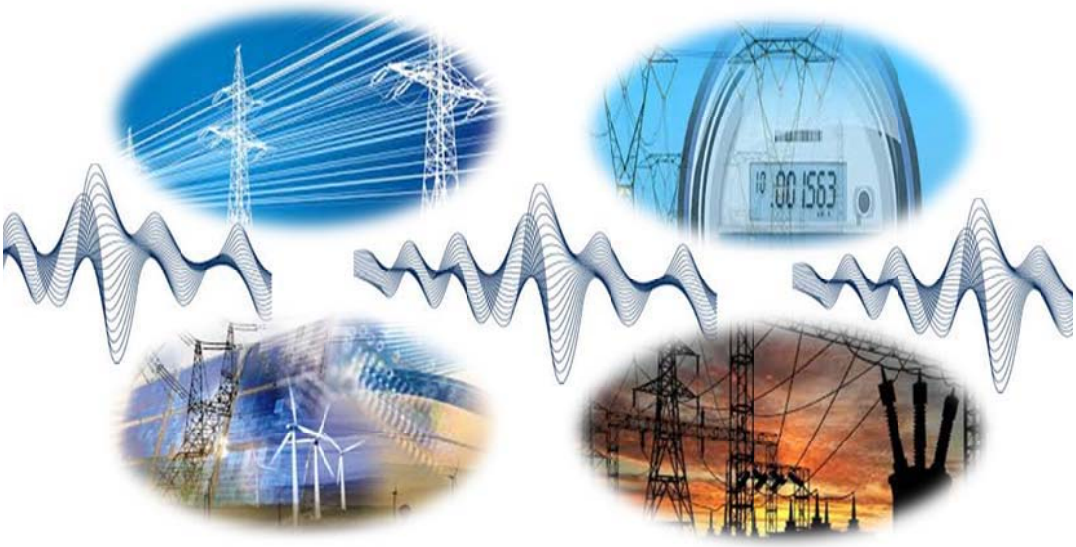
รายงานผลการเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนา
กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ประจำงวดที่ 4

“โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาด หรือระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย”



ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (สำนักงาน กสทช.)

รายงานผลการเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

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 **รายงานผลการเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง** เพื่อสรุปผลการจัดสัมมนาให้ความรู้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องเรื่อง “การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย” เมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2561 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

บทที่ 1 บทนำ **1-1**

บทที่ 2 วัตถุประสงค์และกิจกรรมในการสัมมนาให้ความรู้ **2-1**

2.1 วัตถุประสงค์ 2-1

2.2 สรุปกิจกรรมต่างๆ ในการสัมมนาให้ความรู้ 2-1

2.3 ภาพกิจกรรมและบรรยากาศของการสัมมนาให้ความรู้ 2-3

บทที่ 3 สรุปประเด็นสาระสำคัญและประโยชน์ที่ได้รับ **3-1**

3.1 สรุปประเด็นสาระสำคัญที่ได้จากการสัมมนาให้ความรู้ 3-1

3.2 สรุปประโยชน์ที่ได้รับจากการสัมมนาให้ความรู้ 3-14

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หนังสือขอเชิญเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ ก-1

ภาคผนวก ข รายชื่อผู้เข้าร่วมการสัมมนาให้ความรู้ ข-1

ภาคผนวก ค เอกสารประกอบการสัมมนาให้ความรู้ ค-1

บทที่ 1
บทนำ

การเผยแพร่ความรู้แก่ผู้เกี่ยวข้องในครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งใน **“โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย”** ซึ่งศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ดำเนินการจัดสัมมนาให้ความรู้ ในหัวข้อเรื่อง “การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย” เมื่อวันพฤหัสบดี ที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น. ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญ วิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องหน่วยจากหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้านครหลวง สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน รวมทั้งสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ รายละเอียดหนังสือเชิญหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ดังแสดงในภาคผนวก ก ทั้งนี้ รายละเอียดของกิจกรรมต่างๆ รวมทั้งประเด็นสาระสำคัญ และประโยชน์ที่ได้จากการสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ ดังแสดงในแต่ละบทต่อไปนี้

บทที่ 2
วัตถุประสงค์และกิจกรรมในการสัมมนาให้ความรู้

การจัดสัมมนาให้ความรู้เรื่อง “การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย” มีวัตถุประสงค์และกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

2.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในการจัดสัมมานาในครั้งนี้เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ และเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ และความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทยทั้งในปัจจุบันและในอนาคต รวมทั้งข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ทั้งนี้ รายละเอียดของกิจกรรมในการจัดสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้สรุปได้ดังต่อไปนี้

2.2 สรุปกิจกรรมต่างๆ ในการสัมมนาให้ความรู้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้จัดสัมมนาให้ความรู้เรื่อง “การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย” เมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2561 ซึ่งได้รับเกียรติจากที่ปรึกษาศูนย์เชี่ยวชาญฯ ศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ เป็นประธานในพิธี โดยมีวิทยากรบรรยายและผู้เข้าร่วมการสัมมนาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ประกอบด้วย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) และกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) รวมทั้งนิสิตและนักศึกษาที่สนใจ รวมจำนวนผู้เข้าร่วมการสัมมนาทั้งสิ้น 58 ท่าน (รายชื่อผู้เข้าร่วมฯ ดังแสดงใน “ภาคผนวก ข”) ทั้งนี้ สามารถสรุปกิจกรรมต่าง ๆ ของการสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สรุปกิจกรรมต่าง ๆ ของการสัมมนาให้ความรู้

เวลา	กิจกรรม
9.00 - 9.30 น.	ลงทะเบียน
9.30 - 9.45 น.	พิธีกรกล่าวต้อนรับ และพิธีเปิดการสัมมนา

เวลา	กิจกรรม
	ประธานกล่าวเปิดสัมมนา โดย ศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ ที่ปรึกษาศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
9.45 - 10.30 น.	การบรรยายในหัวข้อ “การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ” ■ ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ (ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์ สหรัฐอเมริกา จีน เวียดนาม เกาหลีใต้ และสิงคโปร์) ■ การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่ในแต่ละประเทศ โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10.30 - 11.00 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
11.00 – 11.45 น.	การบรรยายในหัวข้อ “การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ” (ต่อ) ■ การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านต่าง ๆ ■ การใช้ย่านความถี่ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ■ ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11.45 - 13.15 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.15 - 14.00 น.	การบรรยายในหัวข้อ “ความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย” ■ ผลการวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้งสามในประเทศไทย ■ แนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14.00 - 14.30 น.	พักรับประทานอาหารว่าง

เวลา	กิจกรรม
14.30 - 15.15 น.	การบรรยายในหัวข้อ “ข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย” โดย ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล (หัวหน้าโครงการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15.15 - 15.30 น.	พิธีกรกล่าวปิดการสัมมนา

2.3 ภาพกิจกรรมและบรรยากาศของการสัมมนาให้ความรู้

EEPS

บทที่ 3
สรุปประเด็นสาระสำคัญและประโยชน์ที่ได้รับ

ผลการจัดสัมมนาให้ความรู้เรื่อง “การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย” สามารถสรุปประเด็นสาระสำคัญและประโยชน์ที่ได้จากการบรรยายและศึกษาดูงานในครั้งนี้ ดังนี้

3.1 สรุปประเด็นสาระสำคัญ

การสัมมนาในครั้งนี้จะประกอบด้วย 3 หัวข้อเรื่องที่เป็นประเด็นสำคัญเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริด โดยในช่วงเช้าเป็นการบรรยายในหัวข้อเรื่อง “การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ” โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ และในช่วงบ่ายเป็นการบรรยายในหัวข้อเรื่อง “ความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย” โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร และสุดท้ายเป็นการบรรยายในหัวข้อเรื่อง “ข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย” โดย ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล (เอกสารประกอบการสัมมนาให้ความรู้ดังแสดงในภาคผนวก ค) ซึ่งสามารถสรุปประเด็นและสาระสำคัญของการบรรยายในแต่ละหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 การบรรยายเรื่อง “การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ”

- หัวข้อการบรรยายในเรื่องนี้ประกอบด้วย
  - ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์ สหรัฐอเมริกา จีน เวียดนาม เกาหลีใต้ และสิงคโปร์
  - การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่ในแต่ละประเทศ
  - การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านต่าง ๆ
  - การใช้ย่านความถี่ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
  - ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน
- ประเทศเนเธอร์แลนด์ - บริษัท Alliander ซึ่งเป็นผู้ให้บริการระบบจำหน่ายไฟฟ้าและระบบจำหน่ายก๊าซขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศเลือกใช้เทคโนโลยี CDMA450 ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ย่านความถี่ 450 MHz เป็นระบบสื่อสารหลักของระบบสมาร์ทมิเตอร์ โดยบริษัท Alliander ได้รับสิทธิการใช้คลื่นความถี่ 450 MHz จากบริษัท KPN ซึ่งเป็นผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 450 MHz ในลักษณะความร่วมมือทางธุรกิจ
- ทั้งนี้ บริษัท Alliander มองว่าควรใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในการพัฒนาระบบสมาร์ทกริด เนื่องจากสามารถรับประกันความพร้อมใช้งาน (Availability) ความเชื่อถือได้ (Reliability) และ

ความปลอดภัย (Security) และเทคโนโลยี CDMA450 เป็นตัวเลือกเชิงกลยุทธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีคู่แข่ง เช่น GSM 900 MHz และ LTE 800 MHz

- ประเทศนอร์เวย์ - กรณีตัวอย่างจากโครงการนำร่องของ Norwegian Smart Grid Center (NSGC) **ซึ่ง**ได้ทดสอบสมรรถนะของระบบสมาร์ทมิเตอร์โดยใช้ระบบสื่อสารที่แตกต่างกัน ดังนี้
  - โครงข่าย NAN (ระหว่างสมาร์ทมิเตอร์ กับ Concentrator): ระบบ Radio Mesh โดยใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 433-444 MHz หรือ 868 MHz (ทดสอบทั้ง 2 ย่าน)
  - โครงข่าย WAN (ระหว่าง Concentrator กับ AMI Head-end): โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/EDGE
  - การสื่อสารแบบ Point-to-Point: โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/EDGE
- ข้อสรุปจากโครงการนำร่องดังกล่าวระบบ Radio Mesh ที่ย่านความถี่ 433 MHz ทำงานได้ดีกว่าย่านความถี่ 868 MHz และมีสมรรถนะที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้ ระบบสื่อสารแบบไร้สายยังต้องพึ่งพาโครงข่ายของบุคคลที่สาม (โครงข่ายเซลลูลาร์) ส่งผลให้ยังมีข้อกังวลในด้านความพร้อมใช้งานและสมรรถนะ รวมทั้งมาตรฐานด้านโทรคมนาคมมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยกว่าเทคโนโลยีในธุรกิจระบบไฟฟ้า
- ประเทศสหรัฐอเมริกา - มีโครงการด้านสมาร์ทกริดจำนวนมากจึงพบการใช้คลื่นความถี่ทั้งแบบ Licensed และ Unlicensed ทั้งนี้ Utility ส่วนใหญ่เลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed และมักเลือกใช้ย่านความถี่ 900 MHz สำหรับระบบสื่อสารไร้สายในระบบสมาร์ทมิเตอร์ หรือ AMI อย่างไรก็ดี Utility บางรายมองว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed น่าจะไม่สามารถรองรับระบบสมาร์ทกริดในระยะยาวได้ โดยเฉพาะกรณี Application ด้านการตรวจสอบและควบคุมระบบไฟฟ้าซึ่งมีความสำคัญสูง และมีข้อมูลแบบ Real Time จำนวนมาก ควรใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จึงจะเหมาะสมกว่า
- คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่ FCC จัดสรร ได้แก่ ย่าน 915 MHz, 2.4 GHz, 5 GHz ดังนั้น Utility จึงนิยมเลือกใช้ย่านความถี่ 915 MHz สำหรับโครงข่าย NAN เนื่องจากมีระยะครอบคลุมไกลกว่าและทะลุทะลวงผ่านผนังอาคารได้ดีกว่า เทคโนโลยีที่นิยมใช้งาน ได้แก่ RF Mesh และ Zigbee
- ประเทศจีน - กรณีตัวอย่างจากการพัฒนาระบบ Distribution Automation ของ China Southern Grid (CSG) ได้เลือกใช้ระบบ eLTE (Enterpise LTE) ของบริษัท Huawei ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มสำเร็จรูปสำหรับระบบ Distribution Automation เทคโนโลยีสื่อสารที่ใช้ คือ LTE-TDD (LTE Time-Division Duplex) ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 1,800 MHz ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง

