโครงข่าย NAN/FAN เช่น Smart Streetlight และ Transformer Load Management

หมายเหตุ: พิจารณาบนพื้นฐานของความต้องการแบนด์วิดท์ต่อจุดรวบรวบข้อมูล (Concentrator) โดยแต่ละจุดรวบรวมข้อมูลสามารถใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ เพื่อให้เกิดการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การใช้งานจริงอาจมีความต้องการที่แตกต่างจากนี้ได้โดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาในตารางที่ 8.10 และ 8.11 เป็นการวิเคราะห์ความต้องการใช้คลื่นความถี่ในบริบททั่วไปเท่านั้น ความต้องการใช้งานจริงอาจแตกต่างไปจากนี้ได้โดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น จำนวนอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสาร ฟังก์ชัน/ความสามารถของระบบ สภาพแวดล้อมของพื้นที่ ระยะห่างระหว่างโนด/อุปกรณ์ และระบบสื่อสารที่เลือกใช้ เป็นต้น ทั้งนี้ ตารางที่ 8.10 แสดงความต้องการแบนด์วิดท์ในหน่วย kbps เนื่องจากระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF แต่ละเทคโนโลยีอาจใช้เทคนิคการมอดูเลตที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีความต้องการแบนด์วิดท์ในหน่วย Hz ที่แตกต่างกันด้วย ดังตัวอย่างในตารางที่ 8.12 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่ (Spectral Efficiency) ของเทคนิคการมอดูเลตแต่ละวิธี [36]

ตารางที่ 8.12 ประสิทธิภาพการใช้ความถี่ของเทคนิคการมอดูเลตแต่ละวิธี

เทคนิคการมอดูเลต	ประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่ (bps/Hz)
FSK	< 1 (ขึ้นอยู่กับ Modulation Index)
GMSK	1.35
BPSK	1
QPSK	2
8PSK	3
16QAM	4
64QAM	6
OFDM	อาจสูงกว่า 10 ขึ้นอยู่กับเทคนิคการมอดูเลตและจำนวน Subcarrier

จากตารางที่ 8.12 อาจแสดงตัวอย่างโดยสมมติให้ระบบสมาร์ทมิเตอร์มีความต้องการแบนด์วิดท์ 100 kbps หากการไฟฟ้าเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ FSK โครงข่ายสื่อสารจะต้องการแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่า 100 kHz เพื่อรองรับการรับ-ส่งข้อมูล 100 kbps ดังกล่าว แต่หากเลือกใช้เทคโนโลยีที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ OFDM โครงข่ายสื่อสารอาจต้องการแบนด์วิดท์เพียง 10 kHz เพื่อรองรับการรับ-ส่งข้อมูล 100 kbps เท่ากัน นอกจากนี้ หลายเทคโนโลยีโดยเฉพาะเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed อาจใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ Spread Spectrum เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากสัญญาณรบกวน (Noise) และการรบกวนจากสัญญาณอื่นหรือการแทรกสอด (Interference) โดยทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลในลำดับแบบสุ่มและกระจายไปทั่วช่องสัญญาณแถบกว้าง ส่งผลให้ต้องการแบนด์วิดท์กว้างกว่าการใช้ระบบสื่อสารความถี่แคบ (Narrow Band) แต่โดยรวมแล้วถือเป็นการใช้คลื่นความถี่ที่มีประสิทธิภาพและรองรับอัตราข้อมูลได้มากขึ้น

ดังนั้น รายงานฉบับนี้จึงวิเคราะห์ความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในหน่วย kbps ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกันได้ชัดเจนและสะดวกกว่าการพิจารณาแบนด์วิดท์ในหน่วย Hz ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้งานด้วย

บทที่ 9
แนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

จากบทที่ 8 ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้ของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง รวมทั้งแนวโน้มการใช้งานและความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของแต่ละหน่วยงานในอนาคต โดยในบทที่ 9 นี้จะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

9.1 กรณีคลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

จากข้อกำหนดของ กสทช. คลื่นความถี่ที่การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สามารถใช้งานเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตบางประเภท ทั้งกรณีที่เป็นการสื่อสารทางเดียวและกรณีที่เป็นการสื่อสารสองทาง (มีการส่งข้อมูล ไป-กลับ ระหว่างอุปกรณ์) สรุปได้ดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 คลื่นความถี่ที่ กสทช. อนุญาตให้ใช้ โดยได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต

คลื่นความถี่	กำลังส่งสูงสุด (e.i.r.p.)
13.553-13.567 MHz	10 mW
26.965-27.405 MHz	100 mW
30-50 MHz	10 mW
54-74 MHz	10 mW
300-500 MHz	10 mW
920-925 MHz	500 mW
2400-2500 MHz	100 mW
5150-5350 MHz	200 mW
5470-5850 MHz	1 W

ที่มา: *ข้อมูลจาก สำนักงาน กสทช.*

การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สามารถใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ได้ตามคลื่นความถี่และกำลังส่งสูงสุดในตารางที่ 9.1 โดยการเข้าใช้คลื่นความถี่ (Spectrum Access) ของอุปกรณ์จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในประกาศ กสทช.

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแนวโน้มการใช้งานของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งแล้ว การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จะอยู่ที่ 4 ย่านความถี่ ได้แก่ 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.4 GHz และ 5 GHz เนื่องจากอุปกรณ์ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในตลาดส่วนใหญ่จะใช้งานย่านความถี่เหล่านี้ จึงเป็นย่านความถี่ที่พบการใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ

ข้อกังวลของหน่วยงานการไฟฟ้าสำหรับการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จะอยู่ที่ความเชื่อถือได้ (Reliability), ความพร้อมใช้งาน (Availability) และความปลอดภัย (Security) ของการสื่อสาร เนื่องจากเป็นการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างหลากหลายเทคโนโนโลยีและผู้ใช้งาน จึงอาจส่งผลกระทบรบกวนการสื่อสารของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้ รวมไปถึงประเด็นด้านความปลอดภัยที่อาจไม่เพียงพอต่อการป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ได้ ดังนั้น การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง จึงพิจารณาใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เฉพาะสำหรับ Application ที่เป็น Non-critical Infrastructure ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้า

9.2 การจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

สำนักงาน กสทช. ให้ข้อมูลว่ายังไม่มีนโยบายจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการเฉพาะ อย่างไรก็ตาม การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สามารถแสดงความจำนงขอรับการจัดสรรช่องความถี่ในลักษณะ Licensed Band ในบางย่านความถี่ที่ถูกกำหนดไว้ให้กับกิจการที่ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถใช้งานได้ เช่น กิจการประจำที่และกิจการเคลื่อนที่

ในการพิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด สำนักงาน กสทช. จะพิจารณาถึงความจำเป็นในหลายด้าน เช่น การใช้งานคลื่นความถี่ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ, ความเหมาะสมของการเลือกใช้คลื่นความถี่ให้เหมาะสมกับการใช้งานและเทคโนโลยี, โอกาสในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกับหน่วยงานที่มีการใช้งานในลักษณะใกล้เคียงกัน, ความมั่นคงของโครงข่าย รวมไปถึงคุณภาพ ความเร็ว และปริมาณของการส่งข้อมูลตามความต้องการของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง

ทั้งนี้ นโยบายของสำนักงาน กสทช. พิจารณาให้หน่วยงานสาธารณูปโภคใช้คลื่นความถี่ในลักษณะใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกัน (Shared Use) ระหว่างหน่วยงานที่ให้บริการสาธารณูปโภค ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) หน่วยงานสาธารณูปโภค

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- การไฟฟ้านครหลวง
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- การประปานครหลวง
- การประปาส่วนภูมิภาค
- บริษัท ปตท จำกัด (มหาชน)
- บริษัท ปตท สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
- หน่วยงานอื่นที่มีกิจการเกี่ยวกับสาธารณูปโภค

2) **ลักษณะการใช้งานคลื่นความถี่**: อนุญาตให้หน่วยงานสาธารณูปโภคใช้คลื่นความถี่ในลักษณะใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างหน่วยงานสาธารณูปโภค (shared use) โดยไม่เป็นการจัดสรรคลื่นความถี่ให้หน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งซึ่งมีสิทธิในการใช้คลื่นความถี่เป็นการเฉพาะ
3) **การขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed**: การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะต้องเป็นไปตามแผนความถี่ที่กำหนดไว้ให้สำหรับกิจการประจำที่และกิจการเคลื่อนที่ ทั้งนี้ การพิจารณาขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed จะต้องหารือกับสำนักการอนุญาตและกำกับดูแลวิทยุคมนาคม (คท.) สำนักงาน กสทช. เพื่อตรวจสอบข้อมูลการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ โดยการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งควรเตรียมข้อมูลความต้องการใช้งานพื้นฐาน (Basic Requirements) ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น แผนภาพการเชื่อมต่อของโครงข่าย (Network Topology), ปริมาณคลื่นความถี่/แบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้งาน, รายละเอียดเบื้องต้นของประเภทอุปกรณ์, ย่านความถี่ที่อุปกรณ์สามารถใช้งานได้, จำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เกตเวย์ และระดับเสถียรภาพของการเชื่อมต่อที่ยอมรับได้
4) **ระยะเวลาการอนุญาต**: อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เป็นเวลา 5 ปี ทั้งนี้ สามารถขอต่ออายุการอนุญาตได้ตามหลักเกณฑ์ที่ กสทช. กำหนด
5) **ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง**: การใช้งานคลื่นความถี่แบบ Licensed มีค่าใช้จ่ายเรื่องค่าพิจารณาคำขอรับการจัดสรรใบอนุญาต,ค่าธรรมเนียมใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง และค่าตอบแทนการใช้งานคลื่นความถี่ซึ่งขึ้นอยู่กับย่านความถี่และปริมาณคลื่นความถี่ที่ใช้งาน

สำนักงาน กสทช. มีความเห็นว่าการใช้งานคลื่นความถี่ของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง มีบางส่วนที่มีลักษณะการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน และยังคล้ายคลึงกับหน่วยงานที่ให้บริการสาธารณูปโภคอื่น ๆ เช่น ระบบสื่อสารสำหรับเชื่อมต่อโครงข่าย (Access Network) ของสมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งอาจใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน หรือด้วยการใช้เทคนิค Spectrum Access ต่าง ๆ ดังนั้น สำนักงาน กสทช. สนับสนุนให้มีการหารือระหว่างการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และหน่วยงานที่ให้บริการสาธารณูปโภคอื่น ๆ เพื่อให้มีการใช้ความถี่ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอต่อการใช้งาน รวมถึงสามารถเชื่อมต่อและมีความสามารถในการทำงานร่วมกันได้ (Interoperability)

เมื่อพิจารณานโยบายและข้อคิดเห็นของสำนักงาน กสทช. ประกอบกับความต้องการใช้งานและเหตุผลความจำเป็นของการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง รวมทั้งประเด็นด้านเทคนิค, ความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ตลอดจนการต้นทุนการลงทุนของระบบสื่อสารในย่านความถี่ต่างกัน ตามผลการศึกษาในบทก่อนหน้านี้ สามารถสรุปแนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังนี้

1) การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ถือเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้หน่วยงานการไฟฟ้าสามารถพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเพื่อบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพและมีความเชื่อถือได้สูงสุด เป็นการรักษาความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศ

2) กสทช. จะไม่กำหนดคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการเฉพาะ แต่จะเปิดให้การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และ/หรือ หน่วยงานสาธารณูปโภคอื่นๆ สามารถขอรับการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ในบางย่านความถี่ที่ถูกกำหนดไว้ให้กับกิจการที่ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถใช้งานได้ เช่น กิจการประจำที่และกิจการเคลื่อนที่
3) การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ควรขอจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดร่วมกันในนามของหน่วยงานการไฟฟ้า เพื่อใช้งานย่านความถี่เดียวกันในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งเป็นการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด และช่วยให้ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง มีความสามารถในการทำงานร่วมกันได้ (Interoperability) อีกทั้งเป็นการกำหนดมาตรฐานให้กับผู้ผลิตอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ให้สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ตามย่านความถี่ที่กำหนด ทั้งนี้ ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง มีลักษณะที่สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้ กล่าวคือ พื้นที่บริการของ กฟภ. และ กฟน. แยกจากกันชัดเจน ขณะที่ กฟผ. แม้จะมีพื้นที่บริการที่ทับซ้อนกับ กฟภ. และ กฟน. แต่ก็มีโอกาสเพียงเล็กน้อยที่จะเกิดใช้คลื่นความถี่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจาก กฟผ. เน้นการใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายสำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยจะใช้ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับกรณีพื้นที่ห่างไกล ซึ่งไม่อยู่ในแนวข่ายสาย Optical Ground Wire หรือพื้นที่ที่ไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้
4) เนื่องจากคลื่นความถี่แบบ Licensed มีขนาดแบนด์วิดท์ที่จำกัด การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งควรพิจารณาความจำเป็นในการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับ Application ที่มีเหตุผลชัดเจนว่าไม่เหมาะสมต่อการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ด้วยประเด็นด้านเทคนิค และ/หรือ ความสำคัญของ Application ดังกล่าว รวมทั้งพิจารณาแนวทางการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันสำหรับพื้นที่ที่แตกต่างกัน และการใช้เทคนิค Spectrum Access ต่าง ๆ เพื่อบริหารจัดการการใช้คลื่นความถี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ จากการศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิคในรายงานฉบับนี้ ประกอบกับความคิดเห็นของหน่วยงานการไฟฟ้าพบว่าย่านความถี่ 430-450 MHz มีความเหมาะสมมากที่สุดในการขอจัดสรรเพื่อใช้งานรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
5) การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ควรหารือกับหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่มีโอกาสติดตั้งระบบสมาร์ทมิเตอร์ เช่น การประปานครหลวง การประปาส่วนภูมิภาค และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ซึ่งอาจต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบสมาร์ทมิเตอร์น้ำหรือก๊าซด้วยเช่นกัน เพื่อให้การขอจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการพิจารณาร่วมกันระหว่างหน่วยงานสาธารณูปโภคที่เกี่ยวข้องแล้ว
6) สำนักงาน กสทช. ควรมีการเผยแพร่ข้อมูลย่านความถี่แบบ Licensed ที่ยังว่างออกสู่สาธารณะ (Public) เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบว่าปัจจุบันคลื่นความถี่ในย่านใดบ้างที่ยังคงเหลือว่างอยู่ เพื่อที่หน่วยงานต่าง ๆ สามารถศึกษาและพิจารณาความเหมาะสมในการขอใบอนุญาตเพื่อใช้งานย่านความถี่กับ กสทช. ให้ตรงตามความต้องการใช้งานมากที่สุด ทั้งนี้ ย่านความถี่ที่ยังว่างและเผยแพร่ออกสู่สาธารณะนี้จะต้องไม่เป็นย่านความถี่ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของประเทศไทย

บทที่ 10
สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทที่ 10 เป็นการสรุปและให้ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษาทั้งหมดตั้งแต่บทที่ 6 ถึงบทที่ 9 ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้งานเทคโนโลยีระบบสื่อสารและย่านความถี่ที่เหมาะสมกับความต้องการของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด และวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน รวมไปถึงการวิเคราะห์ความพร้อมใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดทั้งในระยะสั้นและระยะยาวของหน่วยงานการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ตลอดจนศึกษาการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ในปัจจุบันว่ามีคลื่นความถี่ย่านใดบ้างที่สามารถจัดสรรให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

10.1 สรุป

โครงสร้างของระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (โครงข่าย HAN/BAN/IAN), โครงข่าย NAN/FAN, และโครงข่าย WAN โดยแบ่งตามอัตราข้อมูลและระยะสื่อสารที่ครอบคลุม ซึ่งสามารถจำแนก Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดตามโครงสร้างของระบบสื่อสารข้างต้นได้ตามลักษณะการสื่อสารของแต่ละ Application นอกจากนี้ ยังมีบาง Application ที่มีลักษณะเป็นการสื่อสารภายในโครงข่ายของผู้ให้บริการไฟฟ้าเท่านั้น เช่น ระบบ Substation Automation ทั้งนี้ การเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายและคลื่นความถี่ที่เหมาะสมกับแต่ละ Application จำเป็นต้องพิจารณาถึงความต้องการด้านระบบสื่อสาร เช่น Application ในโครงข่ายในส่วนผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network) หรือโครงข่าย HAN/BAN/IAN (Home Area Network/Building Area Network/Industrial Area Network) เป็นโครงข่ายที่สนับสนุนการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในสถานที่ของผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อรองรับ Application ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่ ระบบอัตโนมัติหรือระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านหรืออาคาร ดังนั้น ความต้องการด้านระบบสื่อสารจะมุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก เรียบง่าย และมีความปลอดภัยในการสื่อสาร รวมทั้งสามารถเชื่อมต่อกับโครงข่าย NAN/FAN ผ่านทางสมาร์ทมิเตอร์หรืออุปกรณ์เกตเวย์ เพื่อให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถให้บริการ Application ที่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย NAN/FAN ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้ เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับอัตราข้อมูลได้ 100 kbps และระยะสื่อสารสูงสุด 100 เมตร เช่น ZigBee, WiFi, Z-Wave และ Bluetooth ถือว่าเพียงพอแล้วสำหรับการรองรับ Application ในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า

กรณี Application ในโครงข่าย NAN/FAN เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMI/AMR, Demand Response และระบบ Distribution Automation ซึ่งต้องรองรับการรับ-ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมากไปยังอุปกรณ์รวบรวมข้อมูล (Data Concentrator) หรือสถานีไฟฟ้า จึงต้องการเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงขึ้น (เช่น 100 kbps - 10 Mbps) และมีระยะสื่อสารที่ไกลขึ้น (เช่น 100 เมตร - 10 กิโลเมตร) ตัวอย่างเทคโนโลยี

ระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้ เช่น ZigBee Mesh, WiFi Mesh, WiMax และโครงข่ายเซลลูลาร์ ส่วน Application ในโครงข่าย WAN เช่น การควบคุม การตรวจสอบ และการป้องกันในพื้นที่กว้าง (Wide-area Control, Monitoring and Protection) ซึ่งมีการรับ-ส่งข้อมูลจำนวนมากแบบเวลาจริงเพื่อให้สามารถควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงมาก (เช่น 10 Mbps - 1 Gbps) และมีระยะสื่อสารที่ไกลมาก (เช่น 10 - 100 กิโลเมตร) อีกทั้ง Application เหล่านี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานด้านการควบคุมระบบไฟฟ้าจึงถือเป็น Application ที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ด้วยเหตุนี้ผู้ให้บริการด้านไฟฟ้ามักเลือกใช้โครงข่าย Optical Fiber มากกว่าการใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย

ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ Application ในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า และ Application ในโครงข่าย NAN/FAN เป็นหลัก ส่วน Application ในโครงข่าย WAN และApplication ในโครงข่ายของผู้ให้บริการไฟฟ้า มักเป็นการใช้งานโครงข่าย Optical Fiber หรือระบบสื่อสารแบบมีสายอื่น ๆ

การพิจารณาต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน พบว่าต้นทุนรวมของการเป็นเจ้าของ (Total Cost of Ownership) สำหรับการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์จะมีความแตกต่างกันมากสำหรับกรณีศึกษาในแต่ละประเทศ อันเป็นผลมาจากบริบทที่แตกต่างกันของแต่ละประเทศ เช่น ค่าบริการที่ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียกเก็บ และจำนวนจุดเชื่อมต่อ ดังนั้น การวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ ผู้ให้บริการไฟฟ้าต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมในลักษณะเป็นแต่ละกรณีไป (Case by Case) โดยมีการหารือข้อตกลงและรูปแบบทางธุรกิจร่วมกันกับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ อย่างไรก็ตาม การใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์จะทำให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่สามารถบริหารจัดการหรือวางแผนงานด้านระบบสื่อสารเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของตนได้ เนื่องจากเป็นการพึ่งพาโครงข่ายสื่อสารของบุคคลที่สาม นอกจากนี้ โครงข่ายเซลลูลาร์ถือเป็นโครงข่ายสาธารณะจึงอาจมีประเด็นด้านความปลอดภัยที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น การพัฒนาโครงข่ายของตนเองจึงมีความเหมาะสมมากกว่า เมื่อพิจารณาในแง่ของความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและความสามารถในการบริหารจัดการ โดยอาจเลือกใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์เฉพาะในบาง Application หรือบางกรณีตามความเหมาะสม ซึ่งหากพิจารณาต้นทุนการลงทุนในกรณีที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าพัฒนาโครงข่ายของตนเอง พบว่าโครงข่าย CDMA450 ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มี Total Cost of Ownership ต่ำกว่ากรณีโครงข่าย RF Mesh ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ถึงแม้ว่าโครงข่าย CDMA450 มีต้นทุนในการลงทุนครั้งแรกสูงกว่าก็ตาม แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระยะยาวที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีจำนวนอุปกรณ์สื่อสารน้อยกว่ามาก อันเป็นผลมาจากการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ทำให้สามารถส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงได้ อีกทั้งคลื่นความถี่ 450 MHz มีผลกระทบจากการสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss) ต่ำ ดังนั้น สถานีฐานของโครงข่าย CDMA450 จึงครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างมาก กรณีศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเปรียบเทียบระหว่างการพัฒนาโครงข่าย RF Mesh บนย่านความถี่ที่ต่างกันได้เช่นกัน กล่าวคือ ย่านความถี่ที่ต่ำกว่ามีแนวโน้มที่จะมี Total Cost of Ownership ต่ำกว่า เนื่องจากคลื่นวิทยุความถี่ต่ำมีระยะทางสื่อสารไกล ทำให้ช่วยลดความจำเป็นในการติดตั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณหรือทวนสัญญาณ ส่งผลให้ต้นทุนค่าอุปกรณ์และการบำรุงรักษาต่ำกว่านั่นเอง

สำหรับผลการวิเคราะห์ความพร้อมใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดทั้งในระยะสั้นและระยะยาวของหน่วยงานการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สามารถสรุปได้ดังนี้

<u>การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย</u>

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ริเริ่มดำเนินโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ในพื้นที่ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน เพื่อแก้ไขปัญหาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าว โครงการนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ Application ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการและการควบคุมระบบไฟฟ้า กฟผ. จึงเลือกใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายเป็นหลัก โดยมีการใช้ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับรองรับการรับ-ส่งข้อมูลการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้าเท่านั้น ซึ่งระบบสื่อสารที่ใช้จะเป็นโครงข่ายเซลลูลาร์ 4G ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนั้น ในโครงการนี้ กฟผ. จึงยังไม่มีการสร้างโครงข่ายสื่อสารของตนเองทั้งกรณีคลื่นความถี่แบบ Licensed และแบบ Unlicensed นอกจากนี้ ปัจจุบัน กฟผ. ยังมีการใช้งานระบบสื่อสารสำหรับ Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอื่น ๆ แต่ทั้งหมดเป็นการใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายจึงไม่ได้มีการใช้คลื่นความถี่

สำหรับแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟผ. ในอนาคต ส่วนใหญ่ยังคงพิจารณาการใช้ระบบสื่อสารแบบมีสาย เช่น Optical Fiber, IP/MPLS, LAN และวงจรเช่า โดยในส่วนของ Demand Response และระบบ RE Forecast ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย ปัจจุบันยังอยู่ระหว่างการศึกษาโครงการจึงยังไม่มีการวางแผนออกแบบระบบสื่อสาร ทั้งนี้ ในกรณีที่มีการนำร่อง Demand Response และระบบ RE Forecast กฟผ. อาจพิจารณาเลือกใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ 4G ไปก่อน เนื่องจากมีความสะดวกต่อการทดสอบนำร่องในระยะแรก อย่างไรก็ตาม จากการประเมินเบื้องต้น กฟผ. คาดว่าจำเป็นต้องมีการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เนื่องจากเห็นว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อาจมีแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอต่อการใช้งานเพื่อรองรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด อีกทั้งยังมีข้อกังวลในด้านความเชื่อถือได้ (Reliability), ความพร้อมใช้งาน (Availability) และความปลอดภัย (Security) ของคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่งอาจไม่เพียงพอและเหมาะสมต่อการรับ-ส่งข้อมูลปฏิบัติการด้านการผลิตและสั่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็น Application ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศ ทั้งนี้ กฟผ. มีความเห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดย กฟผ. มีความจำเป็นต้องเตรียมระบบสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสำหรับงาน 2 ส่วนหลัก ได้แก่ งานภาคปฏิบัติการ (Operation Side) และงานภาคผลิต (Supply Side) สำหรับพื้นที่ห่างไกลที่ไม่อยู่ในแนวข่ายสาย Optical Ground Wire (OPGW) หรืออยู่ในพื้นที่ไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้

จากความต้องการใช้งานดังกล่าว กฟผ. มีความประสงค์เพื่อขอให้ กสทช. จัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ชนิด Non-line-of-sight ที่เหมาะสม สำหรับการสื่อสารในกิจการไฟฟ้าและระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดตามที่กล่าวถึงข้างต้น นอกจากนี้ กฟผ. ยังอยู่ระหว่างการศึกษาเพื่อใช้งานย่านความถี่ 5 GHz ทั้งแบบ Licensed และ Unlicensed สำหรับสนับสนุนกิจการภายใน กฟผ. ซึ่งรวมถึงงานด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตด้วย ดังนั้น กฟผ. จึงขอให้ กสทช. พิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ในย่านความถี่ 5 GHz เช่นกัน เพื่อรองรับการใช้งานในภารกิจด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตต่อไป

<u>การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค</u>

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีแผนนำร่องพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี ได้แก่ การพัฒนาระบบ AMI (Advanced Metering Infrastructure), ระบบแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องอัจฉริยะแบบเคลื่อนที่ (Mobile Workforce Management System: MWMS), ระบบ Substation Automation และระบบ IT Integration System ทั้งนี้ การใช้คลื่นความถี่ในโครงการนำร่องดังกล่าว ได้แก่ โครงข่าย RF และโครงข่ายเซลลูลาร์ เพื่อรองรับระบบ AMI โดยในกรณีโครงข่าย RF จะพิจารณาการใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นหลัก อย่างไรก็ตาม กฟภ. ไม่ปิดกั้นการใช้งานเทคโนโลยีบนคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อื่น ๆ ที่เป็นมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลกที่น่าเชื่อถือ และ กฟภ. ยังเปิดโอกาสในการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในกรณีที่บริษัทผู้เสนอราคาเป็นผู้รับผิดชอบการดำเนินการและค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการขอใช้คลื่นความถี่

นอกจากนี้ กฟภ. ยังมีโครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid) ที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน และโครงการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนบนพื้นที่เกาะกูด เกาะหมาก จ.ตราด ซึ่ง Application ที่นำมาใช้งานใน 2 โครงการดังกล่าวมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ระบบบริหารจัดการ Microgrid โดยใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร ดังนั้น ทั้ง 2 โครงการนี้จึงไม่มีความต้องการใช้คลื่นความถี่ อย่างไรก็ตาม แผนการใช้งานระบบสื่อสารของทั้ง 2 โครงการยังอยู่ระหว่างการพิจารณาซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม

ปัจจุบัน กฟภ. ยังมีการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับ Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอื่น ๆ เช่น ระบบ AMR สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ทั่วประเทศ ซึ่งใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/3G และระบบ SCADA ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในย่าน 450-470 MHz และ 470-512 MHz

สำหรับแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคต กฟภ. มีความต้องการใช้คลื่นความถี่จำนวนมาก โดยเฉพาะเพื่อรองรับระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI ซึ่ง กฟภ. มีแผนขยายระบบให้ครอบคลุมทั่วประเทศในอนาคต รวมทั้งยังมีแผนในการนำมาตรการ Demand Response มาใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. ทั่วประเทศเช่นกัน ดังนั้น โครงข่ายสื่อสารไร้สายที่เชื่อมโยงกับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. จึงต้องมีความเชื่อถือได้ ความพร้อมใช้งาน และความปลอดภัยที่สูงมาก โดยเฉพาะเพื่อรองรับการสั่งการ Demand Response ให้เกิดประสิทธิภาพ แต่เนื่องจาก กสทช. ยังไม่มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด กฟภ. จึงยังวางแผนใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed โดยพิจารณาทั้งในย่าน 433 MHz, 920-925 MHz และ 2.4-2.5 GHz อย่างไรก็ตาม กฟภ. มีความเห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อสารมาบริหารจัดการเพื่อให้โครงข่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ มั่นคง เชื่อถือได้ และมีคุณภาพไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล โดยจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารในช่วง Last Mile เพื่อเชื่อมโยงการสื่อสารสำหรับรองรับการให้บริการต่าง ๆ ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ทั้งนี้ ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF ถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินงานด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังนั้น การจัดสรรคลื่นความถี่เฉพาะสำหรับรองรับงานด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในช่วง Last Mile จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนนโยบายการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานของหน่วยงานภาครัฐ และทำให้ กฟภ. สามารถดำเนินการตามวิธีการแบบปลอดภัยใน

ระดับเคร่งครัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเกี่ยวข้องกับงานด้านการควบคุมและการสั่งการระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็น Critical Infrastructure ที่มีผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าและความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ โดย กฟภ. มีความเห็นในทิศทางการขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ในนามของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ซึ่งย่านความถี่ 430-450 MHz ถือว่ามีความเหมาะสมในการขอจัดสรรเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากสามารถรองรับระยะสื่อสารได้ไกล อีกทั้งคลื่นความถี่ในย่านนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในหลายประเทศ ทั้งนี้ การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรก กฟภ. สามารถใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ไปก่อนได้ เนื่องจาก Application ที่นำมาใช้งานในระยะแรกจะเน้นไปที่การพัฒนาระบบ AMI ซึ่งยังมีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่ไม่สูงมากนัก อย่างไรก็ตาม เพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตซึ่งเป็น Application ที่เกี่ยวข้องกับความเชื่อถือได้และความมั่นคงของระบบโครงข่ายไฟฟ้า กสทช. ควรพิจารณาจัดสรรย่านความถี่แบบ Licensed เพื่อรองรับการใช้งานดังกล่าว

<u>การไฟฟ้านครหลวง</u>

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะแรกของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) มีแผนในการนำร่องพัฒนาระบบ AMI ซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าตลอดจนพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่น ๆ รวมทั้งช่วยในการคำนวณค่าไฟฟ้าและออกบิลเรียกชำระเงินให้มีความถูกต้องและรวดเร็ว การใช้คลื่นความถี่ในโครงการดังกล่าวได้แก่ โครงข่าย RF และโครงข่ายเซลลูลาร์ โดยในกรณีโครงข่าย RF จะเป็นการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่ง กฟน. พิจารณาย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นหลัก อย่างไรก็ตาม กฟน. ไม่ปิดกั้นการใช้งานเทคโนโลยีบนคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อื่น ๆ ที่เป็นมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลกที่น่าเชื่อถือตามที่ กสทช. อนุญาต

ปัจจุบัน กฟน. ยังมีการใช้งานระบบสื่อสารสำหรับ Application ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอื่น ๆ เช่น MEA Smart Life (เป็น Application สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่) และระบบ Field Force Management ซึ่งใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์เป็นระบบสื่อสาร นอกจากนี้ ยังมีการใช้งานย่านความถี่ 800 MHz ระบบ Digital Trunked สำหรับเครื่องวิทยุสื่อสารเพื่อใช้ติดต่อระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับศูนย์สั่งการระบบไฟฟ้าและการไฟฟ้านครหลวงเขตต่าง ๆ

สำหรับแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคต กฟน. มีความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับหลาย Application ทั้งที่เป็น Application ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI, Demand Response และระบบบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้า รวมทั้ง Application ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบไฟฟ้า เช่น ระบบ Distribution Automation และ Microgrid โดย กฟน. วางแผนใช้งานระบบสื่อสารไร้สายแบบ Unlicensed สำหรับรองรับ Application ที่เป็น Non-critical Infrastructure ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบไฟฟ้า ส่วน Application ที่เป็น Critical Infrastructure ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้า เช่น ระบบ Distribution Automation และ Microgrid นั้น กฟน. เลือกใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสารหลัก โดยทั้ง 2 กรณี กฟน. อาจพิจารณาใช้งานระบบสื่อสารไร้สายแบบ Licensed เพิ่มเติม ในกรณีที่ กสทช. มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

กฟน. เห็นว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในปัจจุบันตามที่ กสทช. อนุญาติ น่าจะเพียงพอสำหรับรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน. ในส่วนของ Application ที่เป็น Non-critical Infrastructure ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่บริการของ กฟน. มีขนาดเล็ก จึงค่อนข้างสะดวกต่อการติดตั้งระบบสื่อสารแบบมีสาย เช่น โครงข่าย Optical Fiber เพื่อรองรับ Application ที่เป็น Critical Infrastructure ได้ง่ายกว่ากรณีของ กฟผ. และ กฟภ. ซึ่งมีพื้นที่บริการขนาดใหญ่และครอบคลุมพื้นที่ห่างไกลจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม กฟน. มีข้อกังวลเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่นกัน โดยเฉพาะปัญหาด้านการรบกวนของสัญญาณ อันเนื่องมาจากความหนาแน่นของการใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในย่านชุมชนหนาแน่น ซึ่งอาจส่งผลให้การรับ-ส่งข้อมูลประสบปัญหาในบางช่วงเวลา โดยเฉพาะย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ที่มีการใช้งานหนาแน่นในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล อีกทั้งการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed อาจไม่มีความปลอดภัยเพียงพอ อาจก่อให้เกิดการขโมยข้อมูลหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในระบบที่มีการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์ ทั้งนี้ แม้ว่า กฟน. เลือกใช้โครงข่าย Optical Fiber สำหรับ Application ที่เป็น Critical Infrastructure แต่หากสามารถใช้ระบบสื่อสารไร้สายคลื่นความถี่แบบ Licensed ได้ก็จะช่วยในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของ กฟน. ได้ดียิ่งขึ้น ทั้งกรณี Application ที่เป็น Non-critical Infrastructure และ Critical Infrastructure

ดังนั้น กฟน. เห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับหน่วยงานด้านพลังงานให้ใช้งานย่านความถี่เดียวกัน เพื่อความชัดเจนในการพัฒนาระบบสื่อสารที่เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศ และเป็นการกำหนดมาตรฐานให้กับผู้ผลิตอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ให้สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ตามย่านความถี่ที่กำหนด การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะสามารถรองรับการทำงานของ Application ที่มีความสำคัญต่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้าได้ โดย กฟน. มีความต้องการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับสำหรับพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังนี้

- พ.ศ. 2561-2563: กฟน. มีความประสงค์ขอใช้ความถี่ CH201 - CH237 (442.5125/447.5125 MHz ถึง 442.9625/447.9625 MHz) หรือตามความเหมาะสมที่ กสทช. จะพิจารณาจัดสรรให้ สำหรับรองรับการใช้งานในระบบ AMI, การอ่านหน่วยพลังงานไฟฟ้า, การตรวจจับการละเมิดการใช้ไฟฟ้า, การจัดการปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง และ Demand Response
- ตั้งแต่ พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป: กฟน. ต้องการใช้แบนด์วิดท์เพิ่มเติมอีก 2 MHz โดยขอให้ กสทช. พิจารณาจัดสรรย่านความถี่ที่เหมาะสม เพื่อรองรับการพัฒนาระบบบริหารจัดการไฟสาธารณะ (Smart Streetlight), การบริหารจัดการทรัพย์สิน (Computerized Maintenance Management System), การบริหารจัดการโหลดหม้อแปลง (Transformer Load Monitoring (TLM) และระบบรักษาความปลอดภัยในสถานีไฟฟ้าและสำนักงานการไฟฟ้า

10.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทั้งหมด สามารถสรุปแนวทางการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทยได้เป็น 3 แนวทาง ดังนี้

1) การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับ Application ที่เป็น Non-critical Infrastructure ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมระบบไฟฟ้า ทั้งนี้ กสทช. กำหนดคลื่นความถี่ที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตทั้งหมด 9 ย่านความถี่ โดยมีการจำกัดกำลังส่งสูงสุด (e.i.r.p.) ในแต่ละย่านความถี่ดังกล่าว แต่อุปกรณ์ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในตลาดส่วนใหญ่จะใช้งานย่านความถี่ 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.4 GHz และ 5 GHz ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทยจะอยู่ที่ 4 ย่านความถี่ดังกล่าวเป็นหลัก
2) การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับ Application ที่เป็น Critical Infrastructure ซึ่งเกี่ยวข้องกับความมั่นคงและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า โดยให้การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ขอจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดร่วมกันในนามของหน่วยงานการไฟฟ้าทั้งหมด รวมทั้งควรมีการหารือกับหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่มีโอกาสติดตั้งระบบสมาร์ทมิเตอร์ โดย กสทช. จะไม่กำหนดคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการเฉพาะ ทั้งนี้ ขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับกิจการที่ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถใช้งานได้ ได้แก่ กิจการประจำที่และกิจการเคลื่อนที่ ซึ่งย่านความถี่ที่มีความเหมาะสมทางเทคนิคและต้นทุนการลงทุน คือ ย่าน 430-450 MHz
3) การขอใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตจาก กสทช. ซึ่งในบริบทของประเทศไทยจะเป็นการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นหลัก นอกจากนี้ การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ควรมีการหารือร่วมกับผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมต่าง ๆ ที่ได้รับใบอนุญาตจาก กสทช. เกี่ยวกับโอกาสความร่วมมือทางธุรกิจในการใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยเฉพาะบางย่านความถี่ที่มีปริมาณการใช้งานจากลูกค้าทั่วไปค่อนข้างน้อย หรือไม่สามารถรองรับเทคโนโลยีตามความต้องการใช้งานปัจจุบันของลูกค้าทั่วไปที่ต้องการระบบสื่อสารที่รวดเร็วขึ้นมาก จึงเป็นโอกาสที่จะนำย่านความถี่ดังกล่าวมาใช้รองรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (Machine-to-Machine) ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้

นอกจากนี้ สำนักงาน กสทช. ควรมีการเผยแพร่ข้อมูลย่านความถี่แบบ Licensed ที่ยังว่างออกสู่สาธารณะ (Public) เพื่อที่หน่วยงานต่าง ๆ สามารถศึกษาและพิจารณาความเหมาะสมในขอจัดสรรคลื่นความถี่ให้ตรงตามความต้องการใช้งานมากที่สุด ทั้งนี้ ย่านความถี่ที่ยังว่างและเผยแพร่ออกสู่สาธารณะนี้จะต้องไม่เป็นย่านความถี่ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของประเทศไทย

ตอนที่ 3

ข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสม สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย

บทที่ 11
แนวทางการใช้คลื่นความถี่สำหรับ ระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย

โครงสร้างของระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีลักษณะสถาปัตยกรรมแบบลำดับชั้น (Hierarchical) ซึ่งจำแนกตามอัตราข้อมูลและระยะครอบคลุมได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

- โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network) เช่น โครงข่าย Home Area Network (HAN), โครงข่าย Building Area Network (BAN) และ โครงข่าย Industrial Area Network (IAN)
- โครงข่าย Neighborhood Area Network/Field Area Network (NAN/FAN)
- โครงข่าย Wide Area Network (WAN)

นอกจากนี้ ยังมีบาง Application ที่มีลักษณะเป็นการสื่อสารภายในโครงข่ายของการไฟฟ้าเท่านั้น เช่น ระบบ Substation Automation

Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถจำแนกให้สอดคล้องกับโครงสร้างของระบบสื่อสารข้างต้นได้ตามลักษณะการสื่อสารของแต่ละ Application ทั้งนี้ การเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายและคลื่นความถี่ให้เหมาะสมนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงความต้องการด้านระบบสื่อสารของแต่ละ Application เช่น Application ในโครงข่ายในส่วนผู้ใช้ไฟฟ้า (Premise Network) หรือโครงข่าย HAN/BAN/IAN (Home Area Network/Building Area Network/Industrial Area Network) เป็นโครงข่ายที่สนับสนุนการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรองรับ Application ภายในสถานที่ของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น ระบบอัตโนมัติหรือระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน อาคาร หรือโรงงาน ซึ่ง Application เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องมีการรับ-ส่งข้อมูลบ่อยครั้ง และการสื่อสารส่วนใหญ่เป็นลักษณะการรับ-ส่งข้อมูลตรวจวัดทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ควบคุมภายในบ้าน อาคาร หรือโรงงาน ซึ่งมีขนาดพื้นที่จำกัด ดังนั้น ความต้องการด้านระบบสื่อสารจะมุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก เรียบง่าย และมีความปลอดภัยในการสื่อสาร รวมทั้งสามารถเชื่อมต่อกับโครงข่าย NAN/FAN ผ่านทางสมาร์ทมิเตอร์หรืออุปกรณ์เกตเวย์ เพื่อให้การไฟฟ้าสามารถให้บริการ Application ที่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย NAN/FAN ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้ เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับอัตราข้อมูลได้ถึง 100 kbps และระยะสื่อสารสูงสุด 100 เมตร เช่น ZigBee, WiFi, Z-Wave และ Bluetooth ถือว่าเพียงพอแล้วสำหรับการรองรับ Application ทั่วไปในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า

กรณี Application ในโครงข่าย NAN/FAN เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMI/AMR, Demand Response และระบบ Distribution Automation ซึ่งต้องรองรับการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมากกับอุปกรณ์รวบรวมข้อมูล (Data Concentrator) หรือสถานีไฟฟ้า จึงต้องการเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงขึ้น (เช่น 100 kbps - 10 Mbps) และมีระยะสื่อสารที่ไกลขึ้น (เช่น 100 เมตร - 10 กิโลเมตร) ตัวอย่างเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้ เช่น ZigBee Mesh, WiFi Mesh, WiMax และโครงข่าย