- เทคโนโลยี LTE มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศจีน มีสมรรถนะสูง แบนด์วิดท์กว้างและแข็งแรง และมีระยะสื่อสารครอบคลุมพื้นที่ได้ไกล ทั้งนี้ **CSG** มองว่าควรใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เนื่องจาก Distribution Automation เป็นการควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าซึ่งมีความสำคัญสูง นอกจากนี้ การใช้แพลตฟอร์มระบบสื่อสารแบบสำเร็จรูปสามารถช่วยลดปัญหาด้านการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายได้
- ประเทศเวียดนาม - มีตัวอย่าง 3 โครงการนำร่อง ได้แก่
    - โครงการนำร่องระบบ AMR ของบริษัท EVNNPC
        - โครงข่าย NAN: ระบบ RF Mesh แบบ Unlicensed ย่าน 400 MHz
        - โครงข่าย WAN: โครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G
    - โครงการนำร่องระบบ AMR ของบริษัท EVNCPC
        - โครงข่าย NAN: ระบบ RF Mesh แบบ Unlicensed ย่าน 408.925 MHz และ 433.050 MHz
        - โครงข่าย WAN: โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/3G
    - โครงการ Smart City Communications Platform ของบริษัท EVNHCMC
        - โครงข่าย WAN: ใช้แพลตฟอร์ม Trilliant Smart Communications ของบริษัท Trilliant ซึ่งใช้เทคโนโลยี WiFi บนย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz
- กรณีโครงการนำร่องระบบ AMR ทั้ง 2 โครงการมีขนาดไม่ใหญ่นัก และเป็นเพียงการอ่านหน่วยจากมิเตอร์ ดังนั้น จึงยังไม่มีความจำเป็นที่จะพิจารณาใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed โดยพบว่าโครงการของบริษัท EVNNPC พบปัญหาด้านระบบสื่อสาร ส่วนระบบ AMR ของ EVNCPC สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ทั้งที่ 2 โครงการนี้ใช้ระบบสื่อสารที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากโครงการที่ 2 มีการพิจารณาจำนวน Hop และระยะห่างระหว่าง Hop อย่างระมัดระวัง ในส่วนของการพัฒนา Smart City ของบริษัท EVNHCMC มองว่าควรเลือกใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปเพื่อลดปัญหาจากการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย โดย Application ด้าน Smart City มีความต้องการด้านระบบสื่อสารค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องรองรับการสื่อสารแบบ Real Time และ มีปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ ดังนั้น WiFi จึงมีความเหมาะสมมากกว่า Zigbee
- ประเทศเกาหลีใต้ - กรณีตัวอย่างจากโครงการทดสอบระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบ AMI ที่เกาะเชจู **3 รูปแบบ** ดังนี้
    - รูปแบบที่ 1: ใช้เทคโนโลยี Zigbee Mesh คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย NAN และใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA สำหรับโครงข่าย WAN
    - รูปแบบที่ 2: โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง

- รูปแบบที่ 3: โครงข่าย WiBro (เป็นชื่อเรียกของ WiMax ในประเทศเกาหลีใต้) เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง

- ทั้งนี้ การเลือกใช้ Zigbee 2.4 GHz แบบ Unlicensed สำหรับโครงข่าย HAN/NAN มีจุดเด่นที่เหมาะสมกับการสื่อสารของระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้าน (HAN) เช่น ใช้พลังงานต่ำ และรองรับความต้องการได้เพียงพอ กรณีโครงข่าย NAN จะใช้การสร้างโครงข่าย Zigbee Mesh เพื่อช่วยเพิ่มความทนทานและความเชื่อถือได้ ให้สามารถรองรับการทำงานในสภาพแวดล้อม Outdoor ได้ สำหรับการเลือกใช้ WCDMA และ WiBro สำหรับโครงข่าย WAN ทั้ง 2 เทคโนโลยีใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed โดยเป็นการใช้บริการโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม ดังนั้น Utility จึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ อย่างไรก็ดี ระบบ AMI ไม่ใช่ Application ที่สำคัญของระบบโครงข่ายไฟฟ้า จึงสามารถใช้โครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการติดตั้งอุปกรณ์และโครงสร้างพื้นฐานได้
- ประเทศสิงคโปร์ - กรณีตัวอย่างโครงการทดสอบระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดแบบไร้สายที่ Singapore University of Technology and Design (SUTD) เป็นการทดสอบ Application ด้านการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร เช่น Demand Response และการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เพื่อประหยัดพลังงาน โดยระบบสื่อสารไร้สายสำหรับการสื่อสารของอุปกรณ์ภายในอาคาร (HAN/BAN) เลือกใช้เทคโนโลยีสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 2.4 GHz เช่น Z-Wave, Zigbee, WiFi_เป็นต้น และใช้เทคโนโลยี TV White Space (TVWS) บนย่านความถี่ 630-742 MHz สำหรับโครงข่าย NAN เพื่อเชื่อมโยงการสื่อสารจากแต่ละอาคารไปยัง Cloud Server ของโครงการ
- สำหรับโครงข่าย HAN/BAN การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 2.4 GHz เช่น Z-Wave, Zigbee และ WiFi เป็นที่นิยมสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในบ้านหรืออาคาร เนื่องจากสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องขออนุญาต และรองรับการทำงานในสภาวะแวดล้อมแบบ Indoor ได้อย่างเพียงพอ สำหรับโครงข่าย WAN เนื่องจากยังไม่มีการกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่ TV White Space (TVWS) ในสิงคโปร์ การเลือกใช้ TVWS ถือเป็นคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อีกทั้งสามารถส่งสัญญาณโดยใช้กำลังส่งค่อนข้างสูง หากไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อสัญญาณโทรทัศน์
- ในหัวข้อการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิค**ของ**การใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับ Unlicensed ซึ่งปัจจุบันมีเทคโนโลยีสื่อสารและการใช้คลื่นความถี่ที่หลากหลายแตกต่างกันสรุปได้ดังรูป

คลื่นความถี่แบบ Licensed

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

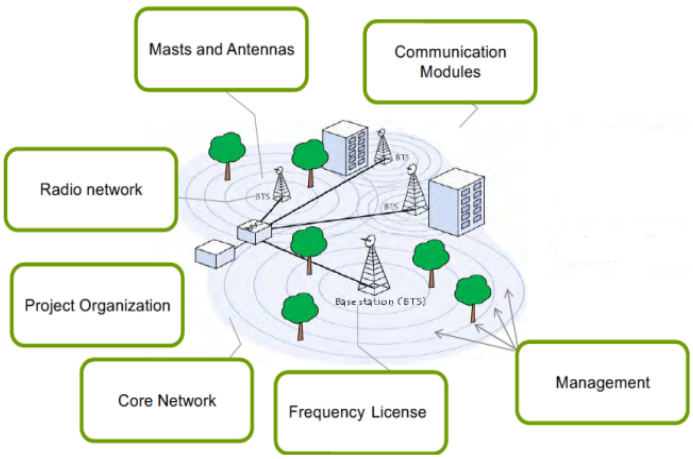
คลื่นความถี่แบบ Unicensed

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

- นอกจากเหนือจากความแตกต่างในด้านของเทคโนโลยีและย่านความถี่ใช้งานแล้ว การใช้ความถี่แบบ Licensed กับ Unlicensed ยังมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ควรพิจารณาควบคู่ไปด้วย ได้แก่ ความเชื่อถือได้ (Reliability) ความพร้อมใช้งาน (Availability) ความหน่วงของสัญญาณ (Latency) แบนด์วิดท์ (Bandwidth) พื้นที่ครอบคลุม การลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน ความปลอดภัย (Security) และคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งการใช้ความถี่แบบ Licensed กับ Unlicensed มีข้อเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกันไปในแต่ละพารามิเตอร์
- การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บางครั้งถูกมองว่าเป็นย่านความถี่ซึ่งทุกคนสามารถใช้งานได้และมีการใช้งานเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงอาจจะเกิดปัญหาเรื่องการรบกวนของสัญญาได้ง่ายกว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ขณะที่อีกมุมมองหนึ่งเห็นว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed มีย่านความถี่ใช้งานที่กว้าง จึงสามารถใช้เทคนิค FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) ในการสลับช่องสัญญาณ เพื่อลดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณได้ ในทางกลับกัน คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งใช้ย่านความถี่ที่ถูกกำหนดไว้เฉพาะ อาจมีความเสี่ยงต่อการถูกรบกวนหรือโจมตีสูงกว่าย่านความถี่แบบ Unlicensed
- เมื่อเปรียบเทียบการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน พบว่าหากส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งเท่ากัน คลื่นความถี่ต่ำจะมีระยะทางสื่อสารได้ไกลกว่า อีกทั้งยังสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดีกว่า จึงเป็นเหตุผลประการหนึ่งที่ระบบสมาร์ทกริดในต่างประเทศ มักเลือกใช้ย่านความถี่ 400-450 MHz (หรือ 868 MHz และ 915 MHz ในบางประเทศ) ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสาร
- โดยทั่วไปโครงข่ายสื่อสารสำหรับสมาร์ทกริด แบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (HAN/BAN/IAN) โครงข่าย NAN/FAN และโครงข่าย WAN การใช้ย่านความถี่ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจำเป็นต้องพิจารณาถึงความต้องการด้านระบบสื่อสารของแต่ละ Application ดังนี้

- โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (HAN/BAN/IAN) - โดยทั่วไป Application เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องมีการรับส่งข้อมูลบ่อยครั้ง และการทำงานทั้งหมดเกิดขึ้นภายในพื้นที่บ้านอาคาร หรือโรงงานเท่านั้น ความต้องการด้านระบบสื่อสารจะมุ่งเน้นที่การใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก เรียบง่าย และมีความปลอดภัยในการสื่อสาร ซึ่งเทคโนโลยีที่สามารถรองรับอัตราข้อมูล 100 kbps และระยะสื่อสารสูงสุด 100 เมตร ถือว่าเพียงพอต่อการใช้งานแล้ว ตัวอย่างเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้งาน เช่น ZigBee, WiFi, Z-Wave, Bluetooth เป็นต้น
- โครงข่าย NAN/FAN - โครงข่ายสื่อสารสำหรับ Application เหล่านี้ต้องรองรับการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมาก ไปยังอุปกรณ์ Data Concentrator หรือสถานีไฟฟ้า ดังนั้น Application เหล่านี้จึงต้องการเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงขึ้น (100 kbps - 10 Mbps) และมีระยะครอบคลุมที่ไกลขึ้น (100 เมตร - 10 กิโลเมตร) ตัวอย่างเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้งาน เช่น ZigBee Mesh, WiFi Mesh, WiMax, โครงข่ายเซลลูลาร์ เป็นต้น
- โครงข่าย WAN - Application ที่ใช้งานส่วนใหญ่มีการรับส่งข้อมูลจำนวนมากแบบ Real Time เพื่อให้สามารถควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงมาก (10 Mbps - 1 Gbps) และมีระยะสื่อสารที่ไกลมาก (10 - 100 กิโลเมตร) เนื่องจากต้องเกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบไฟฟ้าจึงต้องการความเชื่อถือได้สูงมาก โดยทั่วไปการไฟฟ้ามักเลือกใช้โครงข่าย Optical Fiber สำหรับ Application เหล่านี้

- การเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนจะพิจารณาจาก Total Cost of Ownership ซึ่งเป็นต้นทุนที่รวมค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้ระบบหรือเทคโนโลยีดังกล่าวภายใต้สมมติฐานระยะเวลาการใช้งานที่กำหนด ระบบสื่อสารไร้สายประกอบด้วยหลายองค์ประกอบหลักซึ่งต้องนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ Total Cost of Ownership ดังรูป



- กรณีศึกษาที่ 1: เปรียบเทียบระหว่าง GSM/GRPS900 กับ CDMA450
  - CDMA450 มี Total Cost of Ownership ประมาณ 52 EUR ต่อ 1 จุดเชื่อมต่อ
  - GPRS900 มี Total Cost of Ownership ประมาณ 144 EUR ต่อ 1 จุดเชื่อมต่อ
- กรณีศึกษาที่ 2: เปรียบเทียบระหว่าง 3G/GPRS/RF Mesh/PLC (ระยะเวลา 25 ปี) มี Total Cost of Ownership ของการติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์ 1 เครื่อง ดังนี้
  - 3G ประมาณ 175 USD
  - GPRS ประมาณ 167 USD
  - RF Mesh (900 MHz) ประมาณ 226 USD
  - PLC: 191 USD

- ผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ Total Cost of Ownership เป็นดังนี้
  - กรณีใช้โครงข่ายเซลลูลาร์จะมีความแตกต่างกันมากสำหรับกรณีศึกษาในแต่ละประเทศ อันเป็นผลมาจากบริบทที่แตกต่างกันของแต่ละประเทศ โดยเฉพาะค่าบริการที่ผู้ให้บริการเรียกเก็บ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาโครงข่ายของตนเองน่าจะมีความเหมาะสมมากกว่าในระยะยาวเมื่อพิจารณาในแง่ของความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและความสามารถในการบริหารจัดการ
  - กรณีพัฒนาโครงข่ายของตนเองจะพบว่าการใช้ CDMA450 (Licensed) มี Total Cost of Ownership ต่ำกว่าโครงข่าย RF Mesh 900 MHz (Unlicensed) ถึงแม้ว่า CDMA450 มีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่า แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่า เนื่องจากมีจำนวนอุปกรณ์สื่อสารที่น้อยกว่ามาก เนื่องจากการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ทำให้สามารถส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงและครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่ามาก

3.1.2 การบรรยายเรื่อง "ความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย"

- การบรรยายในหัวข้อเรื่องนี้ประกอบด้วย
  - ผลการวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้งสามในประเทศไทย
  - แนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) - มีแผนดำเนินโครงการนำร่องสมาร์ทกริดในพื้นที่ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน เพื่อแก้ไขปัญหาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งมุ่งเน้น Application ด้านการบริหารจัดการและการควบคุมระบบไฟฟ้า โดย กฟผ. เลือกใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายเป็นหลัก เช่น LAN, วงจรเช่า IP/MPLS และวงจรเช่า FTTx ส่วนการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายในโครงการนี้ มีเพียงการใช้โครงข่ายเซลลูลาร์เพื่อรองรับการส่งข้อมูลการใช้งานสถานีอัดประจุไฟฟ้า

- แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต กฟผ. มองว่า Application ในส่วนของ Demand Response และระบบ RE Forecast อาจจำเป็นจะต้องใช้ระบบสื่อสารไร้สายและมีการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในอนาคต สำหรับ Application ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศ รวมไปถึงการใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย เพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดสำหรับงานด้านภาคปฏิบัติการ (Operation) และงานภาคผลิต (Supply) ในกรณีพื้นที่ห่างไกล ซึ่งไม่อยู่ในแนวข่ายสาย OPGW หรือไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้
- ข้อคิดเห็นด้านการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กฟผ. เห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ในย่านความถี่ 5 GHz เพื่อรองรับภารกิจด้านสมาร์ทกริดในอนาคต
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) - มีแผนดำเนินโครงการนำร่องในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี โดยมีการใช้คลื่นความถี่ ได้แก่ โครงข่าย RF ในย่านความถี่ Unlicensed และโครงข่ายเซลลูลาร์ รวมทั้งโครงการพัฒนาระบบ Microgrid ที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน และเกาะกูด/เกาะหมาก จ.ตราด ซึ่งในเบื้องต้นมีแผนใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร นอกจากนี้ ปัจจุบัน กฟภ. มีการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับ Application ระบบสมาร์ทกริดอื่น ๆ เช่น ระบบ AMR สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ทั่วประเทศ ซึ่งใช้งานโครงข่าย GPRS/3G และระบบ SCADA ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในย่าน 450-470 MHz และ 470-512 MHz
- แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต กฟภ. มีความต้องการใช้คลื่นความถี่เฉพาะเพื่อรองรับระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI ซึ่งครอบคลุมทั่วประเทศ รวมทั้งยังมีแผนในการนำมาตรการ Demand Response มาใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. ทั่วประเทศ โดยโครงข่ายสื่อสารไร้สายที่เชื่อมโยงกับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. จำเป็นต้องมีความเชื่อถือได้ ความพร้อมใช้งาน และความปลอดภัย
- ข้อคิดเห็นด้านการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กฟภ. เห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบสมาร์ทกริดที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการควบคุมและการสั่งการระบบไฟฟ้า ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าและความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ โดยมองว่าย่านความถี่ในช่วง 430-450 MHz มีความเหมาะสม เนื่องจากรองรับระยะสื่อสารได้ไกล และย่านความถี่นี้ถูกนำไปใช้ในการพัฒนาระบบสมาร์ทกริดในหลายประเทศ
- การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) - มีแผนนำร่องพัฒนาระบบสมาร์ทมิเตอร์ โดยมีการใช้คลื่นความถี่ ได้แก่ โครงข่าย RF .oย่านความถี่ Unlicensed และโครงข่ายเซลลูลาร์ นอกจากนี้ ปัจจุบัน กฟน. มีการใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์สำหรับ Application ระบบสมาร์ทกริดอื่น ๆ เช่น MEA Smart Life (Mobile App) และระบบ Field Force Management
- แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต กฟน. วางแผนใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับ Non-critical Application แต่ในกรณี Application ที่มีความสำคัญของข้อมูลสูง (Critical Application) จะใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสารหลัก โดยอาจพิจารณาใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Licensed เพิ่มเติม หาก กสทช. มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed

ให้กับระบบสมาร์ทกริด อย่างไรก็ดี กฟน. มีข้อกังวลเกี่ยวกับการความหนาแน่นของการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในพื้นที่ กทม. และปริมณฑล ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาการรบกวน อีกทั้งคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อาจไม่มีความปลอดภัยเพียงพอ อาจก่อให้เกิดการขโมยหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูล เช่น ข้อมูลสมาร์ทมิเตอร์

- ข้อคิดเห็นด้านการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กฟน. เห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed สำหรับการพัฒนาระบบสมาร์ทกริด โดยจัดสรรให้หน่วยงานด้านพลังงานใช้ย่านความถี่เดียวกัน เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศ ทั้งนี้ กฟน. มีความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับสำหรับพัฒนาระบบสมาร์ทกริด ดังนี้
    - พ.ศ. 2561-2563: มีความประสงค์ขอใช้ความถี่ CH201-CH237 (442.5125/447.5125 MHz ถึง 442.9625/447.9625 MHz) หรือตามความเหมาะสมที่ กสทช. พิจารณาจัดสรรให้ สำหรับรองรับการพัฒนาระบบ AMI, การอ่านหน่วยพลังงานไฟฟ้า, การตรวจจับการละเมิดการใช้ไฟฟ้า,การจัดการปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง และ Demand Response
    - พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป: ต้องการแบนด์วิดท์เพิ่มเติมอีก 2 MHz โดยขอให้ กสทช. พิจารณาจัดสรรย่านความถี่ที่เหมาะสม เพื่อรองรับการพัฒนาระบบ Smart Streetlight, ระบบ Computerized Maintenance Management, ระบบ Transformer Load Monitoring และระบบรักษาความปลอดภัยในสถานีไฟฟ้าและสำนักงานการไฟฟ้า
- แนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
    - กรณีคลื่นความถี่แบบ Unlicensed - แนวโน้มการใช้งานของ 3 การไฟฟ้า น่าจะอยู่ที่คลื่นความถี่ 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.5 GHz และ 5 GHz เนื่องจากอุปกรณ์ด้านสมาร์ทกริดในตลาดส่วนใหญ่ใช้งานย่านความถี่เหล่านี้ เนื่องจากเป็นย่านความถี่ที่พบการใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ทั้งนี้ การเข้าใช้คลื่นความถี่ (Spectrum Access) ของอุปกรณ์ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในประกาศ กสทช.
    - กรณีคลื่นความถี่แบบ Licensed - ปัจจุบันสำนักงาน กสทช. ยังไม่มีนโยบายจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการเฉพาะ อย่างไรก็ดี การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สามารถแสดงความจำนงขอจัดสรรช่องความถี่ในลักษณะ Licensed Band ในบางย่านความถี่ที่ถูกกำหนดไว้ให้กับกิจการที่ระบบสมาร์ทกริดสามารถใช้งานได้ เช่น กิจการประจำที่ และ กิจการเคลื่อนที่
- แนวทางการขอจัดสรรคลื่นความถี่ สำนักงาน กสทช. ต้องการให้หน่วยงานสาธารณูปโภคใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกัน (เช่น การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง, กปน., กปภ. และ ปตท.) โดยไม่เป็นการจัดสรรคลื่นความถี่ให้หน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งเป็นการเฉพาะ โดยสำนักงาน กสทช. เห็นว่าการใช้งานคลื่นความถี่ของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง มีบางส่วนที่มีลักษณะการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน และยังคล้ายคลึงกับโอกาสใช้งานของหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น ๆ เช่น Access Network ของระบบ

สมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งอาจใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน หรือด้วยการใช้เทคนิค Spectrum Access ต่าง ๆ ทั้งนี้ การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ต้องเป็นไปตามแผนความถี่ที่กำหนดไว้ให้สำหรับกิจการประจำที่และกิจการเคลื่อนที่ โดยจะต้องหารือกับสำนักการอนุญาตและกำกับดูแลวิทยุคมนาคม (คท.) สำนักงาน กสทช. เพื่อตรวจสอบข้อมูลการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่

- ดังนั้น สำนักงาน กสทช. สนับสนุนให้มีการหารือระหว่างการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น ๆ เพื่อให้มีการใช้ความถี่ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอต่อการใช้งาน รวมถึงสามารถเชื่อมต่อและมีความสามารถในการทำงานร่วมกันได้ (Interoperability)

3.1.3 การบรรยายเรื่อง “ข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย”

- การใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารและคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เหมาะสม นอกจากการพิจารณาความต้องการด้านระบบสื่อสาร ยังจำเป็นต้องพิจารณาความสำคัญของข้อมูลในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ซึ่งอาจแบ่งความสำคัญของข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท
  - Non-critical: ข้อมูลของ Application ที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมสั่งการระบบไฟฟ้า เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า รวมไปถึงการสั่งการที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าหลัก
  - Critical: ข้อมูลของ Application ในงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมสั่งการระบบไฟฟ้า และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าหลัก ซึ่งหากการสื่อสารของ Application เหล่านี้เกิดความผิดพลาด อาจส่งผลกระทบต่อการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้
- ตัวอย่าง Application ในโครงข่าย HAN/BAN/IAN
  - ความสำคัญของข้อมูล Non-critical ได้แก่
    - ระบบบริหารจัดการพลังงาน HEMS/BEMS/FEMS
      - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
- ตัวอย่าง Application ในโครงข่าย NAN/FAN
  - ความสำคัญของข้อมูล Non-critical ได้แก่
    - ระบบสมาร์ทมิเตอร์AMR/AMI
      - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed / Licensed (ในบางพื้นที่)
      - โครงข่ายเซลลูลาร์ในกรณีพื้นที่ห่างไกล
    - Demand Response
      - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed / โครงข่ายเซลลูลาร์
      - คลื่นความถี่แบบ licensed

- ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับผู้ใช้ไฟฟ้า)
  - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed / โครงข่ายเซลลูลาร์
  - คลื่นความถี่แบบ licensed
- ระบบ RE Forecast
  - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed / โครงข่ายเซลลูลาร์
- ระบบการบริหารจัดการยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า
  - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed / โครงข่ายเซลลูลาร์
- Smart Streetlight
  - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed / โครงข่ายเซลลูลาร์

o ความสำคัญของข้อมูล critical ได้แก่

- Distribution Automation
  - คลื่นความถี่แบบ licensed
  - เทคโนโลยีสื่อสารแบบมีสาย
- ระบบกักเก็บพลังงาน (ระดับกริด)
  - คลื่นความถี่แบบ licensed
  - เทคโนโลยีสื่อสารแบบมีสาย
- ระบบ Microgrid
  - คลื่นความถี่แบบ licensed
  - เทคโนโลยีสื่อสารแบบมีสาย
- ระบบสื่อสารข้อมูลกับ SPP/VSPP
  - คลื่นความถี่แบบ licensed
  - เทคโนโลยีสื่อสารแบบมีสาย

- ตัวอย่าง Application ในโครงข่าย WAN

o ความสำคัญของข้อมูล critical ได้แก่

- Wide Area Monitoring System
  - เทคโนโลยีสื่อสารแบบมีสาย เช่น Optical Fiber
  - คลื่นความถี่แบบ Licensed กรณีพื้นที่ห่างไกล ไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้
- Wide Area Protection System
  - เทคโนโลยีสื่อสารแบบมีสาย เช่น Optical Fiber
  - คลื่นความถี่แบบ Licensed กรณีพื้นที่ห่างไกล ไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้

- Wide Area Control System
  - เทคโนโลยีสื่อสารแบบมีสาย เช่น Optical Fiber
  - คลื่นความถี่แบบ Licensed กรณีพื้นที่ห่างไกล ไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้
- Substation Automation
  - ไม่เหมาะสมกับการใช้ระบบสื่อสารไร้สาย เนื่องจากการไฟฟ้ามีโครงข่าย Optical Fiber ไปยังสถานีไฟฟ้าอยู่แล้ว

- การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย แบ่งได้เป็น 3 แนวทาง ดังนี้
  - การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
  - การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed
  - การใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตจาก กสทช.
- แนวทางที่ 1 การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed - เหมาะสมสำหรับรองรับ Application ที่มีความสำคัญของข้อมูลแบบ Non-critical ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมสั่งการภายในระบบไฟฟ้า โดยอุปกรณ์สื่อสารในระบบสมาร์ทกริดควรมีลักษณะเป็นอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น (SRD) เมื่อพิจารณาจากข้อกำหนดของ กสทช. คลื่นความถี่ที่สามารถใช้งานเพื่อรองรับการพัฒนาระบบสมาร์ทกริดโดยได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต ดังรูป

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

- เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยด้านพร้อมของอุปกรณ์ระบบสมาร์ทกริดในตลาด การใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในประเทศไทยน่าจะอยู่ที่ 4 ย่านความถี่ ได้แก่ 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)
- ย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz (Sub GHz) มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับระบบสื่อสารในสมาร์ทกริดมากที่สุด เนื่องจากมี Path Loss และ Penetration Loss ต่ำ จึงทำให้มีระยะสื่อสารที่ไกลกว่า

รวมทั้งสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าย่านความถี่สูง อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดของ กสทช. กำลังส่งสูงสุดของย่านความถี่ 433 MHz ไม่เกิน 10 mW ดังนั้น ความถี่ 920-925 MHz มีความเหมาะสมทางเทคนิคมากที่สุด เนื่องจากสามารถส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งสูงสุด 500 mW

- สำหรับการใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นคลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับทุกพื้นที่ทั่วโลก ดังนั้น อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบสมาร์ทกริดส่วนใหญ่ในตลาดจึงสามารถรองรับย่านความถี่ 2.4 GHz ได้เพียงพอเช่นกัน
- แนวทางที่ 2 การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed - เหมาะสมสำหรับรองรับ Application ในงานด้านปฏิบัติการและการควบคุมสั่งการภายในระบบไฟฟ้า และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าหลัก ซึ่งหากการสื่อสารข้อมูลของ Application เหล่านี้เกิดความผิดพลาด อาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้
- ปัจจุบันสำนักงาน กสทช. ยังไม่มีนโยบายจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเป็นการเฉพาะ อย่างไรก็ดี นโยบายของสำนักงาน กสทช. ต้องการให้หน่วยงานสาธารณูปโภคใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกัน (Shared Use) เพื่อให้เกิดการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งควรมีการหารือกับหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่มีโอกาสใช้งาน Application ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์สำหรับมิเตอร์ก๊าซและมิเตอร์น้ำ ทั้งนี้ที่ปรึกษามองว่าระบบสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง สามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้ กล่าวคือ พื้นที่บริการของ กฟภ. และ กฟน. แยกจากกันอย่างชัดเจน ขณะที่ กฟผ. เน้นการใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายสำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด จึงมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดใช้คลื่นความถี่ทับซ้อนกัน
- จากการศึกษาในโครงการนี้พบว่า ย่านความถี่ที่มีความเหมาะสมทางเทคนิค ต้นทุนการลงทุนรวมทั้งมีอุปกรณ์ในตลาดรองรับ ได้แก่ ย่าน 430-450 MHz ทั้งนี้ สำนักงาน กสทช. ควรมีการเผยแพร่ข้อมูลย่านความถี่แบบ Licensed ที่ยังว่างออกสู่สาธารณะ เพื่อที่หน่วยงานต่าง ๆ สามารถนำไปพิจารณาความเหมาะสมในขอจัดสรรคลื่นความถี่ให้ตรงตามความต้องการใช้งานมากที่สุด ทั้งนี้ ย่านความถี่ที่ยังว่างและเผยแพร่ออกสู่สาธารณะนี้จะต้องไม่เป็นย่านความถี่ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของประเทศไทย
- แนวทางที่ 3 การใช้คลื่นความถี่ของผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาต - การใช้โครงข่ายเซลลูลาร์เพื่อรองรับการสื่อสาร M2M มีการใช้งานเป็นระยะเวลานานแล้ว เนื่องจากสามารถลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและระยะเวลาในการติดตั้งโครงข่ายสื่อสาร และโครงข่ายเซลลูลาร์ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่แล้วจึงสามารถนำมาใช้งานได้ทันที อย่างไรก็ดี การไฟฟ้าไม่สามารถบริหารจัดการหรือวางแผนงานด้านระบบสื่อสารเพื่อรองรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากเป็นการพึ่งพาโครงข่ายสื่อสารของบุคคลที่สาม ดังนั้นโครงข่ายเซลลูลาร์เป็นโครงข่ายสาธารณะจึงอาจมีประเด็นด้านความปลอดภัยที่การไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมได้

- หากพิจารณาถึงมุมมองด้าน Total Cost of Ownership การพัฒนาโครงข่ายสื่อสารเป็นของตนเองอาจมีความคุ้มค่ากว่าการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ในระยะยาว โดยเฉพาะหากมีอุปกรณ์ที่ต้องเชื่อมต่อกับระบบสมาร์ทกริดจำนวนมาก (เช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์) อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีและมาตรฐานด้านโทรคมนาคมเปลี่ยนแปลงบ่อยกว่าเทคโนโลยีในธุรกิจระบบไฟฟ้า ส่งผลให้การไฟฟ้าอาจต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้รองรับเทคโนโลยีใหม่ดังกล่าวด้วยซึ่งจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น
- การใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์เหมาะสมสำหรับ Non-critical Application โดยจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการสื่อสารในพื้นที่ห่างไกล ซึ่งไม่คุ้มค่าในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานระบบสื่อสารทั้งแบบมีสายและไร้สายไปถึงพื้นที่ดังกล่าว ทั้งนี้ การไฟฟ้าควรมีการหารือกับผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่เกี่ยวกับโอกาสความร่วมมือทางธุรกิจในการใช้คลื่นความถี่เพื่อรองรับการพัฒนาระบบสมาร์ทกริด โดยเฉพาะบางความถี่ที่มีปริมาณการใช้งานน้อยหรือไม่สามารถรองรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ตามความต้องการใช้งานปัจจุบันของลูกค้าทั่วไป

2.2 **สรุปประโยชน์ที่ได้รับจาก**การสัมมนาให้ความรู้

ประโยชน์ที่ได้รับจากการจัดสัมมนาให้ความรู้เรื่อง “การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย” มีดังนี้

- ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งได้เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ได้เพิ่มพูนองค์ความรู้ และเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอย่าง และแนวทางการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์ สหรัฐอเมริกา จีน เวียดนาม เกาหลีใต้ และสิงคโปร์ รวมทั้งเหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่ในแต่ละประเทศ
- ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งได้เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ได้เสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านต่าง ๆ การใช้ย่านความถี่ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด รวมทั้งต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน
- ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งได้เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ได้เรียนรู้ และมีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้นเกี่ยวกับภาพโดยรวมของความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย ทั้งจากการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และสำนักงาน กสทช.
- ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งได้เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ได้เรียนรู้ และแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นจากการศึกษาและวิเคราะห์ในด้านวิชาการเกี่ยวกับแนวทางและข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทยในอนาคต

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือเชิญหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0-2218-6542-4 โทรสาร. 0-2218-6544
Center of Excellence in Electrical Power Technology
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan Bangkok 10330 Tel. 0-2218-6542-4 Fax. 0-2218-6544
E-mail address : CEPT @ chula.ac.th

ที่ CEPT๖๑๐๒๑๔/ ๐๐๒

๑๔ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้
เรียน ผู้ว่าการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. กำหนดการสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๒ หน้า
๒. แบบตอบรับการเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๑ หน้า
๓. แผนที่อาคารและการเดินทาง จำนวน ๒ หน้า

ด้วย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง (ศูนย์เชี่ยวชาญฯ) ได้รับมอบหมายและทุนสนับสนุนจาก กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม แห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ให้เป็นที่ปรึกษาดำเนิน **"โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย"** ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งของขอบเขตงานในโครงการนี้ กำหนดให้มีการเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนั้น ศูนย์เชี่ยวชาญฯ จึงกำหนดจัดสัมมนาให้ความรู้ในหัวข้อเรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ และเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ และความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย รวมทั้งข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ในวันพฤหัสบดี ที่ ๑๕ มีนาคม ๒๕๖๑ เวลา ๐๙.๐๐ - ๑๕.๓๐ น. ณ หอประชุม ชั้น ๒ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ๔ (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โอกาสนี้ ศูนย์เชี่ยวชาญฯ ขอเรียนเชิญท่าน และเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้แทนในสังกัดของท่าน รวมจำนวน ๒๐ ท่าน เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ รายละเอียดปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๑ พร้อมกันนี้ โปรดตอบรับตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒ และส่งกลับมายังผู้ประสานงานตามรายละเอียดด้านล่าง **ภายในวันที่ ๘ มีนาคม** ๒๕๖๑ ทั้งนี้ รายละเอียดแผนที่อาคารและการเดินทาง ปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๓ และหากท่านมีข้อสงสัยประการใด สามารถติดต่อสอบถามเพิ่มเติมได้ที่ ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล (หัวหน้าโครงการ) หมายเลขโทรศัพท์ ๐๘ ๑๖๒๒ ๘๓๔๕ หรือ ๐ ๒๒๑๘ ๖๙๐๒ หรือผ่านช่องทาง E-mail: watit_b@hotmail.com

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอเชิญท่านและเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมสัมมนาตามกำหนดวัน เวลา และสถานที่ดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)
ผู้อำนวยการศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0-2218-6542-4 โทรสาร. 0-2218-6544
Center of Excellence in Electrical Power Technology
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan Bangkok 10330 Tel. 0-2218-6542-4 Fax. 0-2218-6544
E-mail address : CEPT @ chula.ac.th

ที่ CEPT๖๑๐๒๑๔/ ๐๐๒

๑๔ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้
เรียน ผู้ว่าการการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. กำหนดการสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๒ หน้า
๒. แบบตอบรับการเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๑ หน้า
๓. แผนที่อาคารและการเดินทาง จำนวน ๒ หน้า

ด้วย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง (ศูนย์เชี่ยวชาญฯ) ได้รับมอบหมายและทุนสนับสนุนจาก กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ให้เป็นที่ปรึกษาดำเนิน "**โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย**" ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งของขอบเขตงานในโครงการนี้ กำหนดให้มีการเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนั้น ศูนย์เชี่ยวชาญฯ จึงกำหนดจัดสัมมนาให้ความรู้ในหัวข้อเรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ และเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ และความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย รวมทั้งข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ในวันพฤหัสบดี ที่ ๑๕ มีนาคม ๒๕๖๑ เวลา ๐๙.๐๐ - ๑๕.๓๐ น. ณ หอประชุม ชั้น ๒ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ๔ (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โอกาสนี้ ศูนย์เชี่ยวชาญฯ ขอเรียนเชิญท่าน และเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้แทนในสังกัดของท่าน **รวมจำนวน ๒๐ ท่าน** เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ รายละเอียดปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๑ พร้อมกันนี้ โปรดตอบรับตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒ และส่งกลับมายังผู้ประสานงานตามรายละเอียดด้านล่าง **ภายในวันที่ ๘ มีนาคม** ๒๕๖๑ ทั้งนี้ รายละเอียดแผนที่อาคารและการเดินทาง ปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๓ และหากท่านมีข้อสงสัยประการใด สามารถติดต่อสอบถามเพิ่มเติมได้ที่ ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล (หัวหน้าโครงการ) หมายเลขโทรศัพท์ ๐๘ ๑๖๒๒ ๘๓๔๕ หรือ ๐ ๒๒๑๘ ๖๙๐๒ หรือผ่านช่องทาง E-mail: watit_b@hotmail.com

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอเชิญท่านและเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมสัมมนาตามกำหนดวัน เวลา และสถานที่ดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)
ผู้อำนวยการศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0-2218-6542-4 โทรสาร. 0-2218-6544
Center of Excellence in Electrical Power Technology
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan Bangkok 10330 Tel. 0-2218-6542-4 Fax. 0-2218-6544
E-mail address : CEPT @ chula.ac.th

ที่ CEPT๖๑๐๒๑๔/ ๐๐๓

๑๔ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๓

เรื่อง ขอเชิญเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้
เรียน ผู้ว่าการการไฟฟ้านครหลวง
สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. กำหนดการสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๒ หน้า
๒. แบบตอบรับการเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๑ หน้า
๓. แผนที่อาคารและการเดินทาง จำนวน ๒ หน้า