เซลลูลาร์ ส่วน Application ในโครงข่าย WAN เช่น การควบคุม การตรวจสอบ และการป้องกันในพื้นที่กว้าง (Wide-area Control, Monitoring and Protection) ซึ่งมีการรับ-ส่งข้อมูลจำนวนมากแบบเวลาจริง (Real-time) เพื่อรองรับการควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ตลอดเวลา ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงมาก (เช่น 10 Mbps - 1 Gbps) และมีระยะสื่อสารที่ไกลมาก (เช่น 10 - 100 กิโลเมตร) อีกทั้ง Application เหล่านี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานด้านการควบคุมระบบไฟฟ้าจึงถือเป็น Application ที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ด้วยเหตุนี้ การไฟฟ้าจึงมักพิจารณาใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นหลัก

ดังนั้น โดยทั่วไปแล้วระบบสื่อสารไร้สายมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากกว่าระบบสื่อสารแบบมีสาย เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำและสามารถติดตั้งใช้งานได้รวดเร็ว อีกทั้งมีความคล่องตัวและความยืดหยุ่นสูงกว่า เว้นแต่ Application ที่มีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่เข้มงวดอย่างมาก เช่น Application ในโครงข่าย WAN ที่อาจจำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายที่มีสมรรถนะสูงมากกว่าการใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย เช่น โครงข่าย Optical Fiber เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้ ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยส่วนใหญ่จะใช้เพื่อรองรับ Application ในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า และ Application ในโครงข่าย NAN/FAN เป็นหลัก ส่วน Application ในโครงข่าย WAN และ Application ในโครงข่ายของการไฟฟ้า มักเป็นการใช้งานโครงข่าย Optical Fiber หรือระบบสื่อสารแบบมีสายอื่น ๆ

นอกจากความต้องการด้านระบบสื่อสารแล้ว การเลือกเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่เหมาะสมยังต้องพิจารณาความสำคัญของข้อมูลในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งอาจแบ่งความสำคัญของข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) Non-critical: ได้แก่ ข้อมูลของ Application ที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมสั่งการภายในระบบไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น ข้อมูลการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า รวมไปถึงข้อมูลการสั่งการที่ไม่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าหลัก เช่น การสั่งการเกี่ยวกับ Demand Response, ระบบกักเก็บพลังงานในระดับผู้ใช้ไฟฟ้า และสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
2) Critical: ได้แก่ ข้อมูลของ Application ในงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมสั่งการภายในระบบไฟฟ้า และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าหลัก ซึ่งหากการสื่อสารข้อมูลของ Application เหล่านี้เกิดความผิดพลาด อาจส่งผลกระทบต่อการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ ดังนั้น การใช้ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับ Application เหล่านี้ ควรเป็นลักษณะคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นด้านความเชื่อถือได้ (Reliability), ความพร้อมใช้งาน (Availability) และความปลอดภัย (Security) ของโครงข่ายสื่อสาร

ตารางที่ 11-1 แสดงการวิเคราะห์ความสำคัญของข้อมูลและการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับ Application ที่สำคัญของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ตามแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579

ตารางที่ 11-1 ข้อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับ Application ต่าง ๆ ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

Application	**วัตถุประสงค์และ ลักษณะการใช้งาน**	**ความสำคัญ ของข้อมูล**	การใช้คลื่นความถี่ ที่เหมาะสม
Application ในโครงข่ายของผู้ใช้ไฟฟ้า HAN/BAN/FAN (Home/Building/Factory Area Network)			
ระบบบริหารจัดการพลังงาน HEMS/BEMS/FEMS	▪ การรับ-ส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และคำสั่งควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้านอยู่อาศัย อาคาร หรือโรงงาน เพื่อบริหารจัดการการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ▪ เชื่อมต่อกับการไฟฟ้าผ่านสมาร์ทมิเตอร์หรืออุปกรณ์เกตเวย์ เพื่อรองรับการให้บริการ Application ต่าง ๆ ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น บริการเติมเงินค่าไฟฟ้า, การส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า, อัตราค่าไฟฟ้าแบบ Real-time Pricing, การบริหารจัดการโหลด (Load Management) และมาตรการ Demand Response เป็นต้น	Non-critical	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
Application ในโครงข่ายระดับ NAN/FAN (Neighborhood Area Network/Field Area Network)			
ระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI	▪ ช่วยให้การไฟฟ้าสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์ได้อย่างอัตโนมัติผ่านระบบสื่อสารแบบทางเดียว (AMR) หรือสองทาง (AMI) แทนการจดหน่วยแบบ Manual เพื่อประมวลผลจัดทำใบแจ้งค่าไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ▪ กรณีที่เป็นระบบ AMI สามารถรองรับการให้บริการต่าง ๆ ในอนาคต เช่น - บริการเติมเงินค่าไฟฟ้า (Prepayment) - การตรวจสอบค่าบริการ/พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า - อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU/CPP/RTP - การบริหารจัดการโหลด (Load Management) - มาตรการ Demand Response - การตัด-ต่อมิเตอร์จากระยะไกล	Non-critical	▪ คลื่นความถี่แบบ Unlicensed โดยต้องมีการออกแบบระบบโครงข่ายสื่อสารอย่างรอบคอบ โดยเฉพาะในพื้นที่ชุมชนหนาแน่น ▪ การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในบางพื้นที่ เช่น พื้นที่ชุมชนหนาแน่น จะช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้โดยรวมของโครงข่ายสมาร์ทมิเตอร์ ▪ โครงข่ายเซลลูลาร์ในกรณีพื้นที่ห่างไกล

Application	วัตถุประสงค์และ ลักษณะการใช้งาน	ความสำคัญ ของข้อมูล	การใช้คลื่นความถี่ ที่เหมาะสม
Demand Response	▪ เพื่อส่งเสริมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเอง โดยตอบสนองต่อต้นทุนค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ และสภาวะฉุกเฉินของระบบไฟฟ้า เป็นการช่วยลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ให้กับระบบไฟฟ้า ▪ การใช้งานจะเป็นลักษณะการรับ-ส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และคำสั่งการลดการใช้ไฟฟ้า/สัญญาณตอบสนองต่อคำสั่งการ ระหว่างการไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้า	Non-critical	▪ สามารถใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed และโครงข่ายเซลลูลาร์ได้ ▪ การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะช่วยให้การสั่งการมีความเชื่อถือได้มากขึ้น
Distribution Automation	▪ การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สำคัญในระบบจำหน่ายแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยการสื่อสารและการจัดการข้อมูลของระบบเซนเซอร์และอุปกรณ์ตัดต่อวงจรอัตโนมัติ ซึ่งติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่าย เพื่อตรวจสอบและควบคุมการทำงานของระบบจำหน่ายให้เหมาะสมที่สุด ▪ สามารถจำกัดพื้นที่ไฟฟ้าขัดข้อง และแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น รองรับการฟื้นฟูระบบจำหน่ายด้วยตนเองแบบอัตโนมัติ (Self-healing) ▪ ช่วยในการควบคุมสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบจำหน่ายได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ	Critical	▪ คลื่นความถี่แบบ Licensed ▪ หากไม่ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ควรใช้เทคโนโลยีแบบมีสาย
ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า)	▪ การส่งข้อมูลสถานะของระบบกักเก็บพลังงาน เพื่อให้การไฟฟ้าสามารถ Monitor การใช้งานระบบกักเก็บพลังงานได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ▪ การไฟฟ้าอาจมีการส่งคำสั่งการให้ระบบกักเก็บพลังงานอัดประจุ/คายประจุ เพื่อช่วยลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด และรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น ในลักษณะของ Demand Response	Non-critical	▪ สามารถใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed และโครงข่ายเซลลูลาร์ได้ ▪ การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะช่วยให้การสั่งการมีความเชื่อถือได้มากขึ้น

Application	วัตถุประสงค์และ ลักษณะการใช้งาน	ความสำคัญ ของข้อมูล	การใช้คลื่นความถี่ ที่เหมาะสม
ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับกริด)	▪ การรับ-ส่งข้อมูลสถานะของระบบกักเก็บพลังงาน และคำสั่งการอัดประจุ/คายประจุไปยังอุปกรณ์กักเก็บพลังงานในระบบส่งหรือระบบจำหน่าย เพื่อช่วยลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด, รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า/คุณภาพไฟฟ้า และป้องกันเหตุขัดข้องต่าง ๆ ▪ ระบบกักเก็บพลังงานเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยลดผลกระทบจากแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวนสูง	Critical	▪ คลื่นความถี่แบบ Licensed ▪ หากไม่ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ควรใช้เทคโนโลยีแบบมีสาย
ระบบ Microgrid	▪ การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ เพื่อรองรับการบริหารจัดการ Microgrid ให้สามารถควบคุมสมดุลระหว่างกำลังการผลิตกับความต้องการไฟฟ้าได้ทั้งในสภาวะปกติที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักและในสภาวะฉุกเฉินที่แยกตัวเป็นอิสระจากระบบไฟฟ้าหลัก (Islanding) ▪ Microgrid เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยลดผลกระทบจากแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวนสูง	Critical	▪ คลื่นความถี่แบบ Licensed ▪ หากไม่ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ควรใช้เทคโนโลยีแบบมีสาย
ระบบ RE Forecast	▪ แหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนบางชนิดมีกำลังการผลิตที่แปรผันตามสภาพอากาศ ซึ่งส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนในภาคการผลิตไฟฟ้า ▪ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีศูนย์พยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มกำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยการเชื่อมโยงข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศจากต่างประเทศ/กรมอุตุนิยมวิทยา และศูนย์ควบคุมสั่งการผลิตไฟฟ้า	Non-critical	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed และโครงข่ายเซลลูลาร์

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	ความสำคัญของข้อมูล	การใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสม
ระบบการบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า	▪ พัฒนาระบบบริหารจัดการสถานีอัดประจุไฟฟ้าให้สามารถควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ▪ ในอนาคตอาจรวมไปถึงการสั่งการให้ยานยนต์ไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า (V2G)	Non-critical	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed และโครงข่ายเซลลูลาร์
ระบบสื่อสารข้อมูลกับ SPP/VSPP	▪ การติดต่อสื่อสารระหว่างการไฟฟ้า กับ SPP/VSPP เป็นช่องทางในการรับ-ส่งข้อมูลต่าง ๆ เพื่อควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของการผลิตไฟฟ้า ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าหลัก รวมถึงเป็นช่องทางสื่อสารด้านการบริหารงาน ▪ เป็นการเชื่อมโยง SPP/VSPP เข้ากับระบบ SCADA/EMS/DMS ของการไฟฟ้า	Critical	▪ คลื่นความถี่แบบ Licensed ▪ หากไม่ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ควรใช้เทคโนโลยีแบบมีสาย
Smart Streetlight	การบริหารจัดการการทำงานของโคมไฟสาธารณะ เพื่อบริหารการใช้สินทรัพย์และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนอำนวยความสะดวกและเพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน	Non-critical	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed และโครงข่ายเซลลูลาร์
Application ในโครงข่ายระดับ WAN (Wide Area Network)			
Wide Area Monitoring System	เป็นการ Monitor ระบบไฟฟ้าทั้งหมดแบบพื้นที่กว้าง โดยการส่งข้อมูลสถานะของระบบไฟฟ้าและข้อมูลการตรวจวัดจากอุปกรณ์ PMU จำนวนมากซึ่งติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้า ไปยังระบบ SCADA/EMS เพื่อช่วยยกระดับของการประเมินเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า	Critical	▪ เนื่องจากต้องรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากแบบ Real-time และต้องการความเชื่อถือได้สูงมาก จึงเหมาะสมกับเทคโนโลยีแบบมีสาย เช่น Optical Fiber ▪ สามารถใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ช่วยเสริมได้ เช่น พื้นที่ห่างไกลที่ไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้
Wide Area Protection System	▪ รองรับการป้องกันในระบบไฟฟ้าแบบอัตโนมัติอย่างเต็มรูปแบบ เพื่อป้องกันเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ, ความแออัด/ความตึงเครียดในระบบไฟฟ้า และเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดต่าง ๆ ▪ โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการปลดโหลดและการทำ Adaptive Islanding ซึ่งมี		

Application	วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน	ความสำคัญของข้อมูล	การใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสม
	ประโยชน์ต่อการรับมือกับความไม่แน่นอนต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้เวลาในการตอบสนองที่รวดเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้นำไปสู่เหตุการณ์ไฟดับเป็นบริเวณกว้าง		
Wide Area Control System	▪ สนับสนุนความสามารถในการฟื้นฟูระบบไฟฟ้าด้วยตนเองแบบอัตโนมัติ (Self-healing) ซึ่งตอบสนองได้รวดเร็วกว่าการสั่งการแบบ Manual โดยศูนย์ควบคุม ▪ การทำงานจะเป็นลักษณะการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งสามารถตอบสนองต่อคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว เช่น การเดินเครื่องใหม่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังจากทริป, การควบคุมการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและแรงดันไฟฟ้าเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ อีกทั้งทำหน้าที่เป็นชั้นการป้องกันเพิ่มเติม เพื่อช่วยป้องกันเหตุการณ์ไฟดับ ตลอดจนควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าแบบ Real-time		
Application ในโครงข่ายของการไฟฟ้า			
Substation Automation	▪ เพิ่มความสามารถให้กับระบบควบคุมของสถานีไฟฟ้า ให้รองรับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าทั้งโดยบุคคลและโดยระบบอัตโนมัติ โดยมีการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์แบบ Real-time ▪ เพื่อให้ระบบ SCADA (ศูนย์สั่งการ) สามารถควบคุมอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ	Critical	ไม่เหมาะสมกับการใช้ระบบสื่อสารไร้สาย เนื่องจากการไฟฟ้ามีโครงข่าย Optical Fiber ไปยังสถานีไฟฟ้าอยู่แล้ว

จากการศึกษาแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง พบว่ายังไม่มีปริมาณงานที่ชัดเจนเพียงพอในการกำหนดความต้องการคลื่นความถี่สำหรับแต่ละ Application ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด อีกทั้งการไฟฟ้าแต่ละแห่งก็ยังไม่สามารถระบุความต้องการคลื่นความถี่ที่ชัดเจนสำหรับแต่ละ Application ส่งผลให้สำนักงาน กสทช. ไม่สามารถทราบความต้องการคลื่นความถี่ที่เหมาะสมต่อการจัดสรรเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย โดยเฉพาะสำหรับ Application ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้วิเคราะห์ความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง โดยวิเคราะห์จากความต้องการใช้คลื่นความถี่โดยทั่วไปของแต่ละ Application ดังกล่าวจากกรณีศึกษาในต่างประเทศ สรุปผลได้ดังตารางที่ 11-2

ตารางที่ 11-2 ความต้องการคลื่นความถี่ของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

Application	ความต้องการแบนด์วิดท์ (kbps)			หมายเหตุ
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2570 เป็นต้นไป)	
Application ในโครงข่ายของผู้ใช้ไฟฟ้า HAN/BAN/FAN (Home/Building/Factory Area Network)				
HEMS/BEMS/FEMS	-	-	-	เป็นการใช้ระบบสื่อสารของเจ้าของสถานที่ จึงไม่มีความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับการไฟฟ้า
Application ในโครงข่ายระดับ NAN/FAN (Neighborhood Area Network/Field Area Network)				
สมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI ▪ กฟภ. ▪ กฟน.	 100 150-200	 100 150-200	 150 200-250	- กฟน. เป็นพื้นที่ชุมชนหนาแน่นจึงอาจต้องการแบนด์วิดท์ที่สูงกว่า กฟภ. - ในอนาคตระบบ AMI อาจจำเป็นต้องรองรับบริการใหม่ ๆ จึงต้องการแบนด์วิดท์มากขึ้น
Demand Response และระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า) ▪ กฟผ. ▪ กฟภ. ▪ กฟน.	 - 10-50 10-50	 - 10-50 10-50	 - 10-50 10-50	- การสร้างระบบสื่อสาร RF อาจไม่คุ้มค่าสำหรับ กฟผ. การใช้ระบบอินเทอร์เน็ตของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโครงข่ายเซลลูลาร์จะเหมาะสมมากกว่า - กรณี กฟภ. และ กฟน. สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกับระบบ AMI ได้ เนื่องจาก Demand Response มีการสั่งการเป็นครั้งคราวเท่านั้น - ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า) อาจพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของมาตรการ Demand Response

Application	ความต้องการแบนด์วิดท์ (kbps)			หมายเหตุ
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2570 เป็นต้นไป)	
ระบบการบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า ■ กฟผ. ■ กฟภ. ■ กฟน.	- - -	- - -	- 10-50 10-50	- ในระยะแรกการใช้โครงข่ายเซลลูลาร์มีความเหมาะสมมากกว่า แต่ในอนาคตจำเป็นต้องมีระบบบริหารการอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้ระบบสื่อสารแบบ RF ซึ่งอาจเป็นการใช้คลื่นความถี่ร่วมกับระบบ AMI - กรณี กฟผ. การสร้างระบบสื่อสาร RF อาจไม่คุ้มค่า ควรใช้ระบบอินเทอร์เน็ตของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโครงข่ายเซลลูลาร์จะเหมาะสมมากกว่า
Distribution Automation ■ กฟภ. ■ กฟน.	10-100 10-100	10-100 10-100	10-100 10-100	- ความต้องการแบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์และความสามารถของระบบ - กฟภ. และ กฟน. วางแผนใช้ Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร แต่อาจเพิ่มการใช้คลื่นความถี่ Licensed ในกรณี กสทช. อนุญาต
ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับกริด) และ Microgrid	-	-	-	ทั้ง 3 การไฟฟ้าวางแผนใช้ Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร
ระบบ RE Forecast ■ กฟผ. ■ กฟภ.	? ?	? ?	? ?	กฟผ. และ กฟภ. อยู่ระหว่างการศึกษาโครงการ จึงยังไม่ทราบความต้องการใช้งานที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม มีความปเนไปได้ที่ระบบ RE Forecast ไม่จำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารแบบ RF
ระบบสื่อสารกับ SPP/VSPP ■ กฟผ. ■ กฟภ. ■ กฟน.	- ? -	- ? -	- ? -	- ทั้ง 3 การไฟฟ้า วางแผนใช้ Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร - กฟภ. อาจมีการใช้ระบบสื่อสารแบบ RF เสริมในบางพื้นที่ โดยใช้คลื่นความถี่เดียวกับที่ได้รับจัดสรรสำหรับระบบ SCADA
Smart Streetlight ■ กฟน.	10-50	10-50	10-50	ความต้องการแบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์และความสามารถของระบบ
Application ในโครงข่ายระดับ WAN (Wide Area Network)				
Wide Area Monitoring System Wide Area Protection System Wide Area Control System	-	-	-	เนื่องจากต้องรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากแบบ Real-time และต้องการความเชื่อถือได้สูงมาก การไฟฟ้าแต่ละแห่งจึงวางแผนใช้ระบบสื่อสาร Optical Fiber

Application	ความต้องการแบนด์วิดท์ (kbps)			หมายเหตุ
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2570 เป็นต้นไป)	
Application ในโครงข่ายของการไฟฟ้า				
Substation Automation	-	-	-	การไฟฟ้าแต่ละแห่งวางแผนใช้ระบบสื่อสาร Optical Fiber เนื่องจากมีโครงข่าย Optical Fiber ไปยังสถานีไฟฟ้าอยู่แล้ว
สรุปความต้องการใช้คลื่นความถี่ของแต่ละการไฟฟ้า				
กฟผ.	-	-	-	- ระบบสมาร์ทกริดของ กฟผ. ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของระบบไฟฟ้า จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้งานโครงข่าย Optical Fiber - กรณีที่จำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารไร้สาย กฟผ. ไม่คุ้มค่าที่จะสร้างโครงข่าย RF ด้วยตนเอง โดยควรใช้โครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคมจะมีความเหมาะสมมากกว่า
กฟภ.	200	200	250	- Application ส่วนใหญ่สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกับระบบสมาร์ทมิเตอร์ได้ เนื่องจากไม่ได้รับ-ส่งข้อมูลตลอดเวลา - ความต้องการแบนด์วิดท์ส่วนใหญ่มาจากระบบสมาร์ทมิเตอร์และ Distribution Automation
กฟน.	300-350	300-350	350-400	- Application ส่วนใหญ่สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกับระบบสมาร์ทมิเตอร์ได้ เนื่องจากไม่ได้รับ-ส่งข้อมูลตลอดเวลา - ความต้องการแบนด์วิดท์ส่วนใหญ่มาจากระบบสมาร์ทมิเตอร์และ Distribution Automation และพื้นที่ของ กฟน. เป็นชุมชนหนาแน่นจึงมีความต้องการแบนด์วิดท์สูงกว่า กฟภ. - กฟน. ยังมีแผนพัฒนา Application อื่นๆ ในโครงข่าย NAN/FAN เช่น Smart Streetlight และ Transformer Load Management

<u>หมายเหตุ</u>: ความต้องการใช้คลื่นความถี่ข้างต้นพิจารณาบนพื้นฐานต่อจุดรวบรวบข้อมูล (Concentrator) ในโครงข่าย NAN/FAN โดยแต่ละจุดรวบรวมข้อมูลสามารถใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ เพื่อให้เกิดการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การใช้งานจริงอาจมีความต้องการที่แตกต่างจากนี้ได้โดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย สามารถแบ่งได้เป็น 3 แนวทาง ดังนี้

1) การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
2) การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed
3) การใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคม

11.1 การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed

การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เหมาะสมสำหรับรองรับ Application ที่มีความสำคัญของข้อมูลแบบ Non-critical ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมสั่งการภายในระบบไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น

- ระบบบริหารจัดการพลังงาน HEMS/BEMS/FEMS
- ระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI
- Demand Response
- ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า)
- ระบบ RE Forecast
- ระบบการบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า
- Smart Streetlight

ทั้งนี้ อุปกรณ์สื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีลักษณะเป็นอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น (Short-Range Radiocommunication Device: SRD) เมื่อพิจารณาจากข้อกำหนดของ กสทช. เกี่ยวกับเครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต คลื่นความถี่ที่การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งสามารถใช้งานเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต ทั้งกรณีที่เป็นการสื่อสารทางเดียวและกรณีที่เป็นการสื่อสารสองทาง (มีการรับ-ส่งข้อมูลแบบไป-กลับระหว่างอุปกรณ์) ประกอบด้วยคลื่นความถี่ดังต่อไปนี้

- คลื่นความถี่ 13.553-13.567 MHz กำลังส่งไม่เกิน 10 mW
- คลื่นความถี่ 26.965-27.405 MHz กำลังส่งไม่เกิน 100 mW
- คลื่นความถี่ 30-50 MHz กำลังส่งไม่เกิน 10 mW
- คลื่นความถี่ 54-74 MHz กำลังส่งไม่เกิน 10 mW
- คลื่นความถี่ 300-500 MHz กำลังส่งไม่เกิน 10 mW
- คลื่นความถี่ 920-925 MHz กำลังส่งไม่เกิน 500 mW
- คลื่นความถี่ 2400-2500 MHz กำลังส่งไม่เกิน 100 mW
- คลื่นความถี่ 5150-5350 MHz กำลังส่งไม่เกิน 200 mW
- คลื่นความถี่ 5470-5850 MHz กำลังส่งไม่เกิน 1 W

การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สามารถใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ตามคลื่นความถี่และกำลังส่งสูงสุดที่กำหนดข้างต้นโดยได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต ซึ่งการเข้าใช้คลื่นความถี่ (Spectrum Access) ของอุปกรณ์สื่อสาร

จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในประกาศ กสทช. อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดทั่วไปในตลาดมักถูกออกแบบเพื่อรองรับการทำงานบนคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ของประเทศที่มีศักยภาพในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งแต่ละประเทศดังกล่าวอาจมีการกำหนดคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น 902-928 MHz ในประเทศสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย, 433 MHz และ 868 MHz ในยุโรป, 470-510 MHz ในประเทศจีน และ 920-925 MHz ในประเทศญี่ปุ่นและเกาหลีใต้ ดังนั้น เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านพร้อมของอุปกรณ์ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในตลาดด้วยแล้ว การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในประเทศไทยน่าจะอยู่ที่ย่านความถี่ 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4 GHz (คลื่นความถี่ 2.4-2.5 GHz) และ 5 GHz (คลื่นความถี่ 5.15-5.35 GHz และ 5.47-5.85 GHz)

โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 1 GHz หรือที่เรียกว่า Sub GHz มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมากที่สุด เนื่องจากคลื่นวิทยุความถี่ต่ำมีการสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss) และการสูญเสียจากจากการแพร่กระจายสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง (Penetration Loss) ต่ำกว่าการส่งสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง จึงทำให้คลื่นวิทยุความถี่ต่ำมีระยะสื่อสารที่ไกลกว่ารวมทั้งสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวาง เช่น ผนังอาคาร ได้ดีกว่าย่านความถี่สูง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาข้อกำหนดของ กสทช. พบว่าการใช้ย่านความถี่ 433 MHz ถูกจำกัดกำลังส่งเพียงแค่ 10 mW ต่างจากความถี่ 920-925 MHz มีกำลังส่งสูงสุดได้ถึง 500 mW ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย คลื่นความถี่ 920-925 MHz มีความเหมาะสมทางเทคนิคมากที่สุด แต่เนื่องจากย่านดังกล่าวมีแบนด์วิดท์เพียง 5 MHz ส่งผลให้การใช้งานจริงอาจมีข้อจำกัดระดับหนึ่ง จึงควรพิจารณาใช้งานร่วมกับย่านความถี่ 2.4 GHz (คลื่นความถี่ 2.4-2.5 GHz) ที่สามารถรองรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอุปกรณ์ตรวจวัดและอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ เนื่องจากย่านความถี่ 2.4 GHz ถือเป็นคลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับทุกพื้นที่ทั่วโลก ดังนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจำนวนมากในตลาดจึงสามารถรองรับย่านความถี่ 2.4 GHz ได้ ทั้งนี้ด้วยการพัฒนาในปัจจุบันของเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายบนย่านความถี่ 2.4 GHz ทำให้สามารถรองรับความต้องการด้านระบบสื่อสารสำหรับหลาย Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้อย่างเพียงพอ

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจะมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ซึ่งโดยทั่วไปถือว่าค่อนข้างประสบความสำเร็จ แต่การไฟฟ้าส่วนใหญ่ยังมีข้อกังวลเกี่ยวกับความเชื่อถือได้ (Reliability) และความพร้อมใช้งาน (Availability) ของโครงข่ายสื่อสาร ซึ่งเกิดจากปัญหาด้านการรบกวนของสัญญาณอันเนื่องมาจากความหนาแน่นของการใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อีกทั้งเห็นว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เพียงอย่างเดียวไม่สามารถรองรับยุทธศาสตร์ของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระยะยาวได้ โดยเฉพาะสำหรับ Application ด้านการตรวจสอบและควบคุมระบบโครงข่ายไฟฟ้าในระดับพื้นที่กว้าง (Wide Area) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า นอกจากนี้การออกแบบโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ เช่น จำนวน Hop สูงสุดของโครงข่ายแบบ Mesh และระยะห่างระหว่างแต่ละ Hop ซึ่งความเหมาะสมของการออกแบบอาจแตกต่างกันมากในแต่ละพื้นที่ การออกแบบที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้การทำงานของโครงข่ายสื่อสารประสบปัญหาได้ ตัวอย่างเช่น โครงการนำร่องระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติ (AMR) ของบริษัท EVNNPC ที่จังหวัดท้ายเงวียน (ThảiNguyên) ประเทศ

เวียดนาม ซึ่งเลือกใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF Mesh คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 400 MHz (408.925 MHz) สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับอุปกรณ์ Concentrator แต่ระบบ AMR ในโครงการนี้ถือว่าไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากระบบสื่อสารไม่มีความเสถียรและมีความเชื่อถือได้ต่ำ โดยสามารถอ่านค่าจากสมาร์ทมิเตอร์ได้เพียงประมาณ 85% ของจำนวนสมาร์ทมิเตอร์ทั้งหมดในโครงการ อีกทั้งอุปกรณ์โครงข่ายสื่อสารไม่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ สาเหตุหลักเนื่องจากสภาวะช่องสัญญาณมีการรบกวนสูง (Noisy Channel) ซึ่งการออกแบบโครงข่ายสื่อสารไม่เหมาะสมต่อการรองรับสภาวะดังกล่าว แต่หากพิจารณาโครงการนำร่องระบบ AMR ของบริษัท EVNCPC บริเวณตอนกลางของประเทศเวียดนาม ซึ่งใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ RF Mesh คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 408.925 MHz และ 433.050 MHz ในการเชื่อมต่อระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับอุปกรณ์ Concentrator จะเห็นว่าเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้ในโครงการนี้ใกล้เคียงกับกรณีแรกมาก แต่โครงข่ายสื่อสารของโครงการนี้สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีและมีเวลาตอบสนองที่เพียงพอต่อการทำงานของระบบ AMR เนื่องจากมีการออกแบบโครงข่ายแบบ Mesh ที่รอบคอบ โดยพิจารณาถึงระยะห่างระหว่าง Hop และจำนวน Hop ที่เหมาะสม

11.2 การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed

การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เหมาะสมสำหรับรองรับ Application ในงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมสั่งการภายในระบบไฟฟ้า และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าหลัก ซึ่งหากการสื่อสารข้อมูลของ Application เหล่านี้เกิดความผิดพลาด อาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ ตัวอย่าง Application ดังกล่าว เช่น

- Distribution Automation
- Substation Automation
- ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับกริด)
- ระบบ Microgrid
- ระบบสื่อสารข้อมูลกับ SPP/VSPP
- Wide Area Monitoring, Protection and Control System

การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ถือเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้หน่วยงานการไฟฟ้าสามารถพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเพื่อบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพและมีความเชื่อถือได้สูงสุด เป็นการรักษาความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศ ทั้งนี้ สำนักงาน กสทช. ยังไม่มีนโยบายจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการเฉพาะ อย่างไรก็ตาม การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สามารถขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในบางย่านความถี่ที่ถูกกำหนดไว้ให้กับกิจการที่ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถใช้งานได้ เช่น กิจการประจำที่และกิจการเคลื่อนที่ ซึ่งในการพิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด สำนักงาน กสทช. จะพิจารณาถึงความจำเป็นในหลายด้าน เช่น การใช้งานคลื่นความถี่ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ, ความเหมาะสมของการเลือกใช้คลื่นความถี่ให้เหมาะสมกับการใช้งานและเทคโนโลยี, โอกาสในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกับหน่วยงานที่

มีการใช้งานในลักษณะใกล้เคียงกัน, ความมั่นคงของโครงข่าย รวมไปถึงคุณภาพ ความเร็ว และปริมาณของการส่งข้อมูลตามความต้องการของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง นอกจากนี้ นโยบายของสำนักงาน กสทช. ต้องการให้หน่วยงานสาธารณูปโภคใช้คลื่นความถี่ในลักษณะการใช้งานร่วมกัน (Shared Use) เพื่อให้เกิดการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) **หน่วยงานสาธารณูปโภค ได้แก่**
   - การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
   - การไฟฟ้านครหลวง
   - การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
   - การประปานครหลวง
   - การประปาส่วนภูมิภาค
   - บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
   - บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
   - หน่วยงานอื่นที่มีกิจการเกี่ยวกับสาธารณูปโภค
2) **ลักษณะการใช้งานคลื่นความถี่**: อนุญาตให้หน่วยงานสาธารณูปโภคใช้คลื่นความถี่ในลักษณะใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างหน่วยงานสาธารณูปโภค (Shared Use) โดยไม่เป็นการจัดสรรคลื่นความถี่ให้หน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งมีสิทธิในการใช้คลื่นความถี่เป็นการเฉพาะ
3) **การขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed**: การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ต้องเป็นไปตามแผนความถี่ที่กำหนดไว้ให้สำหรับกิจการประจำที่และกิจการเคลื่อนที่ ทั้งนี้ การพิจารณาขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed จะต้องหารือกับสำนักการอนุญาตและกำกับวิทยุคมนาคม (คท.) สำนักงาน กสทช. เพื่อตรวจสอบข้อมูลการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ โดยการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งควรเตรียมข้อมูลความต้องการใช้งานพื้นฐาน (Basic Requirement) ของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น แผนภาพการเชื่อมต่อของโครงข่าย (Network Topology), ปริมาณคลื่นความถี่/แบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้งาน, รายละเอียดเบื้องต้นของประเภทอุปกรณ์, ย่านความถี่ที่อุปกรณ์สามารถใช้งานได้, จำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เกตเวย์ และระดับเสถียรภาพของการเชื่อมต่อที่ยอมรับได้
4) **ระยะเวลาการอนุญาต**: อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เป็นเวลา 5 ปี ทั้งนี้ สามารถขอต่ออายุการอนุญาตได้ตามหลักเกณฑ์ที่ กสทช. กำหนด
5) **ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง**: การใช้งานคลื่นความถี่แบบ Licensed มีค่าใช้จ่ายเรื่องค่าพิจารณาคำขอรับการจัดสรรใบอนุญาต, ค่าธรรมเนียมใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง และค่าตอบแทนการใช้งานคลื่นความถี่ซึ่งขึ้นอยู่กับย่านความถี่และปริมาณคลื่นความถี่ที่ใช้งาน

ดังนั้น การขอจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดควรเป็นการขอจัดสรรร่วมกันในนามของหน่วยงานการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และควรมีการหารือกับหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่มีโอกาสใช้งาน Application ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์สำหรับมิเตอร์ก๊าซและมิเตอร์น้ำ ทั้งนี้ ขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับกิจการที่ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถใช้งานได้ ได้แก่กิจการประจำที่และกิจการเคลื่อนที่ ซึ่ง

จากการศึกษาในโครงการนี้พบว่าย่านความถี่ที่มีความเหมาะสมทางเทคนิคและต้นทุนการลงทุน รวมทั้งมีอุปกรณ์ในตลาดรองรับ ได้แก่ ย่าน 430-450 MHz นอกจากนี้ สำนักงาน กสทช. ควรมีการเผยแพร่ข้อมูลย่านความถี่แบบ Licensed ที่ยังว่างออกสู่สาธารณะ (Public) เพื่อที่หน่วยงานต่าง ๆ สามารถนำไปศึกษาและพิจารณาความเหมาะสมในขอจัดสรรคลื่นความถี่ให้ตรงตามความต้องการใช้งานมากที่สุด ทั้งนี้ ย่านความถี่ที่ยังว่างและเผยแพร่ออกสู่สาธารณะนี้จะต้องไม่เป็นย่านความถี่ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของประเทศไทย

การขอจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดร่วมกันในนามของหน่วยงานการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และ/หรือหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น ๆ นอกจากจะเป็นการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดแล้ว ยังทำให้เกิดความชัดเจนในการพัฒนาระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศ และเป็นการกำหนดมาตรฐานให้กับผู้ผลิตอุปกรณ์และระบบที่เกี่ยวข้องให้สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ตามย่านความถี่ที่กำหนด ซึ่งหน่วยงานต่าง ๆ สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่มีปัญหาด้านการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์และระบบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง มีลักษณะที่สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้ กล่าวคือ พื้นที่บริการของ กฟภ. และ กฟน. แยกจากกันอย่างชัดเจน ขณะที่ กฟผ. แม้จะมีพื้นที่บริการที่ทับซ้อนกับ กฟภ. และ กฟน. แต่ก็มีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดใช้คลื่นความถี่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจาก กฟผ. เน้นการใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายสำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยจะใช้ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับกรณีพื้นที่ห่างไกล ซึ่งไม่อยู่ในแนวข่ายสาย Optical Ground Wire หรือไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้

จากการศึกษาตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ ยังไม่พบว่ามีประเทศใดที่มีการกำหนดคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการเฉพาะ รวมทั้งยังไม่มีการไฟฟ้าใดที่ดำเนินการขออนุญาตใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ด้วยตนเองเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด อย่างไรก็ตาม การไฟฟ้าในต่างประเทศเริ่มมีการพิจารณาความเป็นไปได้ในการขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อนำมาใช้รองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคต โดยเฉพาะเพื่อรองรับ Application ที่มีความสำคัญในการรักษาเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ องค์กร European Utilities Telecom Council (EUTC) ซึ่งเป็นการรวมกลุ่มระหว่างผู้ให้บริการสาธารณูปโภคทั้งด้านไฟฟ้า ก๊าซ น้ำ และหน่วยงานด้านโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญต่าง ๆ ในทวีปยุโรป ได้ออก Position Paper เมื่อปี ค.ศ. 2013 ระบุถึงความจำเป็นของการจัดสรรคลื่นความถี่ให้กับหน่วยงานสาธารณูปโภคเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยเสนอให้มีการจัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน UHF (450-470 MHz) สำหรับใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เนื่องจากย่านความถี่ดังกล่าวมีความเหมาะสมทั้งในเชิงกลยุทธ์และในด้านเทคนิคสำหรับรองรับการพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์ โดยเฉพาะข้อได้เปรียบด้านระยะสื่อสาร ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร อีกทั้งยังมีหลายเทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานสากลและผ่านการพิสูจน์ใช้งานจริงในระดับ Large Scale

11.3 การใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคม

การใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตจาก กสทช. กรณีนี้ในบริบทของประเทศไทย คือ การใช้บริการโครงข่ายไร้สายแบบเซลลูลาร์ 3G/4G ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งการใช้

บริการโครงข่ายเซลลูลาร์เพื่อรองรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (Machine to Machine: M2M) มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมาเป็นระยะเวลานานทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เนื่องจากสามารถลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและลดระยะเวลาในการติดตั้งโครงข่ายสื่อสารลงได้อย่างมาก อีกทั้งโดยทั่วไปโครงข่ายเซลลูลาร์ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่แล้ว จึงสามารถนำมาใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานเพิ่มเติม และสมรรถนะของโครงข่ายเซลลูลาร์ถือว่ายอมรับได้ทั้งในมุมมองด้านความปลอดภัยและต้นทุนค่าใช้จ่ายระยะยาวของการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ อย่างไรก็ตาม การใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์จะทำให้การไฟฟ้าไม่สามารถบริหารจัดการหรือวางแผนงานด้านระบบสื่อสารเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากเป็นการพึ่งพาโครงข่ายสื่อสารของบุคคลที่สาม นอกจากนี้ โครงข่ายเซลลูลาร์ถือเป็นโครงข่ายสาธารณะจึงอาจมีประเด็นด้านความปลอดภัยที่การไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมได้ และหากพิจารณาถึงมุมมองด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายในลักษณะต้นทุนรวมของการเป็นเจ้าของ (Total Cost of Ownership) การที่การไฟฟ้าพัฒนาโครงข่ายสื่อสารเป็นของตนเองอาจมีความคุ้มค่ากว่าการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ในระยะยาว โดยเฉพาะหากมีอุปกรณ์ที่ต้องเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจำนวนมาก (เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์) ซึ่งการไฟฟ้าแต่ละแห่งจำเป็นต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมดังกล่าว โดยมีการหารือข้อตกลงและรูปแบบทางธุรกิจร่วมกันกับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการลงทุนสร้างโครงข่ายสื่อสารด้วยตนเอง และควรมีข้อพิจารณาว่าเทคโนโลยีและมาตรฐานด้านโทรคมนาคมมักมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยกว่าเทคโนโลยีในธุรกิจระบบไฟฟ้า ซึ่งผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วเพื่อให้ทันต่อการแข่งขันในธุรกิจด้านโทรคมนาคม ส่งผลให้การไฟฟ้าอาจต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้รองรับเทคโนโลยีใหม่ดังกล่าวด้วยซึ่งจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ การใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเหมาะสมกับรองรับ Application ที่มีความสำคัญของข้อมูลแบบ Non-critical เช่นเดียวกับกรณีคลื่นความถี่แบบ Unlicensed โดยจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับรองรับการสื่อสารในพื้นที่ห่างไกล ซึ่งไม่คุ้มค่าในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานระบบสื่อสารทั้งแบบมีสายและไร้สายให้ไปถึงพื้นที่ดังกล่าว

นอกจากนี้ การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งควรมีการหารือร่วมกับผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่จาก กสทช. เกี่ยวกับโอกาสความร่วมมือทางธุรกิจในการใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยเฉพาะบางย่านความถี่ที่มีปริมาณการใช้งานจากลูกค้าทั่วไปค่อนข้างน้อย หรือไม่สามารถรองรับเทคโนโลยีตามความต้องการใช้งานปัจจุบันของลูกค้าทั่วไปที่ต้องการระบบสื่อสารที่รวดเร็วมากขึ้น จึงเป็นโอกาสที่จะนำย่านความถี่ดังกล่าวมาใช้เพื่อรองรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (Machine to Machine) ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้ ดังกรณีตัวอย่างในต่างประเทศ เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์ของบริษัท Alliander ซึ่งเป็นผู้ให้บริการระบบจำหน่ายไฟฟ้าและระบบจำหน่ายก๊าซขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศเนเธอร์แลนด์ เริ่มติดตั้งระบบสมาร์ทมิเตอร์ ตั้งแต่ ศ.ศ. 2015 เพื่อรองรับการตรวจวัดและควบคุมมิเตอร์ไฟฟ้า มิเตอร์ก๊าซ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างสาธารณะ โดยใช้เทคโนโลยี CDMA450 ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 450 MHz เป็นระบบสื่อสารหลัก ทั้งนี้ บริษัท Alliander ได้รับสิทธิในการใช้คลื่นความถี่ 450 MHz จากบริษัท KPN ซึ่งเป็นผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 450 MHz ในลักษณะความร่วมมือทางธุรกิจ โดยทั้งสองบริษัทร่วมมือกันพัฒนาโครงข่ายสื่อสาร CDMA450 สำหรับระบบสมาร์ทมิเตอร์ดังกล่าว

กรณีตัวอย่างอีกรูปแบบหนึ่ง ได้แก่ การพัฒนาระบบ Distribution Automation ของ China Southern Grid (CSG) ในประเทศจีน ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 1800 MHz ด้วยเทคโนโลยี LTE-TDD (LTE Time-Division Duplex) เพื่อรองรับการสื่อสารของระบบ Distribution Automation โดยการใช้คลื่นความถี่ในกรณีนี้เป็นลักษณะที่ CSG จัดซื้อแพล็ตฟอร์มสำเร็จรูประบบ eLTE (Enterprise LTE) ของบริษัท Huawei ซึ่งเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 1,800 MHz อยู่แล้ว ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ด้วยตนเอง อีกทั้งระบบ eLTE ดังกล่าวถือเป็นแพลตฟอร์มสำหรับระบบ Distribution Automation ของ CSG โดยเฉพาะ ดังนั้น CSG จึงสามารถควบคุมและบริหารจัดการโครงข่ายสื่อสารได้ทั้งหมด ซึ่งจะแตกต่างกับกรณีทั่วไปที่การไฟฟ้าใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งเป็นลักษณะการขอใช้บริการโครงข่ายเท่านั้น จึงไม่สามารถควบคุมและบริหารจัดการความพร้อมใช้งานและประสิทธิภาพในการทำงานได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Berger, L.T., & Iniewski, K. (2012). Smart Grid - Applications, Communications and Security. New Jersey: John Wiley and Sons.

[2] Alliander, & KPN. (2013, April). CDMA-450: Managed Wireless Services. Paper presented at EUTC Workshop, Brussels.

[3] 450 Alliance.org. Communication Technologies and Networks for Smart Grid and Smart Metering. [White paper].

[4] European Utilities Telecom Council (EUTC). (2013, April). Spectrum needs for Utilities. [Position Paper].

[5] CDG 450 Connectivity Special Interest Group (450 SIG). (2013, September). The 450 MHz Band for the Smart Grid and Smart Metering. [Research Paper].

[6] Sand, K., Nordgard, D.E., Solvang, T.B., Foosnaes, J. Kristoffersen, V., & Wage, D. (2013). Experiences from Norwegian Smart Grid Pilot Projects. Paper presented at 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm.

[7] Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). (2011). Advanced Metering and Control Systems - Summary of Public Enquiry and Final Regulations.

[8] Silverspring Networks. Why Unlicensed Spectrum Dominates the Smart Grid. [White Paper].

[9] Landis+Gyr. (2013). A major Smart Metering project with Helen Electricity Network. [Report].

[10] San Diego Gas & Electric Company. (2010, May). Comments of San Diego Gas & Electric Company to United States Department of Energy.

[11] Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2014). Communication Network Requirements for Major Smart Grid Applications in HAN, NAN and WAN. [Survey Paper].

[12] Adke, P., Bumanlag, J., Edelman, B., & Doetsch, U. (2011, May). Spectrum Needs for Wireless Smart Meter Communications. Paper submitted as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master's in Interdisciplinary Telecommunications at the University of Colorado.

[13] Feixiang, M. (2013, December). China Southern Power a Smarter Grid via LTE.

[14] Huawei. Huawei eLTE Solution for Smart Grids. [Information Document].

[15] EVN NPC chi 120 tỷ mua điện kế điện tử: Mới lắp đặt đã chập chờn. Retrieved May 3, 2017, from http://www.nguoiduatin.vn/evn-npc-chi-120-ty-mua-dien-ke-dien-tu-moi-lap-dat-da-chap-chon-a309980.html

[16] Tuan, T. K., & Spear, B. (2016, May). Vietnam's First Smart City Communications Platform. Paper presented at Asian Utility Week 2016, Bangkok, Thailand.

[17] Thien Le, N., Benjapolakul, W., Dinh Ngoc, S., Cong Truong, D., & Hung, T. (2017, December). Experiences from Vietnam Smart Meter Reading Pilot Project. Paper presented at PEACON & Innovation 2017, Bangkok, Thailand.

[18] Changmin, P. (2012, December). Use Cases in Korea - AMI in Smart Grid Jeju Testbed. Paper presented at Smart Grid Interoperability Panel 2012, Texas.

[19] Tushar, W., Yuen, C., Chai, B., Huang, S., Wood, K.L., Kerk, S.G., & Yang, Z. (2016, December). Smart Grid Testbed for Demand Focused Energy Management in End User Environments. In IEEE Wireless Communication Magazine, 23(6), 70-80.

[20] International Telecommunication Union (ITU). (2016, August). Smart Grid Utility Management Systems. Report ITU-R SM.2351-1.

[21] National Institute of Standards and Technology (NIST). (2011, February). Guidelines for Accessing Wireless Standards for Smart Grid Applications. NIST Priority Action Plan 2.

[22] National Institute of Standards and Technology (NIST). (2014, June). Guidelines for Accessing Wireless Standards for Smart Grid Applications. NIST Smart Grid Interoperability Panel Priority Action Plan 2.

[23] Sensus USA Inc. (2011). Smart Grid Communications Solutions Licensed versus Unlicensed Spectrum. [White Paper].

[24] Barclay, S. et al., "NIST Smart Grid Interoperability Panel Priority Action Plan 2: Guidelines for Assessing Wireless Standards for Smart Grid Applications", June 2014.

[25] International Telecommunication Union (ITU). (2012, February). Attenuation by Atmospheric Gases in the Frequency Range 1-350 GHz. ITU-R Recommendation P.676-1.

[26] de Goeij, G., van Dijken, E. H., Achterberg, E., Hött, W., & Brouwer, F. (2016, April). Research into Market Usage of License-exempt Equipment in the Netherlands. [Research Report].

[27] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2006). IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems. ANSI/IEEE C37.118-2005.

[28] GTM Research. (2013). Trends in Utility Smart Grid Communications Management. [White Paper].

[29] Power Systems Engineering Research Center. (2012, April). Communication Requirements and Integration Options for Smart Grid Deployment. [Project Report].

[30] 450 Alliance.org. The Economics of 450 MHz Band for the Smart Grid and Smart Metering. [White Paper].

[31] Qualcomm. *3G Cellular Technology for Smart Grid Communications*. [PowerPoint].

[32] Ho, Q.-D., Gao, Y., Rajalingham, G., & Le-Ngoc, T. (2014). Wireless Communications Networks for the Smart Grid. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.

[33] NRECA-DOE Smart Grid Demonstration Project. (2014). Communications: The Smart Grid's Enabling Technology. [Report].

[34] Reza, A. W., Chayon, S. R., & Noordin, K. A. (2015). A Novel LTE Scheduling Algorithm for Green Technology in Smart Grid. [Research Article].

[35] Balachandran, k., Olsen, R. L., & Pedersen, J. M. (2014). Bandwidth Analysis of Smart Meter Network Infrastructure. Paper presented at 16th International Conference on Advanced Communications Technology, PyeongChang, Korea.

[36] *Understanding Modern Digital Modulation Techniques*. Retrieved May 5, 2018, from http://www.electronicdesign.com/communications/understanding-modern-digital-modulation-techniques.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
มาตรฐานของระบบสื่อสารที่นิยมใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมักจะต้องพึ่งพาทั้งเทคโนโลยีระบบสื่อสารแบบมีสายและไร้สาย เพื่อรองรับการเชื่อมต่อและเส้นทางการสื่อสารที่จำเป็น สำหรับการจัดการกับปริมาณการไหลของข้อมูลขนาดใหญ่ภายในโครงข่ายสื่อสารของผู้ให้บริการด้านไฟฟ้า มาตรฐานของระบบสื่อสารที่นิยมใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด [20] มีดังนี้

ก.1 ระบบสื่อสารแบบมีสาย

ก.1.1 ระบบสื่อสาร Power Line Communication

ระบบสื่อสารที่เป็นตัวเลือกแรก ๆ สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ได้แก่ ระบบสื่อสาร Power Line Communication (PLC) ด้วยเหตุผลหลักที่ว่าสายไฟฟ้ามักเชื่อมต่อกับทุกส่วนในระบบโครงข่ายไฟฟ้าอยู่แล้ว ดังนั้นการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าจึงสามารถส่งข้อมูลไปยังทุกจุดปลายทางในระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วยังมีประเด็นอื่น ๆ ที่ทำให้ระบบสื่อสาร PLC ไม่สามารถตอบโจทย์ได้ตามแนวคิดข้างต้น เช่น การลดทอนและสัญญาณรบกวนในสายไฟฟ้า รวมไปถึงวิธีในการกำหนดเส้นทางการส่งข้อมูล (Routing) ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า

แม้ว่าระบบสื่อสาร PLC จะเริ่มมีการใช้งานที่แพร่หลายมากขึ้น แต่สายไฟฟ้าก็ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สายไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่ได้มีการหุ้มฉนวนป้องกัน(Unshielded) และไม่ได้เป็นแบบบิดเกลียว (Untwisted) จึงค่อนข้างอ่อนแอต่อสัญญาณรบกวนภายนอก ซึ่งอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายประเภทก็ถือเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในระบบไฟฟ้าที่สำคัญ

เนื่องจากความอ่อนแอต่อสัญญาณรบกวนของระบบสื่อสาร PLC ทำให้สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศภาคการกำหนดมาตรฐานโทรคมนาคม (ITU-T) เข้ามามีบทบาทในการกำหนดมาตรฐานของระบบสื่อสาร PLC โดยกลุ่ม ITU-T Study Group 15 ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารขั้นสูง และเทคโนโลยีการลดสัญญาณรบกวน สำหรับ Application ทั่วไปของระบบสื่อสาร PLC ภายใต้ Recommendation ITU-T G.9960 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 เป็นต้นมา และเมื่อไม่นานมานี้ ITU-T ได้พัฒนาชุดมาตรฐานสำหรับเทคโนโลยีระบบสื่อสาร Narrow Band PLC (NB-PLC) ใน Recommendation ITU-T G.990x (G.9901, G.9902, G.9903, G.9904) ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับการเชื่อมต่อและการสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดโดยเฉพาะ โดย Recommendation G.9903 และ G.9904 ได้รับการพิสูจน์จากการติดตั้งใช้งานจริงแล้วในหลายประเทศแถบยุโรป เอเชีย และอเมริกา ซึ่งทาง IEEE Standards Association ก็ได้นำ Recommendation ดังกล่าวมากำหนดเป็นมาตรฐานระบบสื่อสาร PLC สำหรับ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น IEEE Std. 1901.2-2013

ช่วงความถี่ที่กำหนดสำหรับ NB-PLC ใน Recommendation ITU-T G.990x (G.9901, G.9902, G.9903, G.9904 ดังตารางที่ 1) เป็นช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลบนสายไฟฟ้า (Power Line Transmission: PLT) ซึ่งในยุโรปจะถูกกำหนดโดย CENELEC (European Committee for Electrotechnical

Standardization) และ CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) ส่วนในสหรัฐอเมริกาจะกำหนดโดย FCC (Federal Communications Commission) และในญี่ปุ่นกำหนดโดย ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) เป็นต้น

ตารางที่ 1 ITU-T Recommendation ที่เกี่ยวข้องกับระบบสื่อสาร PLC ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

Recommendation No.	Recommendation Title
G.9901	Narrow-band OFDM Power Line Communication Transceivers – Power Spectral Density Specification
G.9902	Narrow-band OFDM Power Line Communication Transceivers for ITU-T G.hnem Networks
G.9903	Narrow-band OFDM Power Line Communication Transceivers for G3-PLC Networks
G.9904	Narrow-band OFDM power Line Communication Transceivers for PRIME Networks
G.9905	Centralized Metric Based Source Routing
G.9959	Short Range Narrowband Digital Radiocommunication Transceivers – PHY & MAC Layer Specifications

ช่วงความถี่ที่กำหนดใน Recommendation ITU-T G.990x สำหรับระบบสื่อสาร NB-PLC ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด พิจารณาจากแนวทางที่ดีที่สุด (Best Practice) ในการหลีกเลี่ยงความขัดแย้ง (Incompatibility) ระหว่างบริการด้าน Radiocommunication อื่น ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในสภาวะที่มีการสื่อสารบนสายไฟฟ้าอย่างแพร่หลายสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคต อย่างไรก็ตาม หน่วยงานด้านกำหนดมาตรฐานและกลุ่มอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่อยู่นอก ITU ก็มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารบนสายไฟฟ้า สำหรับ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเช่นกัน ดังนั้น ในการใช้งานระบบ PLC จึงอาจจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสามารถในการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์

ก.1.2 ระบบสื่อสารบนสายเคเบิล

นอกเหนือจากการสื่อสารบนสายไฟฟ้าแล้ว การสื่อสารบนสายสื่อสารต่าง ๆ เช่น ใยแก้วนำแสง และสายทองแดง ก็ยังเป็นที่นิยมใช้งานสำหรับโครงข่าย WAN ซึ่งผู้ให้บริการด้านไฟฟ้าอาจติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารดังกล่าวภายในระบบส่งหรือระบบจำหน่ายไฟฟ้าของตน โดยอาจติดตั้งบนเสาไฟฟ้า หรือติดตั้งในท่อร้อยสายใต้ดินตามสิทธิแห่งทางที่มีอยู่ หรือแม้แต่การเช่าสายสัญญาณจากผู้ให้บริการด้านโทรคมนาคม

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารบนสายเคเบิล คือ IEEE Std. 802.3 “Ethernet Local Area Network” ซึ่งกำหนดความเร็วในการสื่อสารไว้หลายระดับ ตั้งแต่ 1 Mb/s ถึง 100 Gb/s บนสายสัญญาณและระยะทางสื่อสารที่แตกต่างกันไป เช่น IEEE 802.3 EPON และ IEEE 802.3 Ethernet in the first mile

โดยทั่วไปแล้ว การเชื่อมต่อ Ethernet แบบมีสาย ถือเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดในระดับท้องถิ่นหรือระดับประเทศ ด้านขีดจำกัดของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับระบบที่ไม่มีการส่งสัญญาณ (Non-transmitting System)

ก.2 ระบบสื่อสารไร้สาย

ก.2.1 โครงข่าย HAN

ปัจจุบัน มีเทคโนโลยีระบบสื่อสารจำนวนมากทั้งแบบมีสายและไร้สาย ที่ถูกนำมาใช้ในโครงข่าย Home Area Network (HAN) โดยพิจารณาจากความต้องการในด้านต่าง ๆ เช่น พลังงานที่ใช้ อัตราข้อมูล การรองรับการเคลื่อนย้าย (Mobility) และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง เป็นต้น โครงข่าย HAN ที่พบการใช้งานมากที่สุดในกรณีระบบสื่อสารแบบมีสาย คือ IEEE 802.3 (Ethernet) และในกรณีระบบสื่อสารไร้สาย คือ IEEE 802.11 (WiFi), IEEE 802.15.4 (เช่น ZigBee, Thread cและ Wi-SUN EchoNet HAN) และ ITU-T G.9959 (Z-Wave)

เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายถือเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสำหรับผู้ให้บริการด้านไฟฟ้าทุกราย และช่วยให้สามารถเชื่อมต่อกับโครงสร้างพื้นฐานที่เป็น IP-based ได้โดยง่าย โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่สามารถใช้งานระบบสื่อสารแบบมีสายได้ด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า หรือตามระเบียบข้อบังคับอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

Recommendation ITU-T G.9959 “Short Range Narrow-band Digital Radiocommunication Transceivers” ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย ITU-T เพื่อรองรับการใช้งาน Wireless LAN แบบ Narrow Band ที่เหมาะสมกับ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งในช่วงของขั้นตอนการร่าง Recommendation ฉบับนี้ได้มีการหารือกันระหว่าง ITU-R (ITU ภาคการสื่อสารวิทยุ) กับ ITU-T (ITU ภาคการกำหนดมาตรฐานโทรคมนาคม) เกี่ยวกับคลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานดังกล่าว โดยมีประเด็นหลัก คือ ข้อดีและข้อเสียของการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ภายใต้การกำกับดูแลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หรือ การใช้คลื่นความถี่ ISM หรือ การใช้คลื่นความถี่ที่กำหนดในระดับชาติหรือระดับภูมิภาคให้สามารถใช้งานได้โดยที่ไม่มีการกำกับดูแล (ไม่ต้องขออนุญาตใช้งาน) การหารือส่วนใหญ่จะเป็นประเด็นเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยและความเชื่อถือได้ เนื่องจากการสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอาจมีข้อมูลเกี่ยวกับการเรียกเก็บเงินและข้อมูลส่วนบุคคล โดยใน Recommendation ITU-T G.9959 แนะนำให้ใช้คลื่นความถี่ที่กำหนดในระดับชาติหรือระดับภูมิภาคให้สามารถใช้งานได้โดยที่ไม่มีการกำกับดูแล ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความถี่ 900 MHz ยกเว้น สองคลื่นความถี่ใน Region 2 ที่อยู่ในช่วงคลื่นความถี่ ISM โดยหนึ่งในเกณฑ์ของการออกแบบเครื่องรับส่งสัญญาณตาม Recommendation G.9959 คือ อุปกรณ์ควรสามารถรองรับ 1, 2 หรือ 3 ช่องสัญญาณ ขึ้นอยู่กับความพร้อมใช้งานของช่องสัญญาณในแต่ละภูมิภาค/ประเทศที่เกี่ยวข้อง

ในการเลือกคลื่นความถี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานในทุกพื้นที่ทั่วโลก ความต้องการขั้นพื้นฐานของ Recommendation G.9959 คือ สามารถทำงานร่วมกับเทคโนโลยี Z-Wave ซึ่งถูกใช้งานสำหรับอุปกรณ์ภาคสนามมานานกว่าทศวรรษ เมื่อพิจารณาถึงการกำหนดคลื่นความถี่ใหม่สำหรับใช้ในRecommendation G.9959 ควรพิจารณาถึงประเด็นที่ว่าอุปกรณ์ในอนาคตที่อ้างอิงตาม Recommendation G.9959 อาจเข้ากันไม่ได้กับอุปกรณ์ Z-Wave ที่มีอยู่ และทำให้อุปกรณ์ G.9959 ไม่สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในระบบขนาดใหญ่ที่มีอยู่เดิมได้ ซึ่งการกำหนดคลื่นความถี่ในอนาคตสำหรับ G.9959 และเทคโนโลยีที่คล้ายคลึงกันสำหรับใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอาจเป็นประเด็นที่จะนำไปหารือกันในการประชุม WRC-23 ต่อไป

อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานจริง มาตรฐาน IEEE 802.11 และ IEEE 802.15.4 พบการใช้งานในโครงข่าย HAN ที่แพร่หลายกว่า G.9959 นอกจากนี้ IEEE 802.15.4 ยังรองรับ Frequency Hopping และการค้นหาเส้นทางแบบ Mesh ในกรณีที่การสื่อสารระหว่างสองจุดโดยตรงไม่สามารถทำได้ด้วยสาเหตุจากมีระยะทางไกลเกินไป ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับระบบสื่อสารในการใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed

นอกจากประเด็นด้านการจัดการคลื่นความถี่และความเข้ากันได้แล้ว ยังมีประเด็นด้านกฎหมายความเป็นส่วนตัวและการรักษาความปลอดภัย ที่จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาในเวทีที่เหมาะสม การใช้งานอุปกรณ์ไร้สายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีความสมบูรณ์มากที่สุด การพิจารณาดังกล่าวอาจส่งงานผลต่อการกำหนดคลื่นความถี่สำหรับระบบสื่อสารไร้สายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดยเฉพาะอย่างยิ่งความจำเป็นในการหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับการชำระเงินและข้อมูลส่วนบุคคล

มาตรฐานของระบบสื่อสารไร้สายที่ได้กล่าวถึงมาทั้งหมดรวมไปถึงการเข้ารหัส (Encryption) เพื่อรักษาความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งการรบกวนกับสัญญาณอื่น ๆ ถือว่าเป็นความเป็นไปได้ที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงสำหรับการใช้งานคลื่นความถี่ที่ไม่อยู่ภายใต้การกำกับดูแล อย่างไรก็ตาม Application ในโครงข่าย HAN โดยทั่วไปไม่ได้ต้องการความเชื่อถือได้ที่สูงมากนัก ดังนั้น การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จึงไม่มีประเด็นมากนักสำหรับโครงข่าย HAN แต่สำหรับ Application ในโครงข่าย WAN และ FAN ที่ต้องการความเชื่อถือได้และความพร้อมใช้งานที่สูง จะเหมาะสมกับการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ที่ต้องขออนุญาตใช้งานเป็นรายบุคคล หรือมีมาตรฐานบังคับและการกำกับดูแลในรูปแบบอื่น ๆ

ก.2.2 โครงข่าย WAN/NAN/FAN

โครงข่าย Wide Area Network (WAN), Neighborhood Area Network (NAN) และ Field Area Network (FAN) จำเป็นรองรับการสื่อสารข้อมูลในระยะทางที่ไกล เช่น จากพื้นที่ในเมืองไปยังศูนย์ควบคุมกลาง ซึ่งโครงข่ายเหล่านี้อาจรองรับการสื่อสารไปยังจุดปลายทางโดยตรง หรือทำหน้าที่เป็น Backhaul ซึ่งประเภทของเทคโนโลยีที่เลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการพิจารณาในหลายประเด็น เช่น

- ระยะทางสื่อสารที่ต้องการ
- สิทธิแห่งทางที่มีอยู่ (กรณีที่เลือกใช้ระบบสื่อสารบนสายเคเบิล)
- ปริมาณข้อมูล

- ความพร้อมใช้งาน (Availability)
- ความเชื่อถือได้ (Reliability)
- คลื่นความถี่ที่ใช้ เช่น แบบ Licensed หรือ Unlicensed