ด้วย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง (ศูนย์เชี่ยวชาญฯ) ได้รับมอบหมายและทุนสนับสนุนจาก กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ให้เป็นที่ปรึกษาดำเนิน "**โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย**" ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งของขอบเขตงานในโครงการนี้ กำหนดให้มีการเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนั้น ศูนย์เชี่ยวชาญฯ จึงกำหนดจัดสัมมนาให้ความรู้ในหัวข้อเรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ และเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ และความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย รวมทั้งข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ในวันพฤหัสบดี ที่ ๑๕ มีนาคม ๒๕๖๓ เวลา ๐๙.๐๐ - ๑๕.๓๐ น. ณ หอประชุม ชั้น ๒ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ๔ (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โอกาสนี้ ศูนย์เชี่ยวชาญฯ ขอเรียนเชิญท่าน และเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้แทนในสังกัดของท่าน **รวมจำนวน ๒๐ ท่าน** เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ รายละเอียดปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๑ พร้อมกันนี้ โปรดตอบรับตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒ และส่งกลับมายังผู้ประสานงานตามรายละเอียดด้านล่าง **ภายในวันที่ ๘ มีนาคม** ๒๕๖๓ ทั้งนี้ รายละเอียดแผนที่อาคารและการเดินทาง ปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๓ และหากท่านมีข้อสงสัยประการใด สามารถติดต่อสอบถามเพิ่มเติมได้ที่ ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล (หัวหน้าโครงการ) หมายเลขโทรศัพท์ ๐๘ ๑๖๒๒ ๘๓๔๕ หรือ ๐ ๒๒๑๘ ๖๔๐๒ หรือผ่านช่องทาง E-mail: watit_b@hotmail.com

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอเชิญท่านและเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมสัมมนาตามกำหนดวัน เวลา และสถานที่ดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)
ผู้อำนวยการศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0-2218-6542-4 โทรสาร. 0-2218-6544
Center of Excellence in Electrical Power Technology
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan Bangkok 10330 Tel. 0-2218-6542-4 Fax. 0-2218-6544
E-mail address : CEPT @ chula.ac.th

ที่ CEPT๖๑๐๒๑๔/ ๐๐๕

๑๔ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้
เรียน ผู้อำนวยการสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน
สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. กำหนดการสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๒ หน้า
๒. แบบตอบรับการเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๑ หน้า
๓. แผนที่อาคารและการเดินทาง จำนวน ๒ หน้า

ด้วย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง (ศูนย์เชี่ยวชาญฯ) ได้รับมอบหมายและทุนสนับสนุนจาก กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ให้เป็นที่ปรึกษาดำเนิน **"โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ดกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย"** ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งของขอบเขตงานในโครงการนี้ กำหนดให้มีการเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนั้น ศูนย์เชี่ยวชาญฯ จึงกำหนดจัดสัมมนาให้ความรู้ในหัวข้อเรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ และเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ และความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย รวมทั้งข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ในวันพฤหัสบดี ที่ ๑๕ มีนาคม ๒๕๖๑ เวลา ๐๙.๐๐ - ๑๕.๓๐ น. ณ หอประชุม ชั้น ๒ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ๔ (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โอกาสนี้ ศูนย์เชี่ยวชาญฯ ขอเรียนเชิญท่าน และเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้แทนในสังกัดของท่าน **รวมจำนวน ๕ ท่าน** เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ รายละเอียดปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๑ พร้อมกันนี้ โปรดตอบรับตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒ และส่งกลับมายังผู้ประสานงานตามรายละเอียดด้านล่าง **ภายในวันที่ ๘ มีนาคม** ๒๕๖๑ ทั้งนี้ รายละเอียดแผนที่อาคารและการเดินทาง ปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๓ และหากท่านมีข้อสงสัยประการใด สามารถติดต่อสอบถามเพิ่มเติมได้ที่ ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล (หัวหน้าโครงการ) หมายเลขโทรศัพท์ ๐๘ ๑๖๒๒ ๘๓๔๕ หรือ ๐ ๒๒๑๘ ๖๙๐๒ หรือผ่านช่องทาง E-mail: watit_b@hotmail.com

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอเชิญท่านและเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมสัมมนาตามกำหนดวัน เวลา และสถานที่ดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)
ผู้อำนวยการศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0-2218-6542-4 โทรสาร. 0-2218-6544
Center of Excellence in Electrical Power Technology
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan Bangkok 10330 Tel. 0-2218-6542-4 Fax. 0-2218-6544
E-mail address : CEPT @ chula.ac.th

ที่ CEPT๖๑๐๒๑๔/ ๐๐๕

๑๔ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้

เรียน เลขาธิการสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. กำหนดการสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๒ หน้า
๒. แบบตอบรับการเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๑ หน้า
๓. แผนที่อาคารและการเดินทาง จำนวน ๒ หน้า

ด้วย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง (ศูนย์เชี่ยวชาญฯ) ได้รับมอบหมายและทุนสนับสนุนจาก กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ให้เป็นที่ปรึกษาดำเนิน **"โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย"** ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งของขอบเขตงานในโครงการนี้ กำหนดให้มีการเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนั้น ศูนย์เชี่ยวชาญฯ จึงกำหนดจัดสัมมนาให้ความรู้ในหัวข้อเรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ และเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ และความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย รวมทั้งข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ในวันพฤหัสบดี ที่ ๑๕ มีนาคม ๒๕๖๑ เวลา ๐๙.๐๐ - ๑๕.๓๐ น. ณ หอประชุม ชั้น ๒ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ๔ (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โอกาสนี้ ศูนย์เชี่ยวชาญฯ ขอเรียนเชิญท่าน และเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้แทนในสังกัดของท่าน รวม**จำนวน ๕ ท่าน** เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ รายละเอียดปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๑ พร้อมกันนี้ โปรดตอบรับตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒ และส่งกลับมายังผู้ประสานงานตามรายละเอียดด้านล่าง **ภายในวันที่ ๘ มีนาคม** ๒๕๖๑ ทั้งนี้ รายละเอียดแผนที่อาคารและการเดินทาง ปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๓ และหากท่านมีข้อสงสัยประการใด สามารถติดต่อสอบถามเพิ่มเติมได้ที่ ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล (หัวหน้าโครงการ) หมายเลขโทรศัพท์ ๐๘ ๑๖๒๒ ๘๓๔๕ หรือ ๐ ๒๒๑๘ ๖๙๐๒ หรือผ่านช่องทาง E-mail: watit_b@hotmail.com

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอเชิญท่านและเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมสัมมนาตามกำหนดวัน เวลา และสถานที่ดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)
ผู้อำนวยการศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0-2218-6542-4 โทรสาร. 0-2218-6544
Center of Excellence in Electrical Power Technology
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan Bangkok 10330 Tel. 0-2218-6542-4 Fax. 0-2218-6544
E-mail address : CEPT @ chula.ac.th

ที่ CEPT๖๑๐๒๑๔/ ๐๐๖

๑๔ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้

เรียน เลขาธิการ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. กำหนดการสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๒ หน้า
๒. แบบตอบรับการเข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ จำนวน ๑ หน้า
๓. แผนที่อาคารและการเดินทาง จำนวน ๒ หน้า

ด้วย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง (ศูนย์เชี่ยวชาญฯ) ได้รับมอบหมายและทุนสนับสนุนจาก กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ให้เป็นที่ปรึกษาดำเนิน **"โครงการศึกษาเพื่อเสนอแนะการใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความฉลาดหรือระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด (Smart Grid) ของประเทศไทย"** ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งของขอบเขตงานในโครงการนี้ กำหนดให้มีการเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนั้น ศูนย์เชี่ยวชาญฯ จึงกำหนดจัดสัมมนาให้ความรู้ในหัวข้อเรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ และเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ และความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย รวมทั้งข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ในวันพฤหัสบดี ที่ ๑๕ มีนาคม ๒๕๖๑ เวลา ๐๙.๐๐ - ๑๕.๓๐ น. ณ หอประชุม ชั้น ๒ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ๔ (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โอกาสนี้ ศูนย์เชี่ยวชาญฯ ขอเรียนเชิญท่าน และเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้แทนในสังกัดของท่าน **รวมจำนวน ๑๐ ท่าน** เข้าร่วมสัมมนาให้ความรู้ในครั้งนี้ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ รายละเอียดปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๑ พร้อมกันนี้ โปรดตอบรับตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒ และส่งกลับมายังผู้ประสานงานตามรายละเอียดด้านล่าง **ภายในวันที่ ๘ มีนาคม** ๒๕๖๑ ทั้งนี้ รายละเอียดแผนที่อาคารและการเดินทาง ปรากฏตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๓ และหากท่านมีข้อสงสัยประการใด สามารถติดต่อสอบถามเพิ่มเติมได้ที่ ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล (หัวหน้าโครงการ) หมายเลขโทรศัพท์ ๐๘ ๑๖๒๒ ๘๓๔๕ หรือ ๐ ๒๒๑๘ ๖๙๐๒ หรือผ่านช่องทาง E-mail: watit_b@hotmail.com

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอเชิญท่านและเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมสัมมนาตามกำหนดวัน เวลา และสถานที่ดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)
ผู้อำนวยการศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง

ภาคผนวก ข

รายชื่อผู้เข้าร่วมการสัมมนาให้ความรู้

กกพ.

กทปส

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	ดร.ชาญชัย อมรวิภาส	สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน			
2	นายมรุจ หีมสุหรี	สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน	089-7037182	marut@erc.or.th	
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

Page 1 of 1

สนพ.

กทปส

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	นายวัฒนพงษ์ คุโรวาท	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน			
2	นายภาณุพงศ์ สาธร	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	02-612-1555	panupong@eppo.go.th	
3	นายสิทธิชัย โอภาสวชิระกุล	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (กพช)	02 6121555	sittichai@eppo.go.th	
4	พล. พงศ์ โพธิ์ศรีทอง	สนพ	099-394-9289	punnee@eppo.go.th	
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

กฟผ.

กฟส

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	น.ส.เอกอุษา เทวารุทธ	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	0243612541	EKULARN.D@EGAT.CO.TH	
2	นายพิพัฒน์ ธนานารณ์ธันพงษ์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	089-7291879	47791 @ Egat.co.th	
3	นายเกรียงไกร ผาสุริวงษ์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	02-4362543	krianghrai.p@egat.co.th	
4	นายวิทิต ลิมป์ปิยาภิรมย์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	0243625 41	witit.l@egat.co.th	
5	นายดิษรักษ์ เตชะคุงคะ	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย			
6	นางสาววิริศรา อาสน์สถิตย์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	02-4368554	wanitsara.a@egat.co.th	
7	นายบุญลือ สาทสุทธิ	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	081-4419471	boonlue.sa@egat.co.th	
8	นายเสกสรร มีอุปถัมภ์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	081-4967676	Seksan.m@EGAT.CO.TH	
9	นายอนุชา ดอกไม้	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	083-0116048	anucha.248@gmail.com	
10	นางสาวสายรุ้ง เมฆกุลวิโรจน์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	094-4966924	Sairung.m@egat.co.th	
11	นายณัฐวุฒิ พงศ์ปวน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	0839462984	nuttawut.pon@egat.co.th	
12					
13					
14					
15					
16					
17					

กฟภ.

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	นาย ฮ.ปกาศิต จันทสาโร	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	081-694 9832	hpkasit@gmail.com	
2	นายวรวิทย์ เตรคุพ	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			
3	นายศุภทัต อินทร์ขาว	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			
4	นายสน กำแพงเศรษฐ์	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	08-516-5165	son.kam@pea.co.th	
5	นายอธิพงศ์ วิรัตติยา	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			
6	นายพงศกร ยุทธโกวิท	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			
7	นายปานทอง ถินสถิตย์	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			
8	นายเบญจมาภรณ์ ทองขวัญ	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	081-531-9668	pookbeh@hotmail.com	
9	นายจตุรนต์ กุศลส่ง	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			
10	นายอรรคพล เพ็งพันธ์	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	087-556-8697	jew.pea.gis@gmail.com	
11	นางสาวอภิญญ์พิชญ์ เรืองศิลป์	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			
12	เกียรติศักดิ์ เรืองจันทร์	กฟภ.	0653959694		
13					
14					
15					
16					
17					

กฟน.