มาตรฐาน IEEE 802 LAN/MAN ได้มีการพัฒนามาตรฐานระบบสื่อสารไร้สายรวมแล้วหลายมาตรฐาน เพื่อสนับสนุนการทำงานของ Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด เช่น

- ระบบสื่อสารไร้สายที่รองรับการสื่อสารแบบ Point-to-multipoint
  - IEEE 802.11
  - IEEE 802.16
  - IEEE 802.20
  - IEEE 802.22
- ระบบสื่อสารไร้สายที่รองรับการสื่อสารแบบ Mesh
  - IEEE 802.15.4
  - IEEE 802.11

เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายอื่น ๆ ที่สามารถรองรับความต้องการของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ได้แก่ เทคโนโลยี Cellular และการกระจายเสียง (Sound Broadcasting) โดยการกำหนดมาตรฐานของโครงข่าย Cellular อยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของ 3GPP (เช่น GSM/EDGE, WCDMA/HSPA และ LTE) ซึ่งพัฒนามาจากการให้บริการโทรศัพท์เพื่อรองรับ Application ทางด้านข้อมูลหลากหลายประเภท โดยเป็นมาตรฐานที่มีฟังก์ชันความปลอดภัยในตัวและคุณภาพการให้บริการอยู่ภายในตัว และเมื่อไม่นานมานี้ 3GPP ได้ปรับปรุงมาตรฐานสำหรับการสื่อสารแบบ Machine-type (MTC) ซับซ้อนของอุปกรณ์ ซึ่งการใช้งานสมาร์ทมิเตอร์ในปัจจุบัน ก็สามารถทำงานได้เต็มความสามารถบนเทคโนโลยี GSM นอกจากนี้ เทคนิคการกระจายเสียงก็ถูกใช้งานมานานหลายทศวรรษ เช่น โครงข่ายกระจายเสียงแบบ FM ในประเทศสหรัฐอเมริกา และบริการกระจายเสียงแห่งชาติย่านความถี่ LF 198 kHz ในสหราชอาณาจักร

ก.3 ข้อพิจารณาเกี่ยวกับการรบกวนของสัญญาณในการเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

มาตรฐาน IEEE 802 LAN / MAN ได้พัฒนาเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายจำนวนมาก ซึ่งผ่านการสาธิตการใช้งานสำหรับการสื่อสารในระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยไม่ส่งผลกระทบด้านการรบกวนกับระบบอื่นๆ

คุณสมบัติทั่วไปของระบบสื่อสารต่าง ๆ ในอนุกรมมาตรฐาน IEEE 802 มีดังนี้:

- IEEE 802.11 (Wi-Fi) และ IEEE 802.15.1 (Bluetooth) ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้งานร่วมกันภายในย่านความถี่เดียวกันมาเป็นระยะเวลาหลายปีมาแล้ว

- ถึงแม้ว่าในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด จะมีอุปกรณ์ที่มีการสื่อสารข้อมูลจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่แล้วความต้องการด้านอัตราข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละตัวจะค่อนข้างต่ำ และอุปกรณ์ทุกตัวก็ไม่ได้มีการรับส่งข้อมูลพร้อมกัน ดังนั้น จึงสามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- หน่วยงานกำกับดูแลในต่างประเทศ เช่น FCC ในสหรัฐอเมริกา และ Ofcom ในสหราชอาณาจักร เสนอให้มีการจำกัดกำลังส่งอย่างเข้มงวดในหลาย ๆ ย่านความถี่ ซึ่งผู้ขอใช้คลื่นความถี่ย่านนั้นๆ ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด
- เทคโนโลยี Cognitive Radio สมัยใหม่ ที่ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้มาตรฐาน IEEE 802 (เช่น IEEE 802.22-2011 หรือที่เรียกว่า Wi-FAR) ช่วยให้สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้คลื่นความถี่หลัก (Primary User) ในย่านความถี่นั้นหรือย่านความถี่ใกล้เคียง
- คุณลักษณะภายในมาตรฐาน IEEE 802 เช่น การตรวจสอบคลื่นความถี่ (Spectrum Sensing) กลไกในการเข้าถึงคลื่นความถี่ (Spectrum Access Mechanism) และการจัดการช่องสัญญาณ จะช่วยบรรเทาการรบกวนทั้งกับตนเองและกับระบบสื่อสารอื่น ๆ ให้มีผลกระทบน้อยที่สุด

เนื่องจาก เทคโนโลยี Cellular 3GPP ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ดังนั้น จึงได้รับการป้องกันจากสัญญาณรบกวน นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาเทคนิคขั้นสูงเพื่อการจัดการสัญญาณรบกวน ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าเทคโนโลยี Cellular 3GPP ไม่มีปัญหาด้านสัญญาณรบกวนที่น่ากังวล

เทคโนโลยี 3GPP ถือเป็นโซลูชันด้านเทคโนโลยีโครงข่ายโทรคมนาคมที่ประกอบด้วยการเข้าถึงคลื่นความถี่ (Radio Access) โครงข่ายหลักของการขนส่งข้อมูล (Core Transport Network) และความสามารถด้านการให้บริการ เช่น การเข้าและถอดรหัส (แปลงสัญญาณ) การรักษาความปลอดภัย และคุณภาพการให้บริการ จึงทำให้เทคโนโลยี 3GPP มีลักษณะเป็นระบบที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ ระบบ 3GPP ยังช่วยให้สามารถทำงานร่วมกับเทคโนโลยี Wi-Fi ได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป้าหมายหลักในการพัฒนาของเทคโนโลยี 3GPP สรุปได้ดังนี้:

- ทำให้ระบบสามารถรองรับการทำงานแบบ Backward และ Forward ในทุกกรณีเมื่อเป็นไปได้เพื่อให้แน่ใจว่าการใช้งานของผู้ใช้งานจะไม่ถูกขัดจังหวะ
- มีการศึกษาและพัฒนาข้อกำหนดด้านการรบกวนของสัญญาณ เพื่อให้แน่ใจว่าการใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างแต่ละเทคโนโลยี 3GPP จะมีผลกระทบน้อยที่สุดต่อประสิทธิภาพการทำงาน
- ปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก
- พัฒนาเทคโนโลยีที่สนับสนุนอัตราข้อมูลและความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่หลากหลาย

นอกจากนี้ เทคโนโลยี 3GPP สามารถนำหลากหลายเทคนิคมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น Frequency Hopping เพื่อเพิ่มความสามารถในการป้องกันสัญญาณรบกวน และลดการรบกวนต่อระบบอื่น ๆ ที่ทำงานในย่านความถี่เดียวกัน เทคโนโลยีนี้ยังใช้ประโยชน์จากเทคนิคในการวางแผนและทำงานประสานกัน เช่น การวางแผนการใช้คลื่นความถี่ในพื้นที่กว้าง และการทำงานประสานกันเพื่อลดการรบกวนระหว่างเซลล์ (Inter-cell Interference) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งมีการใช้เทคนิคขั้นสูงในการลดสัญญาณรบกวน (Interference Suppression) ที่เครื่องรับสัญญาณ เพื่อเพิ่มความสามารถในการป้องกันสัญญาณรบกวน

3GPP2 ได้พัฒนาเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่เป็นระบบสื่อสารที่ยืดหยุ่น สามารถรองรับการใช้งานสำหรับการสื่อสารในระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยปราศจากการรบกวนต่อระบบอื่น ๆ เทคโนโลยีในตระกูล 3GPP2 CDMA2000 Multi-Carrier ประกอบด้วย:

- CDMA2000 1x
- CDMA 2000 High Rate Packet Data (HRPD/EV-DO)
- Extended High Rate Packet Data (xHRPD)

เทคโนโลยีในตระกูล 3GPP2 CDMA2000 Multi-Carrier ได้รับการยอมรับจาก ITU ว่าเป็นเทคโนโลยีกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunication: IMT) ตามที่กำหนดไว้ใน Recommendation ITU-R M.1457 ซึ่งคุณสมบัติทั่วไปของมาตรฐาน 3GPP2 CDMA2000 Multi-Carrier ได้แก่:

- เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีวิธีการควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณที่ซับซ้อน สามารถรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากทั้งในรูปแบบการเข้าถึงแบบสุ่ม (Random Access) และ Traffic Mode โดยมีผลกระทบจากการรบกวนต่ำที่สุด
- มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลก จึงสามารถเชื่อมต่อการใช้งานได้เกือบทุกพื้นที่ทั่วโลก
- สถานีฐานแต่ละสถานีสามารถครอบคลุมระยะทางสื่อสารได้เป็นพื้นที่กว้าง
- เป็นมาตรฐานที่มีข้อกำหนดที่สมบูรณ์ ครอบคลุมทั้งด้านโครงข่าย ความปลอดภัย การทดสอบและสมรรถนะ

ก.4 ผลกระทบต่อความพร้อมใช้งานของคลื่นความถี่ที่เกิดจากการใช้งานโครงข่ายสื่อสารอย่างแพร่หลายในการบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้า

หนึ่งในวัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี Cellular 3GPP และมาตรฐานในตระกูล IEEE 802 คือ จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อความพร้อมใช้งานของคลื่นความถี่ อันเนื่องมาจากการรบกวนซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้งานเทคโนโลยีและอุปกรณ์ดังกล่าวในวงกว้าง โดยมีข้อพิจารณาที่สำคัญดังนี้:

- ปัจจุบันมีอุปกรณ์ไร้สายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดนับล้านตัวติดตั้งอยู่ในหลายประเทศทั่วทุกภูมิภาค เช่น ยุโรป ออสเตรเลีย อเมริกาเหนือ ซึ่งทำงานบนย่านความถี่ที่มีการใช้งานร่วมกับบริการอื่น ๆ การใช้งานเหล่านี้มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องและมีการวางแผนติดตั้งเพิ่มขึ้นในพื้นที่ดังกล่าวเนื่องจากได้รับการพิสูจน์แล้วถึงความสำเร็จและประสิทธิภาพ
- อุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สายมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลก อุปกรณ์แต่ละเครื่องอาจมีการรับส่งข้อมูลในระดับกิกะไบต์ต่อเดือน ซึ่งอุปกรณ์แบบไร้สายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจะมีปริมาณข้อมูลที่น้อยกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มาก ดังนั้น คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งบริหารจัดการโดยผู้ให้บริการโครงข่ายไร้สายสามารถรับมือกับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวได้

- กฎระเบียบในปัจจุบันซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานกำกับดูแล เช่น FCC ในสหรัฐอเมริกา และ Ofcom ในสหราชอาณาจักร ช่วยให้อุปกรณ์แบบไร้สายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจำนวนหลายล้านตัวสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดการรบกวนต่อกันและกัน
- มาตรฐานระบบสื่อสารไร้สาย IEEE 802 ใช้เทคโนโลยีหลากหลายประเภท เช่น Frequency Hopping, การค้นหาเส้นทางแบบ Mesh, การเข้ารหัส (Coding) และการแยกส่วนข้อมูล (Fragmentation) ซึ่งช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ให้ระบบสื่อสารไร้สายในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด นอกจากนี้ ยังช่วยให้ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดมีความยืดหยุ่นต่อการทำงานในกรณีที่เกิดปัญหาการเชื่อมต่อในบางข่ายเชื่อมโยงหรือในกรณีที่เกิดไฟฟ้าดับ
- เทคโนโลยี 3GPP ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การมอดูเลตและการเข้ารหัสระดับสูงการจัดสรรบล็อกทรัพยากร การลดสัญญาณการรบกวน และ MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) เพื่อใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่ที่รับการจัดสรรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- เทคโนโลยีใหม่ในการแบ่งปันความรู้ความเข้าใจทางวิทยุที่พัฒนาขึ้นภายใต้มาตรฐาน IEEE 802 สามารถใช้คลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้หลักรายอื่นที่ใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่เดียวกันหรือย่านความถี่ที่อยู่ติดกัน
- เทคโนโลยี Cognitive Radio ที่ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้มาตรฐาน IEEE 802 ช่วยให้สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้คลื่นความถี่หลัก (Primary User) ในย่านความถี่เดียวกันหรือย่านความถี่ที่อยู่ติดกัน
- คุณลักษณะภายในมาตรฐาน IEEE 802 เช่น การตรวจสอบคลื่นความถี่ กลไกในการเข้าถึงคลื่นความถี่และการจัดการช่องสัญญาณ จะช่วยบรรเทาการรบกวนทั้งกับตนเองและกับระบบสื่อสารอื่น ๆ ให้มีผลกระทบน้อยที่สุด
- เทคโนโลยี Cellular 3GPP ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และได้เพิ่มคุณลักษณะใหม่ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานรวมกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดใน 3GPP Release 13
- การเชื่อมต่อแบบ Ethernet ซึ่งเป็นระบบสื่อสารแบบมีสาย จึงไม่ได้ใช้งานคลื่นความถี่ ซึ่งโดยทั่วไป Ethernet จะถูกกำหนดให้ต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดในระดับท้องถิ่นหรือระดับประเทศในด้านขีดจำกัดของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับระบบที่ไม่มีการส่งสัญญาณ (Non-transmitting System) ดังนั้น ในกรณีที่ใช้งาน Ethernet เป็นระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด จึงไม่จำเป็นต้องมีการพิจารณาในด้านการรบกวนจากการสื่อสารข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

หนึ่งในเป้าหมายหลักของมาตรฐาน 3GPP คือ การใช้งานเทคโนโลยีและอุปกรณ์ 3GPP จะต้องไม่ส่งผลกระทบในด้านการรบกวนต่อความพร้อมใช้งานของคลื่นความถี่ และเทคโนโลยี 3GPP ซึ่งมีการใช้งานแพร่หลายทั่วโลกจะต้องรองรับการใช้งานข้ามโครงข่าย (Roaming) สำหรับอุปกรณ์ผู้ใช้งานได้ทั่วโลก โดยที่โครงข่าย Cellular จะต้องมีพื้นที่ครอบคลุมที่เชื่อถือได้ในเกือบทุกพื้นที่ทั่วโลก

ก.5 ตัวอย่างมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายไฟฟ้า

ก.5.1 มาตรฐาน IEEE

IEEE 802 ประกอบด้วยหลากหลายมาตรฐานของเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถใช้งานกับ Application ด้านการบริหารจัดการในระบบโครงข่ายไฟฟ้า สรุปคุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของมาตรฐานไร้สาย IEEE 802 ที่เกี่ยวข้องได้ดังตารางที่ ก.1 ถึงตารางที่ ก.5

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของ IEEE Std. 802.11

Item	802.11	802.11ah		802.11n	802.11ac
		Model 1[1]	Model 2[2]		
Supported frequency bands (licensed or unlicensed)	2.4 GHz	900 MHz	900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
Nominal operating range	1.5 km	2 km	2 km	0.25 km	0.14 km
Mobility capabilities (nomadic/mobile)	Nomadic and mobile	Nomadic	Nomadic	Nomadic and mobile	Nomadic and mobile
Peak data rate (uplink/ downlink if different)	2 Mb/s	156 Mb/s	1.3 Mb/s	600 Mb/s	6 934 Mb/s
Duplex method (FDD, TDD, etc.)	TDD				
Nominal RF bandwidth	20 MHz	1, 2, 4, 8, 16 MHz	2 MHz	20, 40 MHz	20, 40, 80, 160 MHz
Diversity techniques	Space time				
Support for MIMO (yes/no)	No	Yes	No	Yes	Yes
Beam steering/forming	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Retransmission	Automatic repeat requested (ARQ)				

[1] Model 1 เป็นคุณสมบัติทั่วไป + สภาวะภายในอาคาร

[2] Model 2 เป็นสภาวะการทำงานแบบเฉพาะ + สภาวะภายนอกอาคาร

Item	802.11	802.11ah		802.11n	802.11ac
		Model 1[1]	Model 2[2]		
Forward error correction	Yes	Convolutional and LDPC	Convolutional and LDPC	Yes	Yes
Interference management	Listen before talk	Listen before talk and frequency channel selection	Listen before talk and frequency channel selection	Listen before talk	Listen before talk
Power management	Yes				
Connection topology	Point-to-point, multi-hop, star				
Medium access methods	CSMA/CA				
Multiple access methods	CSMA	CSMA/TDMA	CSMA/TDMA	CSMA	CSMA
Discovery and association method	Passive and active scanning				
QoS methods	Radio queue priority, pass-thru data tagging, and traffic priority				
Location awareness	Yes				
Ranging	Yes				
Encryption	AES-128, AES-256				
Authentication/replay protection	Yes				

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของ IEEE Std. 802.15.4

Item	Value
Supported frequency bands, licensed or unlicensed (MHz)	Unlicensed: 169, 450-510, 779-787, 863-870, 902-928, 950-958, 2 400-2 483.5 Licensed: 220, 400-1000, 1427
Nominal operating range	OFDM – 2 km MR-FSK – 5 km DSSS – 0.1 km
Mobility capabilities (nomadic/mobile)	Nomadic and mobile

Item	Value
Peak data rate (uplink/downlink if different)	OFDM – 860 kb/s MR-FSK – 400 kb/s DSSS – 250 kb/s
Duplex method (FDD, TDD, etc.)	TDD
Nominal RF bandwidth	OFDM – ranges from 200 kHz to 1.2 MHz MR-FSK – ranges from 12 kHz to 400 kHz DSSS – 5 MHz
Diversity techniques	Space and time
Support for MIMO (yes/no)	No
Beam steering/forming	No
Retransmission	ARQ
Forward error correction	Convolutional
Interference management	Listen before talk, frequency channel selection, frequency hopping spread spectrum, frequency agility.
Power management	Yes
Connection topology	Point-to-point, multi-hop, star
Medium access methods	CSMA/CA
Multiple access methods	CSMA/TDMA/FDMA (in hopping systems)
Discovery and association method	Active and passive scanning
QoS methods	Pass-thru data tagging and traffic priority
Location awareness	Yes
Ranging	Yes
Encryption	AES-128
Authentication/replay protection	Yes
Key exchange	Yes
Rogue node detection	Yes
Unique device identification	64 bit unique identifier

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของ IEEE Std. 802.16

Item	Value
Supported frequency bands (licensed or unlicensed)	Licensed frequency bands between 200 MHz and 6 GHz
Nominal operating range	Optimized for range up to 5 km in typical PMP environment, functional up to 100 km
Mobility capabilities (nomadic/mobile)	Nomadic and mobile
Peak data rate (uplink/downlink if different)	802.16-2012: 34.6UL / 60DL Mbit/s with 1 Tx BS Antenna (10 MHz BW). 69.2 UL / 120DL Mbit/s with 2 Tx BS Antennas (10 MHz BW) 802.16.1-2012: 66.7UL / 120DL Mbit/s with 2 Tx BS Antenna (10 MHz BW), 137UL / 240DL Mbit/s with 4 Tx BS Antennas (10 MHz BW)
Duplex method (FDD, TDD, etc.)	Both TDD and FDD defined, TDD most commonly used, Adaptive TDD for asymmetric traffic
Nominal RF bandwidth	Selectable: 1.25 MHz to 10 MHz
Diversity techniques	Space and time
Support for MIMO (yes/no)	Yes
Beam steering/forming	Yes
Retransmission	Yes (ARQ and hybrid ARQ (HARQ))
Forward error correction	Yes (convolutional coding)
Interference management	Yes (fractional frequency re-use)
Power management	Yes
Connection topology	Point-to-multipoint, point-to-point, multi-hop relaying
Medium access methods	Coordinated contention followed by connection oriented QoS is support through the use of 5 service disciplines
Multiple access methods	OFDMA
Discovery and association method	Autonomous discovery, association through CID/SFID
QoS methods	QoS differentiation (5 classes supported), and connection oriented QoS support
Location awareness	Yes
Ranging	Optional

Item	Value
Encryption	AES128 – CCM and CTR
Authentication/replay protection	Yes
Key exchange	PKMv2 (Section 7.2.2)
Rogue nodes	Yes, cypher-based message authentication code (CMAC)/hashed message authentication code (HMAC) key derivation for integrity protection for control messages. Additionally ICV of AES-CCM for integrity protection of MPDUs.
Unique device identification	MAC Address, X.509 certificates, optional SIM Card

ตารางที่ ก.4 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของ IEEE Std 802.20 625k-MC mode

Item	Value
Supported frequency bands (licensed or unlicensed)	Licensed bands below 3.5 GHz
Nominal operating range	12.7 km (Max)
Mobility capabilities (nomadic/mobile)	Mobile
Peak data rate (uplink/downlink if different)	The peak downlink user data rates of 1 493 Mbit/s and peak uplink user data rates of 571 kbps in a carrier bandwidth of 625 kHz.
Duplex method (FDD, TDD, etc.)	TDD
Nominal RF bandwidth	2.5 MHz (accommodates Four 625 kHz spaced carriers), 5 MHz (accommodates Eight 625 kHz spaced carriers)
Modulation/coding rate – upstream and downstream	Adaptive modulation and coding, BPSK, QPSK, 8-PSK, 12-PSK, 16QAM, 24QAM, 32QAM and 64QAM
Diversity techniques	Spatial diversity
Support for MIMO (yes/no)	Yes
Beam steering/forming	Spatial channel selectivity and adaptive antenna array processing.
Retransmission	Fast ARQ
Forward error correction	Block and convolutional coding / Viterbi decoding

Item	Value
Interference management	Adaptive antenna signal processing
Power management	Adaptive power control (open as well as closed loop) scheme. The power control will improve network capacity and reduce power consumption on both uplink and downlink.
Connection topology	Point-to-multipoint
Medium access methods	Random access, TDMA-TDD
Multiple access methods	FDMA-TDMA-SDMA
Discovery and association method	By BS-UT mutual authentication
QoS methods	The 625k-MC mode defines the three QoS classes. that implement IETF's Diffserv model: expedited forwarding (EF), assured forwarding (AF) and best effort (BE) Per hop behaviors based on the DiffServ code points (DSCP).
Location awareness	Yes
Ranging	Yes
Encryption	Stream ciphering RC4 and AES
Authentication/replay protection	BS authentication and UT authentication based on using digital certificates signed according to the ISO/IEC 9796 standard using the Rivest, Shamir and Adleman (RSA) algorithm
Key exchange	Elliptic curve cryptography (using curves K-163 and K-233 in FIPS-186-2 standard)
Rogue node detection	Protected from rogue nodes
Unique device identification	Yes

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของ IEEE Std 802.20 625k-MC mode

Item	Value
Supported frequency bands (licensed or unlicensed)	54-862 MHz
Nominal operating range	Optimized for range up to 30 km in typical point-to-multipoint (PMP) environment, functional up to 100 km

Item	Value
Mobility capabilities (nomadic/mobile)	Nomadic and mobile
Peak data rate (uplink/downlink if different)	22-29 Mb/s, greater than 40 Mb/s with MIMO
Duplex method (FDD, TDD, etc.)	TDD
Nominal RF bandwidth	6, 7 or 8 MHz
Diversity techniques	Space, time, block codes, spatial multiplexing
Support for MIMO (yes/no)	Yes
Beam steering/forming	Yes
Retransmission	ARQ, HARQ
Forward error correction	Convolutional, Turbo and LDPC
Interference management	Yes
Power management	Yes, variety of low power states
Connection topology	Point-to-multipoint
Medium access methods	TDMA/TDD OFDMA, reservation based MAC
Multiple access methods	OFDMA
Discovery and association method	Yes, through device MAC ID, CID and SFID
QoS methods	QoS differentiation (5 classes supported), and connection oriented QoS support
Location awareness	Geolocation
Ranging	Yes
Encryption	AES128 – CCM, ECC and TLS
Authentication/replay protection	AES128 – CCM, ECC, EAP and TLS, replay protection through encryption, authentication as well as packet tagging.
Key exchange	Yes, PKMv2
Rogue node detection	Yes
Unique device identification	48 bit unique device identifier, X.509 certificate

ก.5.2 มาตรฐาน ITU-T

Recommendation ของ ITU-T สำหรับเทคโนโลยี NB-PLC คือ Recommendation ตระกูล G.990x (G.9901, G.9904, G.9903, G.9904) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการเชื่อมต่อและการสื่อสารในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด สรุปคุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของเทคโนโลยี NB-PLC ตามข้อกำหนดของ ITU-T ได้ดังตารางที่ ก.6

ตารางที่ ก.6 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของ Recommendations ITU-T G.9903 และ G.9904

Item	G.9903 value	G.9904 value
Supported frequency bands	35-488 kHz	42-89 kHz
Peak data rate	42 kbps	128 kbps
Multiple access methods	OFDM	OFDM
Forward error correction	Reed Solomon, convolutional, scrambler, interleaver, repetition code	Convolutional, scrambler, interleaver
Network topology	Mesh	Tree
Retransmission	ARQ	ARQ
Medium access methods	CSMA and priority	CSMA and contention free or priority
Discovery and association method	6loWPAN and EAP-PSK based	Specific network registration procedure
QoS methods	QoS differentiation with 2 priorities	QoS differentiation with 4 priorities
Encryption	AES128 – CCM	AES128 – GCM
Authentication/replay protection	Authentication and anti-replay mechanism	Authentication and anti-replay mechanism
Key exchange	Yes	Yes
Unique device identification	64-bit unique device identifier	64-bit unique device identifier

ก.5.3 มาตรฐาน 3GPP

มาตรฐาน 3GPP ประกอบด้วยมาตรฐานระบบสื่อสารไร้สายที่หลากหลายซึ่งรองรับ Application ในระดับ First Mile ของระบบบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้า สรุปคุณสมบัติด้านเทคนิคและการทำงานของมาตรฐาน 3GPP ที่เกี่ยวข้อง ได้ดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของเทคโนโลยี 3GPP

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Ability to reliably establish an appropriate device link	% of time	Depends on deployment (typical > 99%)	Depends on deployment (typical > 99%)	Depends on deployment (typical > 99%)	Depends on deployment (typical > 99%)
Ability to maintain an appropriate connection	failure rate per 1 000 sessions	Depends on deployment (typical < 1%)	Depends on deployment (typical < 1%)	Depends on deployment (typical < 1%)	Depends on deployment (typical < 1%)
Voice		Yes	Yes	Yes	Yes
Data	Max user data rate per user in Mbit/s	Using 8 slots: 0.1856 Mbit/s (general packet radio service (GPRS) UL/DL) 0.5568 Mbit/s (enhanced GPRS (EGPRS) UL/DL) 0.928 Mbit/s (EGPRS2-A DL) 0.7424 Mbit/s (EGPRS2-A UL) Rel-7: Downlink dual carrier, 2x (EGPRS, EGPRS2-A) Rel-12: Downlink multi carrier, 2x – 16x	2.048 Mbit/s	346 Mbit/s DL; 34 Mbit/s UL for Rel 12	~4 Gbit/s DL; ~1.5 Gbit/s UL for Rel 12

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
		(EGPRS, EGPRS2-A)			
Video	Max resolution in pixels @ x fps	Yes	Yes	Yes	Yes
Geographic coverage area	km2	35 km radius with normal timing advance; 120 km radius with extended timing advance	120 km radius for extended range cells	120 km radius for extended range cells	100 km radius
Link budget	dB	146.36/133.39 dB (Veh A50) (EGPRS) With Rx diversity at BTS: 144 dB for GPRS/EGPRS/EGPRS2-A	Up to 147 dB	Up to 147 dB (additional coverage extension planned for Rel-13)	Up to 143 dB DL; Up to 133 dB UL (additional coverage extension planned for Rel-13)
Maximum relative movement rate	km/s	350 km/h	350 km/h	350 km/h	350 km/h
Maximum Doppler	Hz	1000 with channel tracking equalizer	648	648	648
Peak over the air uplink data rate	Mbit/s	0.271 Mbit/s (GPRS) 0,8125 Mbit/s (EGPRS)	1.024 Mbit/s	34 Mbit/s for Rel 12	~1.5 Gbit/s for Rel 12

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
		1.0833 Mbit/s (EGPRS2-A)			
Peak over the air downlink data rate	Mbit/s	0.271 Mbit/s (GPRS) 0.8125 Mbit/s (EGPRS) 1.3542 Mbit/s (EGPRS2-A) Rel-7: Downlink dual carrier, 2x (EGPRS, EGPRS2-A) Rel-12: Downlink multi carrier, 2x – 16x (EGPRS, EGPRS2-A)	2.048 Mbit/s	346 Mbit/s for Rel 12	~4 Gbit/s for Rel 12
Peak goodput uplink data rate	Mbit/s	Using 8 slots: 0.1856 Mbit/s (GPRS) 0.5568 Mbit/s (EGPRS) 0.7424 Mbit/s (EGPRS2-A)	0.960 Mbit/s	~29 Mbit/s (~15% overhead wrt PHY)	~1.275 Gbit/s (~15% overhead wrt PHY)
Peak goodput downlink data rate	Mbit/s	Using 8 slots: 0.1856 Mbit/s (GPRS) 0.5568 Mbit/s (EGPRS) 0.928 Mbit/s	1.920 Mbit/s	~294 Mbit/s (~15% overhead wrt PHY)	~3.4 Gbit/s (~15% overhead wrt PHY)

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
		(EGPRS2-A) Rel-7: Downlink dual carrier, 2x (EGPRS, EGPRS2-A) Rel-12: Downlink multi carrier, 2x – 16x (EGPRS, EGPRS2-A)			
Public radio standard operating in unlicensed bands	GHz L/UL	Can be operated, but not currently specified.	Can be operated	Can be operated	Can be operated (Licensed-Assisted Access to unlicensed bands targeted for Rel-13)
Public radio standard operating in licensed bands	GHz L/UL	Multiple bands per 3GPP 45.005	Multiple bands as per 3GPP 25.101	Multiple bands as per 3GPP 25.101	Multiple bands as per 3GPP 36.101 and 36.104
Private radio standard operating in licensed bands	GHz L/UL	Can be operated, but not currently specified.	Can be operated, but not currently specified.	Can be operated, but not currently specified.	Yes, incl. push-to-talk and direct device-to-device technology

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Duplex method	TDD/FDD	FDD	FDD and TDD	FDD and TDD	FDD and TDD, incl. half-duplex FDD
Carrier bandwidth	kHz	208 kHz @ 99%	5 MHz for FDD	5 MHz for FDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz Up to 100 MHz of aggregated bandwidth using Carrier Aggregation
Channel separation	kHz	200 kHz channel spacing	5 MHz for FDD	5 MHz for FDD	Nominal Channel spacing = (BWChannel(1) + BWChannel(2))/2, where BWChannel(1) and BWChannel(2) are the channel bandwidths of the two respective carriers
Number of non-overlapping channels in band of operation		See 3GPP 45.005	See 3GPP 25.101	See 3GPP 25.101	See 3GPP 36.101 and

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
					36.104
Spectral Efficiency	bits/s/Hz	270.8/200= 1.354 (GPRS) 812.5/200 = 4.0625 (EGPRS) 1354.2/200= 6.771 (EGPRS2-A)	0.2048 bit/s/Hz UL; 0.4096 bit/s/Hz DL	2.2 bit/s/Hz UL; 5.6 bit/s/Hz DL	15 bit/s/Hz UL; 40 bit/s/Hz DL
Average Cell Spectral Efficiency	bits/s/Hz/cell	1.1760 Mbit/s/MHz/cell (Veh A50) (EGPRS)	0.67 DL (with Diversity); 0.47 UL (Pedestrian A)	Depending on deployment scenario, example value ranges are 1.1-1.6 DL; 0.7-2.3 UL	Depending on deployment scenario, example value ranges for Rel-8 are 1.8 – 3.2 DL; 0.7-1.05 UL
Frame duration	Ms	120/26 ms	10 ms (2 ms TTI)	10 ms (2 ms TTI)	10 ms (1 ms TTI)
Maximum packet size	Bytes	1 560 bytes at RLC interface	No fixed size for FDD (depends on modulation level and number of channelization codes); TDD (3.84 Mbit/s) = 12750 bytes (see 3GPP	42 192 bits per stream on DL; 22996 bits for UL	8 188 bytes for DL/UL

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
			25.321)		
Segmentation support	Yes/No	Yes	Yes	Yes	Yes
Diversity technique	Antenna, polarization, space, time	Yes	Yes	Yes	Yes
Beam steering	Yes/No	No	No (for Rel 5)	Yes	Yes
Retransmission	ARQ/HARQ/-	Yes, e.g. ARQ, HARQ – incremental redundancy	Yes, e.g. ARQ/HARQ	Yes, e.g. ARQ/HARQ	Yes, e.g. ARQ/HARQ
Error correction technique		Punctured convolutional coding Turbo added in EGPRS2-A per Rel 7	Convolutional and Turbo	Convolutional and Turbo	Turbo; Tail Biting Convolution on BCH
Interference cancellation		Yes, e.g. Single antenna interference cancellation (SAIC) DL IRC DL and UL	No (for Rel 5)	Yes for both DL and UL	Yes
RF frequency of operation		Multiple bands per 3GPP 45.005	Specified in 3GPP 25.101	Specified in 3GPP 25.101	Specified in 3GPP 36.101
Retries		Configurable	Configurable	Configurable	Configurable
Receive signal strength indication (RSSI)		Yes; 64 levels between –110 dBm +	Yes; 77 levels between –100 dBm	Yes; 77 levels between	LTE reports Reference signal

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
		scale and −48 dBm+scale	and −25 dBm	−100 dBm and −25 dBm	received power (RSRP) for LTE neighbor cells and RSSI (77 levels between −100 dBm and −25 dBm) for HSPA and EDGE neighbor cells. See 3GPP TS 36.133.
Lost packets		Residual block error ratio (BLER) = 1% after HARQ	Residual BLER = 1% after HARQ	Depends on operating point but typically 1% residual BLER after HARQ	Depends on operating point but typically 1% residual BLER after HARQ
Mechanisms to reduce power consumption		Yes, e.g. DTX, DRX and power control	Yes, e.g. DTX, DRX	Yes, e.g. DTX, DRX	Yes, e.g. DTX, DRX
Low power state support		Yes	Yes	Yes, e.g. Longer DTX/DRX	Yes

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
				cycles in all states	
Point to point		Yes	Yes	Yes	Yes
Point to Multipoint		Yes	Yes	Yes	Yes
Broadcast		Yes	Yes	Yes	Yes
Handover		Yes	Yes	Yes	Yes
Media access method		Circuit-switched TDMA	Circuit-switched CDMA	Scheduled packet based CDMA	Scheduled packet based OFDMA
Discovery		Sync and Broadcast channel	Sync and Broadcast channel	Sync and Broadcast channel	Sync and Broadcast channel
Association		Temporary block flow (TBF)	Through various RNTIs	Through HRNTI and ERNTI assigned to UEs	Through CRNTI
Traffic priority	diffserv, resserv	3GPP-defined priorities	3GPP-defined priorities	3GPP-defined priorities	3GPP-defined priorities
Radio queue priority		Scheduler in base station	Yes at the Node B scheduler	Yes at the Node B scheduler	Yes at the eNode B scheduler
Location awareness (x,y,z coordinates)		aGPS and UTDOA methods as per 3GPP spec	aGPS and OTDOA methods as per 3GPP spec	aGPS and OTDOA methods as per 3GPP spec	A-GNSS, OTDOA, E-CID, UTDOA methods as per 3GPP

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
					spec
Ranging (distance reporting)					
Encryption	Algorithms supported	A5/3, A5/4, GEA3	KASUMI	KASUMI and SNOW 3G	SNOW 3G/AES
Authentication		Yes	Yes, mutual	Yes, mutual	Yes, mutual
Replay protection		Yes	Yes	Yes	Yes
Key exchange	Protocols supported	MILENAGE	MILENAGE	AKA	AKA
Interference sources		Other users, cells and networks	Other users, cells and networks	Other users, cells and networks	Other users, cells and networks
Co-channel interference		Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation
Adjacent channel interference		Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation
Alternate channel interference		Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation
Collision		Managed as per	Managed as	Managed as	Managed as

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
avoidance		3GPP specs and implementation	per 3GPP specs and implementation	per 3GPP specs and implementation	per 3GPP specs and implementation
Protection mechanisms		Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation
Sensitivity to other interfering radio technologies		Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation
Degree of interference caused to other radio technologies		Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation
Sensitivity to power line RF emissions		Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation	Managed as per 3GPP specs and implementation
MAC address			Yes	Yes	Yes
SIM card		Yes	Yes	Yes	Yes
Other identity		IMEI	IMEI	IMEI	IMEI
Rogue detection		Yes	Yes	Yes	Yes
Base standard,	SDO name	ATIS (3GPP	ATIS (3GPP	ATIS (3GPP	ATIS (3GPP

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
Standards Development Organization (SDO)		Organizational Partner)	Organizational Partner)	Organizational Partner)	Organizational Partner)
Profiling and application organizations	Association/ Forum name				
Temperature range		As per 3GPP 45.005	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 36.101 & 36.104
RF noise sources – other radios		As per 3GPP 45.005 & 45.050	As per 3GPP 25.942	As per 3GPP 25.942	As per 3GPP 36.101 & 36.104
RF noise sources – other electrical equipment		As per 3GPP 45.005 & 45.050	As per 3GPP 25.943	As per 3GPP 25.943	As per 3GPP 36.101 & 36.104
Rx sensitivity	dBm	As per 3GPP 45.005 –100 dBm (Veh A120) @ 10% BLER	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 36.101 & 36.104
Tx power peak	dBm	As per 3GPP 45.005	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 36.101 & 36.104
Tx power steps	dB	As per 3GPP 45.005	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 36.101 & 36.104
Antenna gain	dBi	As per 3GPP 45.005	As per 3GPP 25.101 &	As per 3GPP 25.101 &	As per 3GPP 36.101 &

Functionality characteristic	Measurement unit	GSM/EDGE	UMTS	HSPA+	LTE
			25.102	25.102	36.104
Noise floor	dBm	As per 3GPP 45.050	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 25.101 & 25.102	As per 3GPP 36.101 & 36.104
Modulation	GFSK, OFDM, BPSK, GMSK	GMSK, 8-PSK 16QAM/32QAM added in EGPRS2-A per Rel 7	BPSK/QPSK	QPSK, 16QAM/64QAM	QPSK, 16QAM/64QAM/256QAM
Forward error coding		Punctured convolutional code	Convolutional and Turbo	Convolutional and Turbo	Turbo; Tail Biting Convolution on BCH

ก.5.4 มาตรฐาน 3GPP2

มาตรฐาน 3GPP2 ประกอบด้วยมาตรฐานระบบสื่อสารไร้สายที่หลากหลายซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในระบบบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้าได้ สรุปคุณสมบัติด้านเทคนิคและการทำงานของมาตรฐาน 3GPP2 ที่เกี่ยวข้อง ได้ดังตารางที่ ก.8

ตารางที่ ก.8 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของมาตรฐาน 3GPP2 CDMA2000 Multi-Carrier

Item	Value		
	cdma2000 1x	cdma2000 high rate packet data (HRPD/EV-DO)	Extended high rate packet data (xHRPD)
Supported frequency bands (licensed or unlicensed)	Licensed, multiple bands possible (see 3GPP2 C.S0057-E)	Licensed, multiple bands possible (see 3GPP2 C.S0057-E)	Licensed, multiple bands possible (see 3GPP2 C.S0057-E)
Nominal operating range	160 dB pathloss (For urban deployment, a typical max range is 5.7 km at 2 GHz	160 dB pathloss (For urban deployment, a typical max range is 5.7 km at 2 GHz	North America covered under the geosatellite deployment case;

Item	Value		
	cdma2000 1x	cdma2000 high rate packet data (HRPD/EV-DO)	Extended high rate packet data (xHRPD)
	following 3GPP2 C.R.1002-B Evaluation Methodology. For special deployments, range as large as 144 km can be achieved with optimized parameter settings.)	following 3GPP2 C.R.1002-B Evaluation Methodology. For special deployments, range as large as 144 km can be achieved with optimized parameter settings.)	11.4 km in terrestrial deployment; 2 GHz
Mobility capabilities (nomadic/mobile)	Nomadic and mobile	Nomadic and mobile	Nomadic and mobile
Peak data rate (uplink/downlink if different)	3.1 Mbit/s (1.23 MHz carrier) on downlink 1.8 Mbit/s (1.23 MHz carrier) on uplink;	4.9 Mbit/s per 1.23 MHz carrier, with up to 16 carriers possible on downlink; 1.84 Mbit/s per 1.23 MHz carrier, with up to 16 carriers possible on uplink;	3.072 Mbit/s per 1.23 MHz carrier on downlink; 0.0384 Mbit/s per 12.8 kHz channel, up to 96 12.8 kHz channels supported in 1.23 MHz on uplink
Duplex method (FDD, TDD, etc.)	FDD	FDD	FDD
Nominal RF bandwidth	1.25 MHz	1.25 to 20 MHz (1 to 16 carriers)	1.25 MHz
Diversity techniques	Antenna, polarization, space, time	Antenna, polarization, space, time	Antenna, polarization, space, time
Support for MIMO (yes/no)	No	Yes	No
Beam steering/forming	Yes	No	No
Retransmission	HARQ	HARQ	HARQ
Forward error	Convolutional and Turbo	Convolutional and Turbo	Convolutional and

Item	Value		
	cdma2000 1x	cdma2000 high rate packet data (HRPD/EV-DO)	Extended high rate packet data (xHRPD)
correction			Turbo
Interference management	Yes, Multiple techniques such as receiver interference cancellation, power control, etc.	Yes, Multiple techniques such as receiver interference cancellation, power control, etc.	Yes, Multiple techniques such as receiver interference cancellation, power control, etc.
Power management	Yes, variety of low power states	Yes, variety of low power states	Yes, variety of low power states
Connection topology	Point-to-multipoint	Point-to-multipoint	Point-to-multipoint
Medium access methods	CDMA	CDMA (RL)/TDMA (FL)	FDMA (RL)/TDMA (FL)
Discovery and association method	Yes, mobile continuously searches for the strongest base station. Mobile registers with a group of base stations, and associates with the strongest base station when transmitting/receiving data. Mobile registers and potentially receives a MAC ID.	Yes, mobile continuously searches for the strongest base station. Mobile registers with a group of base stations, and associates with the strongest base station when transmitting/receiving data. Mobile registers and receives a MAC ID.	Yes, mobile continuously searches for the strongest base station. Mobile registers with a group of base stations, and associates with the strongest base station when transmitting/receiving data
QoS methods	Yes, 3GPP2-defined priorities	Yes, 3GPP2-defined priorities	Yes, 3GPP2-defined priorities
Location awareness	Yes, GNSS and AFLT	Yes. GNSS and AFLT	No
Ranging	Yes, based on round trip delay measurement	Yes, based on round trip delay measurement	Not specified

Item	Value		
	cdma2000 1x	cdma2000 high rate packet data (HRPD/EV-DO)	Extended high rate packet data (xHRPD)
Encryption	Cellular Message Encryption Algorithm (CMEA); AES	AES	AES
Authentication/replay protection	Yes; CAVE & AKA	Yes; CHAP & AKA	Yes; CHAP & AKA
Key exchange	CAVE, SHA-1 & SHA-2 for AKA	SHA-1, SHA-2 & MILENAGE	SHA-1, SHA-2 & MILENAGE
Rogue node detection	Yes, base station can be authenticated	Yes, base station can be authenticated	Yes, base station can be authenticated
Unique device identification	Uses 60 bits MEID and SimCard (optional)	Uses 60 bits MEID and SimCard (optional)	Uses 60 bits MEID and SimCard (optional)

ภาคผนวก ข.
สรุปผลการศึกษาการครอบครองคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในย่านความถี่ต่าง ๆ ของประเทศเนเธอร์แลนด์

ข.1 สิ่งที่ได้จากการสัมภาษณ์

จากการสัมภาษณ์ผู้เล่นรายใหญ่ในตลาดระบบสื่อสารไร้สายแบบ Unlicensed ในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีเป้าหมายเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาตลาดระบบสื่อสารไร้สายแบบ Unlicensed ออกไปสู่พื้นที่อื่นนอกเหนือจากการใช้งานในบ้านพักอาศัย การสัมภาษณ์ดังกล่าวดำเนินการในเดือนธันวาคม ค.ศ. 2015 ถึงมกราคม ค.ศ. 2016 สรุปสิ่งสำคัญที่ได้จากการสัมภาษณ์ ดังนี้

<u>ย่านความถี่ 868 MHz</u>

- ในย่านความถี่ 868 MHz เหลือพื้นที่ว่างไม่มากนัก
- Application และทราฟฟิกจาก RFID เพิ่มขึ้นเท่าตัวทุก ๆ ปี ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปัญหาด้านการรบกวนในย่านความถี่ 868 MHz
- โครงข่ายวิทยุระยะไกล (Long Range Radio: LoRa) สาธารณะ ถูกสร้างขึ้นให้ผู้บริโภคสามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ต่าง ๆ ซึ่งโครงข่ายดังกล่าวจะยังสามารถทำงานได้ตราบเท่าที่อุปกรณ์ LoRa ยังมีจำนวนจำกัดและมีการรบกวนต่ำ อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคจะไม่ได้การรับประกันการเชื่อมต่อและเมื่อใดที่โครงข่าย LoRa ถูกใช้งานเต็มความสามารถแล้ว จำเป็นต้องหาทางเลือกอื่นต่อไป
- มีสองหน่วยงานร้องขอคลื่นความถี่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในย่านความถี่ 915 MHz

<u>ย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz</u>

- พบปัญหาการใช้งานมากสำหรับ WiFi 2.4 GHz เนื่องจากย่านความถี่นี้มีการใช้งานจนเต็มแบนด์วิดท์ และมีปริมาณทราฟฟิกที่แออัดมาก นอกจาก WiFi แล้ว ยังมีอุปกรณ์ในระบบอื่นจำนวนมากที่ทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz เช่นกัน ซึ่งทำให้ปัญหาดังกล่าวรุนแรงขึ้น
- แหล่งสัญญาณรบกวนที่ใหญ่ที่สุดในย่านความถี่ 2.4 GHz คือ ระบบเฝ้าระวังทารก และเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอแบบแอนะล็อก
- สมาร์ทโฟนรุ่นใหม่เกือบทั้งหมดรองรับ WiFi 5 GHz
- การใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz เริ่มลดลง เนื่องจากผู้ใช้งานเริ่มเปลี่ยนไปใช้ย่านความถี่ 5 GHz มากขึ้น ตัวอย่างเช่น ในสนามกีฬาแห่งหนึ่งซึ่งมีผู้ใช้งานประมาณ 20,000 ราย มีการใช้งานย่านความถี่ 5 GHz 48% ในปี ค.ศ. 2014 และเพิ่มเป็น 55% ในช่วงเวลาที่ดำเนินการสัมภาษณ์
- เริ่มมีความกังวลเกี่ยวกับเทคโนโลยี LTE-U และ LTE-LAA เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวใช้งานย่านความถี่ 5 GHz ทำให้อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งาน WiFi 5 GHz ในอนาคต

- สำหรับการใช้งาน WiFi ภายในบ้านพักอาศัย การติดตั้งเครื่องทวนสัญญาณ (Repeater) เพิ่มขึ้นไม่ได้ช่วยให้ระบบทำงานได้ดีขึ้น
- ปัจจุบัน มี Application จำนวนมาก ใช้งานระบบสื่อสารไร้สายแบบ Unlicensed ซึ่งบาง Application ถือเป็นสิ่งสำคัญทางธุรกิจ และเริ่มมีการค้นหาทางเลือกระบบสื่อสารอื่น ๆ แล้ว

ข.2 สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาการใช้งานย่านความถี่ต่าง ๆ จะแบ่งเป็น 5 ระดับซึ่งแสดงด้วยแถบสีตามระดับการครอบครองคลื่นความถี่ในย่านความถี่นั้น ๆ ดังแสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 คำอธิบายการแสดงผลการศึกษา

ระดับ	ระดับการครอบครองคลื่นความถี่	คำอธิบาย
Unacceptable	>40%	Application ที่ใช้งานทำงานผิดพลาดบ่อยครั้ง
Unreliable	30-40%	มีเพียง Application ขนาดเล็ก ที่สามารถทำงานได้ปกติ
Reasonable	20-30%	Application ขนาดใหญ่ สามารถทำงานได้ โดยมีการหยุดชะงักสั้น ๆ บ้าง
Acceptable	10-20%	Application ทำงานได้ปกติ แต่อาจพบประสิทธิภาพการทำงานลดลงในบางขณะ
Good	0-10%	Application ทำงานได้ด้วยประสิทธิภาพสูงสุด

ข.2.1 Application ภายในบ้าน

จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นและผลจากการวิจัยผู้ใช้งาน พบว่าในช่วงที่ผ่านมาการใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการครอบครองย่านความถี่ 2.4 GHz สูงมากในปี 2015 และคาดว่าจะยังคงมีแนวโน้มเช่นนี้ในปี 2020 (ตารางที่ ข.2) ถึงแม้ว่าทราฟฟิกบางส่วนจะถูกย้ายไปที่ย่านความถี่ 5 GHz แต่ในปี 2020 คาดว่าระดับการครอบครองย่านความถี่ 5 GHz ก็ยังคงไม่สูงนัก (ตารางที่ ข.3)

ตารางที่ ข.2 การครอบครองย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับ Application ภายในบ้าน ปี 2015 และปี 2020

2.4 GHz	ปี 2015	ปี 2020
Application ภายในบ้าน	Unacceptable	Unacceptable

ตารางที่ ข.3 การครอบครองย่านความถี่ 5 GHz สำหรับ Application ภายในบ้าน ปี 2015 และปี 2020

5 GHz	ปี 2015	ปี 2020
Application ภายในบ้าน	Good	Good

การใช้งานที่เพิ่มขึ้นในย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz เกิดจาก Application ด้าน Video Streaming เช่น YouTube และการเปลี่ยนแปลงการรับชมโทรทัศน์รูปแบบเดิมไปสู่บริการชมภาพยนตร์แบบออนไลน์ เช่น Netflix นอกจากนี้ รูปแบบการทำงานที่บ้านผ่านระบบคลาวด์ และการใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ซึ่งมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ก็ถือเป็นตัวเร่งที่ทำให้การใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz สูงขึ้นมาก ซึ่งอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเหล่านี้มักใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นหลัก ทำให้ส่งผลกระทบรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมในระบบอัตโนมัติภายในบ้าน (เช่น Smart Thermostat, Smoke Detector และ Smart Lighting) ที่มักใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz เช่นกัน ด้วยปัญหาดังกล่าว บริษัทผู้ผลิตรวมทั้งผู้บริโภคเองจึงถูกบังคับให้หาทางเลือกอื่น ๆ ทำให้ผู้บริโภคเริ่มหันมาพิจารณาซื้ออุปกรณ์ WiFi 5 GHz สำหรับการใช้งานภายในบ้าน และเปลี่ยนเป็นใช้งานโครงข่าย 4G แทนที่ WiFi ในที่สาธารณะ

สำหรับย่านความถี่ 868 MHz เริ่มมีหลายเทคโนโลยีที่แข่งขันกัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากของการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (Machine-to-machine: M2M) รวมทั้งมีอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้น (ระบบ Internet of Things: IoT) ทั้งนี้ เนื่องจากย่านความถี่ 2.4 GHz ถูกใช้งานไปจนเกือบเต็มแล้วจากการใช้งาน Application แถบกว้าง (Wideband) จำนวนมากดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งย่านความถี่ 868 MHz และ 433 MHz ก็สามารถใช้งานกับ Application เหล่านี้ได้เช่นกัน แต่การใช้งานก็ยังไม่แพร่หลายมากนัก ทำให้ระดับการครอบครองย่านความถี่ 868 MHz และ 433 MHz สำหรับ Application ภายในบ้านในปี 2020 ยังคงอยู่ในระดับที่ต่ำอยู่ ดังตารางที่ ข.4 และตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.4 การครอบครองย่านความถี่ 868 MHz สำหรับ Application ภายในบ้าน ปี 2015 และปี 2020

868 MHz	ปี 2015	ปี 2020
Application ภายในบ้าน	Good	Acceptable

ตารางที่ ข.5 การครอบครองย่านความถี่ 433 MHz สำหรับ Application ภายในบ้าน ปี 2015 และปี 2020

433 MHz	ปี 2015	ปี 2020
Application ภายในบ้าน	Good	Good

เทคโนโลยี WiFi ที่ย่านความถี่ 60 GHz ยังไม่ใช่ทางเลือกในอนาคตอันใกล้นี้ เนื่องจากยังมีอุปกรณ์จำนวนน้อยมากที่ทำงานในย่านความถี่ดังกล่าว และวัตถุประสงค์ของเทคโนโลยีดังกล่าว คือ รองรับการสื่อสารไร้สายแทนที่การใช้สายสำหรับบาง Application เช่น การเชื่อมต่อ HDMI แบบไร้สาย และการเชื่อมต่อ Docking Station แบบไร้สาย เนื่องจากเทคโนโลยีนี้มีระยะทางสื่อสารที่จำกัดมาก เช่น ครอบคลุมเพียงพื้นที่ภายในห้อง โดยเป็นที่คาดหมายว่าย่านความถี่ 60 GHz จะช่วยลดปัญหาในย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจาก Application เหล่านี้เป็น Application ใหม่ซึ่งไม่ได้เป็นแหล่งทราฟฟิกหลักของปัญหาในย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz อย่างไรก็ตาม จำนวนอุปกรณ์ในย่านความถี่ 60 GHz คาดว่าจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในอนาคต โดยผู้ผลิตจะเพิ่มความสามารถในการรองรับย่านความถี่ 60 GHz เข้าไปในชิปเซ็ต WiFi มาตรฐาน

ข.2.2 Application ในที่สาธารณะ

จากการศึกษาโดยการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พบว่าปริมาณข้อมูลจากการใช้งาน Application แถบกว้างในย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในตารางที่ ข.6 และตารางที่ ข.7

ตารางที่ ข.6 การคาดการณ์ความเชื่อถือได้ของย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับ Application ในที่สาธารณะ ปี 2015 และปี 2020

2.4 GHz	ปี 2015	ปี 2020
ที่ทำงาน	Reasonable	Reasonable
จุดเชื่อมต่อของระบบขนส่งมวลชน	Unreliable	Unreliable
สนามกีฬา/สถานที่จัดงาน	Unreliable	Unacceptable
โรงพยาบาล	Unreliable	Unacceptable
ย่านใจกลางเมือง	Unacceptable	Unreliable

ตารางที่ ข.7 การคาดการณ์ความเชื่อถือได้ของย่านความถี่ 5 GHz สำหรับ Application ในที่สาธารณะ ปี 2015 และปี 2020

5 GHz	ปี 2015	ปี 2020
ที่ทำงาน	Good	Acceptable
จุดเชื่อมต่อของระบบขนส่งมวลชน	Good	Unreliable
สนามกีฬา/สถานที่จัดงาน	Good	Unreliable
โรงพยาบาล	Good	Reasonable
ย่านใจกลางเมือง	Good	Unreliable

สรุปผลการศึกษาสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ได้ดังนี้

- ในโรงพยาบาล การใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz เริ่มจะพบปัญหา เนื่องจากผู้จำหน่ายอุปกรณ์ทางการแพทย์ต้องการให้โครงข่ายข้อมูลอยู่ภายใต้การควบคุมของตนเอง ซึ่งการใช้งานเกือบทั้งหมดจะอยู่ในย่านความถี่ 2.4 GHz
- ข้อสรุปจากการสัมภาษณ์บริษัทขนส่งสาธารณะในประเทศเนเธอร์แลนด์พบว่าปัญหาในย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz เริ่มรุนแรงมากขึ้น ซึ่งบริษัทเหล่านี้อาจจะย้ายไปใช้งานย่านความถี่แบบ Licensed ในอนาคต
- ในย่านการค้าใจกลางเมือง การศึกษาในอดีตพบปัญหาในย่านความถี่ 2.4 GHz มาเป็นระยะเวลาหลายปีแล้ว อย่างไรก็ตาม ปัญหาดังกล่าวน่าจะลดลงในอนาคต เนื่องจากผู้ใช้งานจำนวนมากเปลี่ยนไปใช้งานระบบสื่อสาร 4G ซึ่งแนวโน้มราคาจะถูกลงเรื่อยๆ เนื่องจากมีการแข่งขันกันสูงระหว่างผู้ให้บริการ

- การใช้งานเทคโนโลยี 4G ก็มีปริมาณรองรับที่จำกัดเช่นกัน โดยที่เทคโนโลยี 5G ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อจาก 4G ซึ่งคาดว่าจะเริ่มถูกใช้งานหลังจากปี ค.ศ. 2020 ก็ยังไม่แน่ว่าจะเข้ามาทันเวลาก่อนที่เทคโนโลยี 4G จะถูกใช้งานจนเต็มความจุหรือไม่ ผู้ให้บริการจึงเริ่มมองหาความเป็นไปได้ในการถ่ายโอนปริมาณการใช้งานบางส่วนไปสู่ย่านความถี่ 5 GHz นั่นอาจทำให้ย่านความถี่ 5 GHz อาจถูกครอบครองโดยผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเหลือพื้นที่น้อยลงสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป บริษัท หรือสถาบันต่าง ๆ นอกจากนี้ การใช้งาน WiFi ในที่สาธารณะก็มีข้อกังวลในด้านความปลอดภัย ซึ่งอาจเป็นอีกเหตุผลที่ทำให้เกิดการใช้งาน 4G แทนที่ WiFi ในที่สาธารณะ
- เนื่องจากเริ่มพบปัญหาเกี่ยวกับการใช้งาน Application ในย่านความถี่แบบ Unlicensed ทำให้บริษัทต่าง ๆ จำเป็นต้องมองหาทางเลือกอื่น ๆ ผู้บริโภคเองก็เริ่มหันไปพิจารณาซื้ออุปกรณ์ WiFi 5 GHz รวมทั้งใช้งานระบบ 4G แทน WiFi ในที่สาธารณะ

ในส่วนของย่านความถี่ 868 MHz ซึ่งการใช้งานที่ผ่านมาจะเป็นการใช้งาน RFID เป็นหลัก แต่ปัจจุบันเริ่มมีเทคโนโลยีอื่น ๆ เข้ามาเป็นคู่แข่ง เทคโนโลยี LoRa เริ่มเข้ามามีบทบาทสำหรับการตรวจวัด การระบุตำแหน่ง หรือการจัดการต่าง ๆ เช่น การติดป้ายราคาสินค้าเพื่อป้องกันขโมย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ย่านความถี่ 868 MHz ค่อนข้างมีพื้นที่จำกัดและมีลักษณะแยกเป็นส่วน (Fragment) โดยที่ Application ส่วนใหญ่จะทำงานในลักษณะ Duty cycle และคาดหวังว่าระบบสื่อสารจะสามารถใช้งานได้ในช่วงเวลาที่ต้องการทำงาน แต่ถ้าไม่เป็นเช่นนั้น Application ก็จะไม่สามารถทำงานได้ในช่วงเวลานั้น นอกจากนี้ จากการสัมภาษณ์พบว่าระบบ RFID เช่น ป้ายกันขโมยซึ่งติดที่สินค้ามีการรบกวนกับเซนเซอร์ของที่จอดรถ ดังนั้น ด้วยการเติบโตอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี M2M และ IoT ทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาในย่านความถี่ 868 MHz มากขึ้นหากไม่มีการดำเนินการอะไร ดังแสดงในตารางที่ ข.8 และในส่วนของย่านความถี่ 433 MHz คาดว่ายังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงในปี 2020 ดังแสดงในตารางที่ ข.9

ตารางที่ ข.8 การคาดการณ์ความเชื่อถือได้ของย่านความถี่ 868 MHz สำหรับ Application ในที่สาธารณะ ปี 2015 และปี 2020

868 MHz	ปี 2015	ปี 2020
ที่ทำงาน	Good	Reasonable
จุดเชื่อมต่อของระบบขนส่งมวลชน	Good	Unreliable
สนามกีฬา/สถานที่จัดงาน	Good	Unreliable
โรงพยาบาล	Good	Unreliable
ย่านใจกลางเมือง	Good	Unacceptable

ตารางที่ ข.9 การคาดการณ์ความเชื่อถือได้ของย่านความถี่ 433 MHz สำหรับ Application ในที่สาธารณะ ปี 2015 และปี 2020

433 MHz	ปี 2015	ปี 2020
ที่ทำงาน	Acceptable	Acceptable
จุดเชื่อมต่อของระบบขนส่งมวลชน	Acceptable	Acceptable
สนามกีฬา/สถานที่จัดงาน	Acceptable	Acceptable
โรงพยาบาล	Acceptable	Acceptable
ย่านใจกลางเมือง	Acceptable	Acceptable

ข.3 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการศึกษาวิจัยจากเอกสาร การวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของกรณีการใช้งานทั่วไป และการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้เสียที่เกี่ยวข้อง จากผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปข้อเสนอแนะได้ดังนี้:

- ย่านความถี่ 433 MHz สามารถรองรับการใช้งานตามวัตถุประสงค์ได้เพียงพอ แม้ว่าจะพบการรบกวนเป็นครั้งคราว ซึ่งยังไม่มีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการใด ๆ กับย่านความถี่นี้
- ย่านความถี่ 863-870 MHz มีการใช้งาน Application ในลักษณะแยกเป็นส่วน (Fragment) และมีกฎระเบียบที่แตกต่างกันมากเกินไป กฎระเบียบควรปรับปรุงให้มีความเข้ากันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแตกต่างในด้านกำลังส่งควรจะลดลงให้ใกล้เคียงกันมากขึ้น โดยกฎระเบียบควรถูกกำหนดโดยคำนึงถึงความเป็นกลางด้านเทคโนโลยี
- ย่านความถี่ RFID ควรปรับปรุงให้มีความเข้ากันในระดับสากล และควรสร้างพื้นที่คลื่นความถี่สำหรับการใช้งาน RFID เพิ่มขึ้น ซึ่งทางอุตสาหกรรม RFID เห็นว่า ย่านความถี่ 915-921 MHz เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด
- การย้ายจากย่านความถี่ WiFi 2.4 GHz ไปสู่ 5 GHz สำหรับ Application แถบกว้าง เป็นต้องได้รับการสนับสนุนและศึกษาเพิ่มเติมต่อไป
- ควรมีการเฝ้าระวังการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed โดยผู้ถือใบอนุญาตคลื่นความถี่แบบ Licensed ในลักษณะที่มี Application การใช้งานที่ใกล้เคียงกับ Application ในย่านความถี่ที่ได้รับอนุญาต
- การใช้คลื่นความถี่ 868 MHz และ 5 GHz โดยผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ สำหรับการใช้งาน Application ด้านข้อมูลในพื้นที่กว้าง (เช่น LoRa, LTE-LAA) อาจส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในช่วงหลายปีต่อไป ผลกระทบของ LoRA และ LTE-LAA ควรได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติมและอาจต้องมีข้อผูกพันตามกฎระเบียบ
- ผู้ใช้งานปลายทางไม่เคยตระหนักถึงข้อเสียของการใช้ Application หรืออุปกรณ์ที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายทางธุรกิจที่สำคัญ การสัมภาษณ์แสดงให้เห็นว่าApplication ที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed มักจะเริ่มต้นจากขนาดเล็ก แต่มีการพัฒนาจนเติบโตขึ้นจนเป็นส่วนสำคัญของธุรกิจ บริษัทธุรกิจขนาดใหญ่กำลังพิจารณาเลิกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed แต่ธุรกิจขนาดเล็กและผู้บริโภคมักไม่ตระหนักถึงความเสี่ยงจากการใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ดังนั้นควรมีการให้ข้อมูลเพิ่มเติมแก่ผู้ใช้งานปลายทางมากขึ้น