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	นายวรพันธ์ ศีลพิพัฒน์	การไฟฟ้านครหลวง	081 455 9978	woraphansi @ mea.or.th	
2	นายวิษณุ วงเวียน	การไฟฟ้านครหลวง	086-374-5058	Witsanu.wve@mea.or.th	
3	นายธานี ปาริชาติอินทราณี	การไฟฟ้านครหลวง	0816216726	thanee@mea.or.th	
4	เรืออากาศตรีสำเริง เชี่ยวชูกุล	การไฟฟ้านครหลวง	0899686183	s.chear@mea.or.th.	
5	นายบุญลือ แผนกทาน	การไฟฟ้านครหลวง	061-7001704	BOON.P@MEA.OR.TH	
6	นางพรทิพย์ สาพิมาน	การไฟฟ้านครหลวง	0813032774	PORNTIP.S@MEA.OR.TH	
7	นายสมชาย ศรีไพศาลเจริญ	การไฟฟ้านครหลวง	089-829-7034	somchaipcd@mea.or.th	
8	นายวรพันธ์ ศีลพิพัฒน์	การไฟฟ้านครหลวง			
9	นายธนดี โตศุกลวรรณ์	การไฟฟ้านครหลวง	0888855020	TANADEE.T@MEA.OR.TH	
10	นายอดิศักดิ์ วารีย์	การไฟฟ้านครหลวง			
11	นายศุภเชษฐ์ เนียมโสภา	การไฟฟ้านครหลวง	094-920 2622	suppachate_n@mea.or.th	
12	นายวุฒิไกร กิ่งแก้ว	การไฟฟ้านครหลวง	0873855286		
13	นายตรงสันต์ มะรอแม	การไฟฟ้านครหลวง	089-968-6037	Trongsunth.maromae@gmail.com	
14	ว่าที่ร้อยตรีจุฑาบงบท์ แก้วบเณี	การไฟฟ้านครหลวง	0841028763	JUTANON@mea.or.th	
15	นางสาวภูษณิศา ใจชัยภูมิ	การไฟฟ้านครหลวง			
16	นายอนันต์ชัย ภิรมยาภรณ์	การไฟฟ้านครหลวง	081-6128406	anantchaip@mea.or.th	
17	นายชาตรี ศรีดาวเดือน	การไฟฟ้านครหลวง	0809780043	chatree.sr@mea.or.th	

กฟน.

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
18	นายวิษณุ วงเวียน	การไฟฟ้านครหลวง			
19	นายกอบพล สิริมานุวัฒน์	การไฟฟ้านครหลวง	022563347	kobpol.si@mea.or.th	
20	นายกมลภู ทองวัฒน์	การไฟฟ้านครหลวง			
21	นายปริญญา โอตรวรรณะ	การไฟฟ้านครหลวง	0811731753	arommea@mea.or.th	
22	นายสุรสิทธิ์ สุวรรณศักดิ์	การไฟฟ้านครหลวง	0234355561	surasit.su@mea.or.th	
23				Pitnkcnd@gmail.com	
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

กสทช.

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	นางสาวนรีกานต์ บางอ้อ	กสทช.			
2	นางสาวพรพรรณ ดุลยกาญจน์	กสทช.			
3	นายศุภณัฐ จุฑาเจริญวงศ์	กสทช.			
4	นายปณิธาน แสงเปี่ยมสุข	กสทช.			
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

กทปส.

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	นายวัฒนชัย เรืองศิริ	สำนักงานกองทุนวิจัยและพัฒนา			
2	นายปุรินทร์ ศรีปองพันธ์	สำนักงานกองทุนวิจัยและพัฒนา			
3	นางสาวศรีพร อิงคนินันท์	สำนักงานกองทุนวิจัยและพัฒนา	081 937 0390	SAJEEVEE@hotmail.com	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฟปส

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ดกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	ศ.ร.ประโมทย์ อุณหไวทยะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	—	—	
2	นายจรินทร์ ลาภี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	086 369 5472	jarinh@mea.or.th	
3	นายพลพัฒน์ เทพบุญ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	081939 4137	phonphat_t@hotmail.com	
4	นายสรรชัย ศิเลิศไพบูลย์	วิศวฯ	0815423503	dedertpaiboon@hotmail.com	
5	ลัษมณ จุลินทร์กุลกิจ	จุฬาฯ	086 6889858	wlunchak@chula.ac.th	
6	[illegible]	FABRINET	081-8890804	soonk@fabrinet.co.th	
7	ชัยเชษฐ์ สมบัติรอด	วศ	087-8599119	Chaijaesut.s@dula.ac.t	
8	วาทิต เบญจพลกุล	วิศวฯ	081-6228345	watit.b@hotmail.com	
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

ชี้แจ้ง

กทปส

การสัมมนาให้ความรู้

เรื่อง "การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในประเทศไทย"

วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม 2561 เวลา 9.00 - 15.30 น.

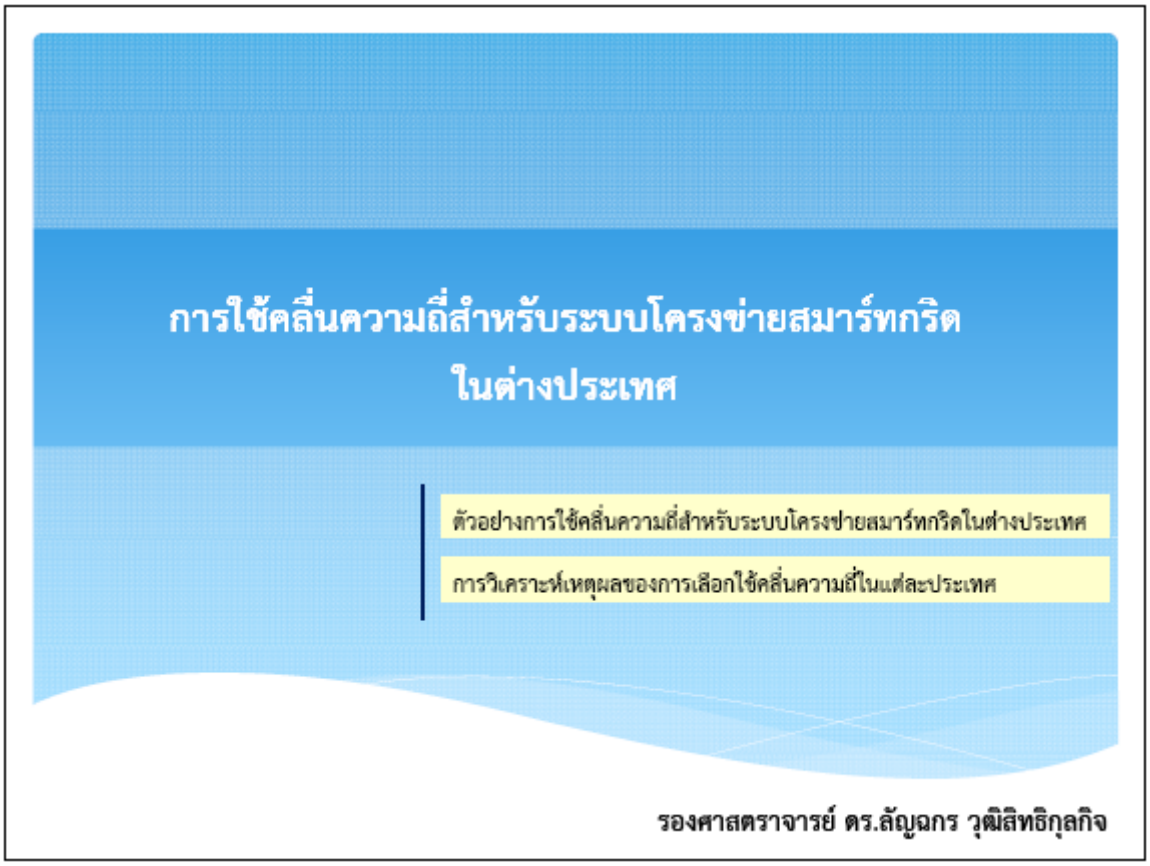
ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	อีเมล	ลายมือชื่อ
1	น.ส. วิรัลพัชร ลิ่ว-สุนทร	สกท.	0878243383	chanda.t@egat.co.th	
2	นาย ภูมิ ภักดีกุล	บ	0851686025	poochitLall@gmail.com	
3	น.ส. ณัฐกฤตา กุหลีกิตติ์	บ	0819442342	nutkrita@gmail.com	
4	ธนกฤต ศรีบัวนนท์	ท	0838045836	Dhanidas038@gmail.com	
5	สาธิต เพ็งมอก	ท	0623737776	sathit.mea@gmail.com	
6	นายชูเกียรติ หนูแก้ว	ท	0851514939	Nutsrisuke@gmail.com	
7	นายพลพัฒน์ ค้ำแก้ว	บ	0860955424	khana.phk@gmail.com	
8	[illegible]	ท	0653959694	—	
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

ภาคผนวก ค

เอกสารประกอบการสัมมนาให้ความรู้

กทปส
การสัมมนาให้ความรู้
การใช้คลื่นความถี่สำหรับการพัฒนา
ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในประเทศไทย
วันพฤหัสบดี ที่ 15 มีนาคม 2561
เวลา 9.00 – 15.30 น.
ณ หอประชุม ชั้น 2 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 (เจริญวิศวกรรม)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
ในต่างประเทศ
ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ
การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่ในแต่ละประเทศ
รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

1. ประเทศเนเธอร์แลนด์

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

- กรณีตัวอย่างจากระบบสมาร์ทมิเตอร์ของบริษัท Alliander ซึ่งเป็นผู้ให้บริการระบบจำหน่ายไฟฟ้าและระบบจำหน่ายก๊าซ ขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศเนเธอร์แลนด์
- บริษัท Alliander เริ่มติดตั้งระบบสมาร์ทมิเตอร์ ตั้งแต่ ศ.ศ. 2015 เพื่อรองรับการวัด/ควบคุมมิเตอร์ไฟฟ้า มิเตอร์ก๊าซ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างสาธารณะ
- ใช้เทคโนโลยี CDMA450 ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ย่านความถี่ 450 MHz เป็นระบบสื่อสารหลักของระบบสมาร์ทมิเตอร์
- เทคโนโลยี CDMA450 อาจพิจารณาได้ว่าเป็นเทคโนโลยี CDMA 2000 (1xEV-DO) บนย่านความถี่ 450 MHz
- บริษัท Alliander ได้รับสิทธิการใช้คลื่นความถี่ 450 MHz จากบริษัท KPN ซึ่งเป็นผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 450 MHz ในลักษณะความร่วมมือทางธุรกิจ

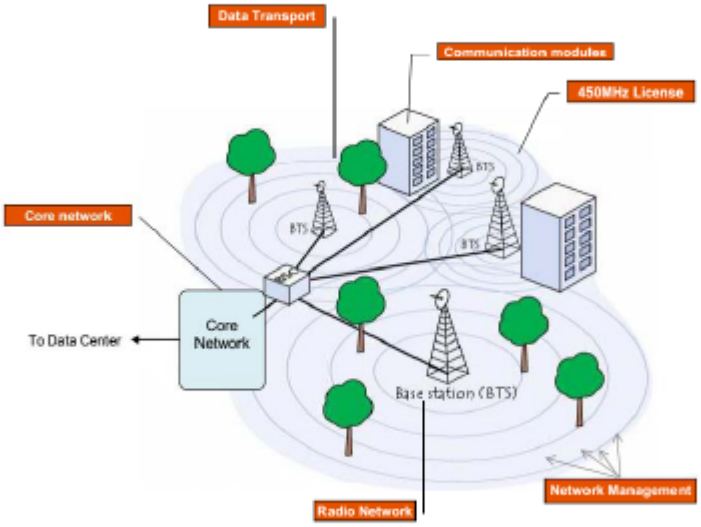
3

หัวข้อนำเสนอ

- ตัวอย่างการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในต่างประเทศ (ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์ สหรัฐอเมริกา จีน เวียดนาม เกาหลีใต้ และสิงคโปร์)
- การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่ในแต่ละประเทศ
- การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านต่าง ๆ
- การใช้ย่านความถี่ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
- ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน

4

1. ประเทศเนเธอร์แลนด์



ภาพรวมโครงข่าย CDMA450 ของบริษัท Alliander

5

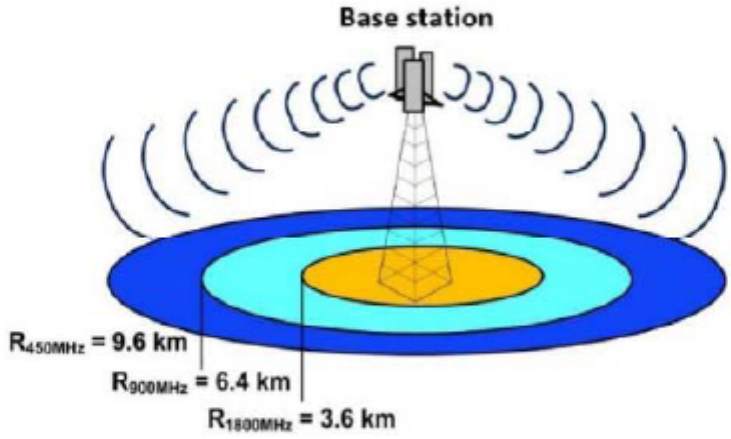
1. ประเทศเนเธอร์แลนด์

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

- บริษัท Alliander มองว่าควรใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในการพัฒนาระบบสมาร์ทกริด เนื่องจากสามารถรับประกันความพร้อมใช้งาน (Availability) ความเชื่อถือได้ (Reliability) และความปลอดภัย (Security)
- จากการศึกษาของบริษัท Alliander พบว่า CDMA450 เป็นตัวเลือกเชิงกลยุทธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจาก:
  - มีความปลอดภัยสูงและสมรรถนะสูง เนื่องจากใช้เทคโนโลยี Spread Spectrum
  - รองรับ TCP (Transmission Control Protocol) และ PPP (Point-to-Point Protocol)
  - เหมาะสำหรับรองรับการสื่อสารในโครงข่ายM2M เนื่องจากมี Latency ต่ำ และรองรับ QoS
  - คลื่นความถี่ 450 MHz มีระยะสื่อสารไกลกว่าคลื่นความถี่ที่สูง ส่งผลให้จำนวนสถานีฐานลดลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการบำรุงรักษา อีกทั้งคลื่นความถี่ต่ำยังสามารถทะลุทะลวงไปยังสมาร์ทมิเตอร์ภายในอาคารได้ดี

6

1. ประเทศเนเธอร์แลนด์



พื้นที่ครอบคลุมต่อเซลล์ เปรียบเทียบระหว่าง
ย่านความถี่ 450 MHz, 900 MHz และ 1,800 MHz

7

1. ประเทศเนเธอร์แลนด์

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

- จากการศึกษาของบริษัท Alliander พบว่า CDMA 450 มีข้อได้เปรียบกว่าเทคโนโลยีคู่แข่งเช่น GSM 900 MHz และ LTE 800 MHz ดังนี้

พารามิเตอร์ในการประเมิน	GSM 900 MHz	LTE 800 MHz	CDMA 450 MHz
รองรับการขยายขนาดโครงข่าย(Scalability)	มีเทคโนโลยีคู่แข่งในย่านความถี่เดียวกัน	มีเทคโนโลยีคู่แข่งในย่านความถี่เดียวกัน	ไม่มีเทคโนโลยีคู่แข่งในย่านความถี่เดียวกัน
ค่า Latency ต่ำ	ไม่ใช่	ใช่	ใช่
รองรับอัตราข้อมูลเพียงพอต่อความต้องการ	ยังไม่แน่นอน	ใช่	ใช่
มีความยืดหยุ่น (Flexibility)	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 ทั่วประเทศ)	ใช่	ใช่	ใช่
การติดตั้ง	ง่าย	ง่าย	ง่าย
ความปลอดภัย	โครงข่ายสาธารณะ	โครงข่ายสาธารณะ	โครงข่ายปิด
การรองรับการใช้งานในระยะยาว	ไม่ใช่	ใช่	ใช่

8

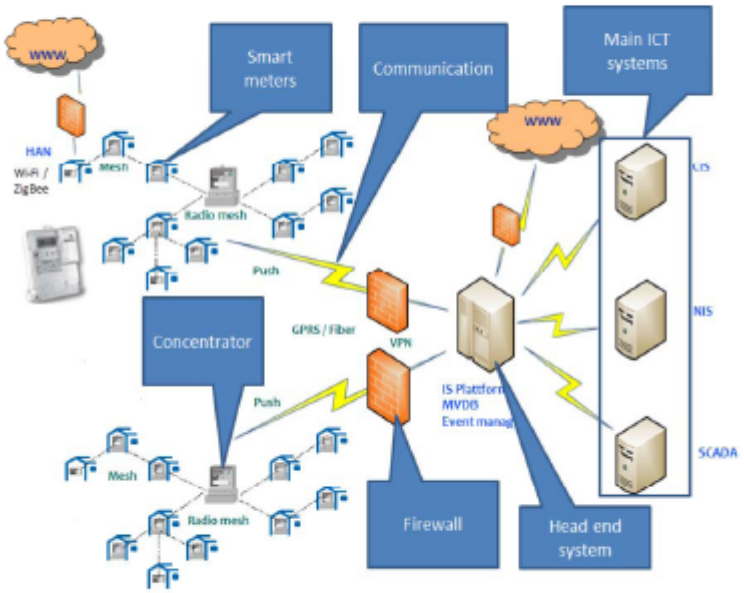
2. ประเทศนอร์เวย์

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

- กรณีตัวอย่างจากโครงการนำร่องภายใต้ความร่วมมือของ Norwegian Smart Grid Center (NSGC) จำนวน 3 โครงการ ซึ่งมุ่งเน้นการทดสอบสมรรถนะของระบบสมาร์ทมิเตอร์ที่ใช้งานระบบสื่อสารที่แตกต่างกัน
- สรุปเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายที่ NSGC เลือกใช้ในการทดสอบ
  - โครงข่าย NAN (ระหว่างสมาร์ทมิเตอร์ กับ Concentrator): ระบบ Radio Mesh โดยใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 433-444 MHz หรือ 868 MHz (ทดสอบทั้ง 2 ย่าน)
  - โครงข่าย WAN (ระหว่าง Concentrator กับ AMI Head-end): โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/EDGE
  - การสื่อสารแบบ Point-to-Point: โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/EDGE

9

2. ประเทศนอร์เวย์



ระบบสมาร์ทมิเตอร์ในโครงการนำร่องประเทศนอร์เวย์

10

2. ประเทศนอร์เวย์

ผลการทดสอบจากโครงการนำร่อง

การเชื่อมโยง	เทคโนโลยี		เวลาตอบสนอง (วินาที)
มิเตอร์ → Head-end (แบบ point-to-point)	GPRS		10-30
	EDGE		8-30
การเชื่อมโยง	เทคโนโลยี		เวลาตอบสนอง (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

➢ ระบบ Radio Mash ย่านความถี่ 433 MHz มีระยะเวลาตอบสนองที่ดีกว่าย่านความถี่ 868 MHz

11

2. ประเทศนอร์เวย์

ข้อสรุปจากโครงการนำร่อง

- ระบบ Radio Mesh ที่ย่านความถี่ 433 MHz ทำงานได้ดีกว่าย่านความถี่ 868 MHz
- ระบบ Radio Mesh มีสมรรถนะที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่
- สมาร์ทมิเตอร์บางเครื่องเข้าถึงโครงข่ายสื่อสารได้ยาก หากไม่ติดตั้งสายอากาศเสริม
- ระบบสื่อสารไร้สายยังต้องพึ่งพาโครงข่ายของบุคคลที่สาม (โครงข่ายเซลลูลาร์) ส่งผลให้ยังมีข้อกังวลในด้านความพร้อมใช้งานและสมรรถนะ
- การใช้บริการโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม ควรมีข้อพิจารณาว่าเทคโนโลยีและมาตรฐานด้านโทรคมนาคมมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยกว่าเทคโนโลยีในธุรกิจระบบไฟฟ้า

12

2. ประเทศนอร์เวย์

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

- การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับโครงข่าย NAN
  - เป็นโครงการนำร่องซึ่งเน้นที่การทดสอบระบบสื่อสาร และมีขนาดเพียง 10,000 มิเตอร์ ดังนั้น การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง จึงยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน
- การเลือกใช้ย่านความถี่ต่ำ (433-444 MHz หรือ 868 MHz) สำหรับโครงข่าย NAN
  - ย่านความถี่ต่ำมีระยะสื่อสารไกล ช่วยลดความจำเป็นในการติดตั้งอุปกรณ์ทวน/ขยายสัญญาณ
  - คลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำสามารถทะลุทะลวงผนังอาคารได้ดี
- การเลือกใช้โครงข่ายเซลลูลาร์สำหรับโครงข่าย WAN
  - ลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการติดตั้งโครงข่ายสื่อสาร เนื่องจากเป็นเพียงโครงการนำร่อง
  - ระบบสมาร์ทมิเตอร์ ไม่ใช่ Application ที่มีความสำคัญต่อการควบคุมโครงข่ายไฟฟ้า ดังนั้น การใช้โครงข่ายเซลลูลาร์จึงยอมรับได้ทั้งในด้านความปลอดภัยและค่าใช้จ่ายในระยะยาว

13

3. ประเทศสหรัฐอเมริกา

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

- สหรัฐอเมริกามีโครงการด้านสมาร์ทกริดจำนวนมาก จึงพบการใช้คลื่นความถี่ทั้งแบบ Licensed และ Unlicensed
- การใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มีข้อได้เปรียบ คือ ใช้กำลังส่งได้สูง และได้รับการปกป้องจากสัญญาณรบกวน แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูง และมักได้รับแบนด์วิดท์ที่จำกัด (เช่น ไม่กี่ร้อย kHz) ส่งผลให้การใช้งานมีข้อจำกัดและอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานของระบบสมาร์ทกริดในระยะยาว
- กรณีคลื่นความถี่แบบ Unlicensed FCC ได้จัดสรรหลายย่านความถี่ให้สามารถใช้โดยไม่ต้องได้รับใบอนุญาต เช่น 915 MHz, 2.4 GHz, 5 GHz
- Utility ส่วนใหญ่เลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed และมักเลือกใช้ย่านความถี่ 900 MHz สำหรับระบบสื่อสารไร้สายในระบบสมาร์ทมิเตอร์ หรือ AMI

14

3. ประเทศสหรัฐอเมริกา

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

- Utility บางราย เช่น SDG&E เห็นว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed น่าจะไม่สามารถรองรับระบบสมาร์ทกริดในระยะยาวได้ โดยมองว่าเหมาะสมสำหรับรองรับ Application ที่ไม่สำคัญเท่านั้น เช่น Application ไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบไฟฟ้า
- กรณี Application ด้านการตรวจสอบและควบคุมระบบไฟฟ้าซึ่งมีความสำคัญสูง และมีข้อมูลแบบ Real Time จำนวนมาก ควรใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จึงจะเหมาะสมกว่า
- บริษัท SDG&E อยู่ระหว่างพิจารณาความเหมาะสมในการขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed โดยพิจารณาเทคโนโลยี WiMAX บนย่านความถี่ 3.65-3.70 GHz ถึงแม้ว่าย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz (หรือ Sub GHZ) มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับระบบสมาร์ทกริดมากกว่า แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูงมากในการขอใช้คลื่นความถี่ และย่านความถี่ Sub GHZ ค่อนข้างมีแบนด์วิดท์จำกัด

15

3. ประเทศสหรัฐอเมริกา

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

- Utility ส่วนใหญ่เลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับโครงข่าย NAN
  - คลื่นความถี่แบบ Licensed มีค่าใช้จ่ายสูงมาก เนื่องจากมีการแข่งขันสูงในกิจการโทรคมนาคม
  - การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มักได้รับขนาดแบนด์วิดท์ที่จำกัด (เช่น ไม่กี่ร้อย kHz) ส่งผลให้การนำมาใช้งานมีข้อจำกัด และอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการในระยะยาว
- Utility ส่วนใหญ่เลือกใช้ย่านความถี่ 915 MHz สำหรับโครงข่าย NAN
  - คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่ FCC จัดสรร ได้แก่ ย่าน 915 MHz, 2.4 GHz, 5 GHz ดังนั้น Utility จึงนิยมเลือกใช้ย่านความถี่ 915 MHz เนื่องจากมีระยะครอบคลุมไกลกว่า และทะลุทะลวงผ่านผนังอาคารได้ดีกว่า
  - เทคโนโลยีที่นิยมใช้งาน ได้แก่ RF Mesh และ Zigbee บนย่านความถี่ 915 MHz
- Utility ที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed มักเลือกใช้โครงข่ายเซลลูลาร์
  - การขอใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ด้วยตนเอง ยังไม่คุ้มค่าสำหรับระบบสมาร์ทกริด เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดผลตอบแทนมากนัก

16

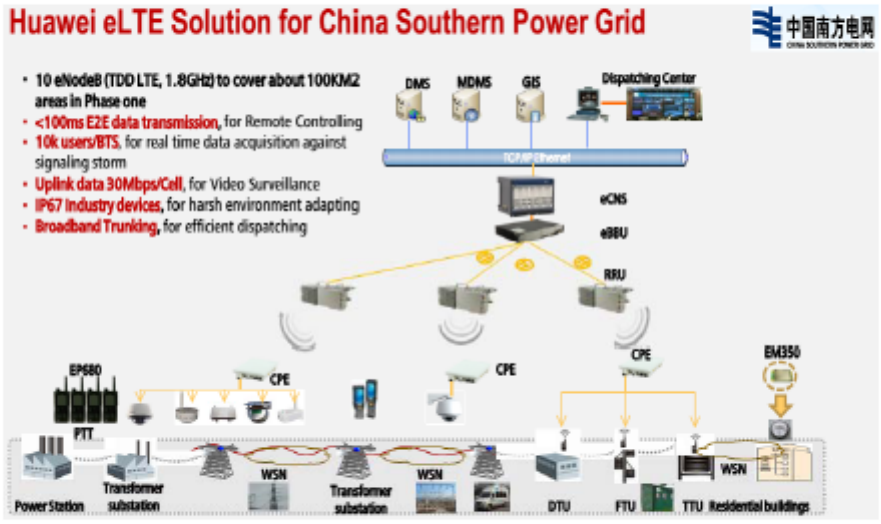
4. ประเทศจีน

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

- กรณีตัวอย่างจากการพัฒนาระบบ Distribution Automation ของ China Southern Grid (CSG) ในพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษจูไห่
- CSG พิจารณาเลือกใช้ระบบ eLTE (Enterpise LTE) ของบริษัท Huawei ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มสำเร็จรูปสำหรับระบบ Distribution Automation เทคโนโลยีสื่อสารที่ใช้ คือ LTE-TDD (LTE Time-Division Duplex) ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed บนย่านความถี่ 1,800 MHz
- Huawei ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 1,800 MHz ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง
- แพลตฟอร์ม eLTE ถือเป็นแพลตฟอร์มสำหรับระบบ Distribution Automation ของ CSG โดยเฉพาะ ดังนั้น CSG จึงสามารถควบคุมและบริหารจัดการโครงข่ายสื่อสารได้ทั้งหมด

17

4. ประเทศจีน



ระบบ eLTE สำหรับโครงการ Distribution Automation ของ CSG

18

4. ประเทศจีน

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

- CSG ได้พัฒนาโครงข่าย Optical Fiber เป็นโครงข่ายสื่อสารหลักในระบบไฟฟ้า แต่พบปัญหาหลายประการในการรองรับระบบ Distribution Automation เช่น
  - ยากต่อการติดตั้ง Optical Fiber ไปยังอุปกรณ์ภาคสนามได้ครบถ้วน โดยเฉพาะในเขตเมืองเก่า
  - โครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบ Distribution Automation ที่มีอยู่เดิมค่อนข้างล้าสมัย จึงยากต่อการนำมาบูรณาการกับโครงข่าย Optical Fiber
- ดังนั้น CSG จึงพิจารณาทางเลือกด้านระบบสื่อสารไร้สาย และมองว่าควรใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เนื่องจาก Distribution Automation เป็นการควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้า ซึ่งมีความสำคัญสูง นอกจากนี้ การใช้แพลตฟอร์มระบบสื่อสารแบบสำเร็จรูปสามารถช่วยลดปัญหาด้านการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายได้
- เทคโนโลยี LTE มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศจีน มีสมรรถนะสูง แบนด์วิดท์กว้างและแข็งแรง และมีระยะสื่อสารครอบคลุมพื้นที่ใกล้ไกล อีกทั้ง Huawei ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่ 1,800 MHz ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องขอใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง

19

5. ประเทศเวียดนาม

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

กรณีตัวอย่างจาก 3 โครงการนำร่อง ได้แก่

1) โครงการนำร่องระบบ AMR ของบริษัท EVNNPC (ที่จังหวัด Thái Nguyên ตอนเหนือของประเทศเวียดนาม)
   - โครงข่าย NAN: ระบบ RF Mesh คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 400 MHz (408.925 MHz)
   - โครงข่าย WAN: โครงข่ายเซลลูลาร์ 3G/4G
2) โครงการนำร่องระบบ AMR ของบริษัท EVNCPC (บริเวณตอนกลางของประเทศเวียดนาม)
   - โครงข่าย NAN: ระบบ RF Mesh ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 408.925 MHz และ 433.050 MHz โดยถูกตั้งชื่อว่า RF Spider
   - โครงข่าย WAN: โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS/3G

20

5. ประเทศเวียดนาม

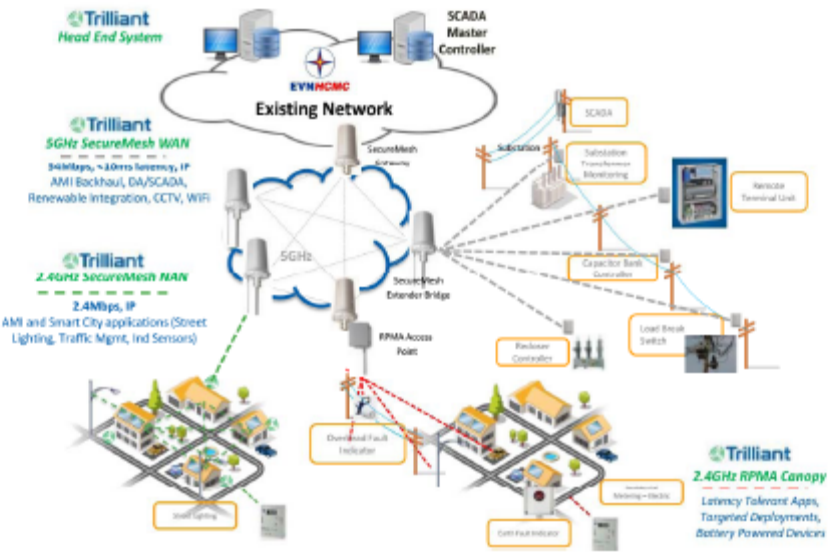
การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

3) โครงการ Smart City Communications Platform ของบริษัท EVNHCMC (ที่นิคมอุตสาหกรรม Saigon Hi-Tech Park ใกล้นครโฮจิมินห์)

- โครงข่าย WAN: ใช้แพลตฟอร์ม Trilliant Smart Communications ของบริษัท Trilliant ซึ่งใช้เทคโนโลยี WiFi บนย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz

21

5. ประเทศเวียดนาม



ระบบสื่อสารในโครงการ Smart City Communications Platform
ของบริษัท EVNHCPN

22

5. ประเทศเวียดนาม

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

กรณีโครงการนำร่องระบบ AMR ทั้ง 2 โครงการ

- การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับโครงข่าย NAN
  - ระบบ AMR มีขนาดไม่ใหญ่นัก และเป็นเพียงการอ่านหน่วยจากมิเตอร์ จึงมีความต้องการด้านระบบสื่อสารที่ไม่สูงมาก ดังนั้น จึงยังไม่มีความจำเป็นที่จะพิจารณาใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed
- การเลือกใช้ย่านความถี่ 400 MHz
  - มีคุณสมบัติที่เหมาะสม เช่น มีระยะสื่อสารที่ไกล และสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดี ถึงแม้ว่าจะรองรับอัตราข้อมูลได้ต่ำ แต่ระบบ AMR ก็ไม่ได้มีความต้องการด้านอัตราข้อมูลมากนัก
  - การออกแบบระบบ RF Mesh ต้องพิจารณาจำนวนมิเตอร์และจำนวน Hop สูงสุดให้เหมาะสม รวมทั้งต้องพิจารณาสภาพแวดล้อมซึ่งอาจแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่
  - ตัวอย่างเช่น ระบบ AMR ของ EVNNPC (โครงการที่ 1) พบปัญหาด้านระบบสื่อสาร ส่วนระบบ AMR ของ EVNCPC (โครงการที่ 2) สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ทั้งที่ 2 โครงการนี้ใช้ระบบสื่อสารที่มกล้เคียงกันมาก เนื่องจากโครงการที่ 2 มีการพิจารณาจำนวน Hop และระยะห่างระหว่าง Hop อย่างระมัดระวัง

23

5. ประเทศเวียดนาม

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

กรณีโครงการ Smart City Communications Platform

- การเลือกใช้เทคโนโลยี WIFI 2.4 GHz และ 5 GHz
  - EVNHCMC มองว่าการพัฒนา Smart City ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยจำนวนมาก ควรเลือกใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูป เพื่อลดปัญหาจากการบูรณาการเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย
  - แพลตฟอร์มสมาร์ทกริดสำเร็จรูปโดยทั่วไป ผู้พัฒนามักเลือกเทคโนโลยีซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ที่เป็นมาตรฐานสากลและเป็นที่นิยมใช้งานทั่วโลก เช่น WiFi และ Zigbee ย่าน 2.4 GHz รวมไปถึง WiFi ย่าน 5 GHz
  - Application ด้าน Smart City มีความต้องการด้านระบบสื่อสารค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องรองรับการสื่อสารแบบ Real Time (เช่น การควบคุมระบบจำหน่ายไฟฟ้า) และ Application ที่มีปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ (เช่น กล้อง CCTV) ดังนั้น WIFI จึงมีความเหมาะสมมากกว่า Zigbee

24

6. ประเทศเกาหลีใต้

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

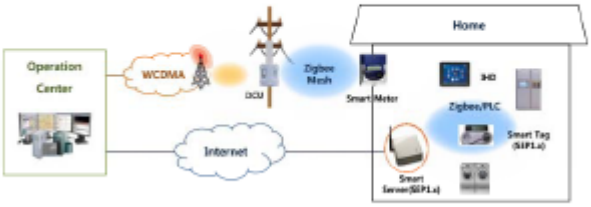
- กรณีตัวอย่างจากโครงการทดสอบด้านระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดที่เกาะเชจู ซึ่งเป็นการทดสอบที่รวม Ecosystem ทั้งหมดของระบบสมาร์ทกริดประกอบด้วยระบบย่อย 5 ระบบ แต่การใช้งานระบบสื่อสารไร้สายอยู่ที่ระบบ AMI และการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านเป็นหลัก
- ทดสอบระบบสื่อสารไร้สายสำหรับระบบ AMI จำนวน 3 รูปแบบ ดังนี้
  - รูปแบบที่ 1: ใช้เทคโนโลยี Zigbee Mesh คลื่นความถี่แบบ Unlicensed บนย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย NAN และใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA สำหรับโครงข่าย WAN
  - รูปแบบที่ 2: โครงข่ายเซลลูลาร์ WCDMA เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง
  - รูปแบบที่ 3: โครงข่าย WiBro เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสมาร์ทมิเตอร์กับศูนย์ปฏิบัติการกลาง

  ** WiBro เป็นชื่อเรียกของ WiMax ในประเทศเกาหลีใต้*
- การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านใช้การสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต
- โครงข่าย HAN ภายในบ้าน ใช้ Zigbee และ PLC

25

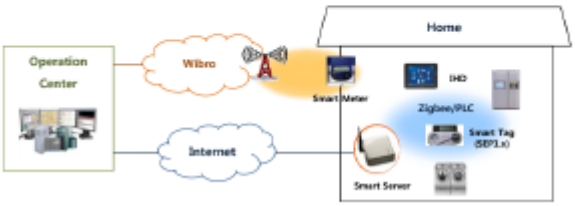
6. ประเทศเกาหลีใต้

รูปแบบที่ 1
Zigbee (Unlicensed) + WCDMA (Licensed)



รูปแบบที่ 2
WCDMA (Licensed)

รูปแบบที่ 3
WiBro (Licensed)



26

6. ประเทศเกาหลีใต้

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

- การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย HAN/NAN
  - Zigbee 2.4 GHz มีจุดเด่นที่เหมาะสมกับการสื่อสารของระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้าน (HAN) เช่น ใช้พลังงานต่ำ และรองรับความต้องการได้เพียงพอ
  - เลือกใช้ Zigbee สำหรับโครงข่าย NAN เช่นเดียวกับโครงข่าย HAN เพื่อความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ที่รองรับระบบสื่อสารเดียวกัน ซึ่งกรณีโครงข่าย NAN จะใช้การสร้างโครงข่าย Zigbee Mesh เพื่อช่วยเพิ่มความทนทานและความเชื่อถือได้ ให้สามารถรองรับการทำงานในสภาพแวดล้อม Outdoor ได้
- การเลือกใช้ WCDMA และ WiBro สำหรับโครงข่าย WAN
  - ทั้ง 2 เทคโนโลยีใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed โดยเป็นการใช้บริการโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม ดังนั้น Utility จึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่
  - ระบบ AMI ไม่ใช่ Application ที่สำคัญของระบบโครงข่ายไฟฟ้า จึงสามารถใช้โครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการติดตั้งอุปกรณ์และโครงสร้างพื้นฐานได้
  - Application ที่มีความสำคัญสูง เช่น การบูรณาการผู้จำหน่ายไฟฟ้าจากหลายแหล่งพลังงาน หรือ การแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องโดยอัตโนมัติ โครงการนี้ใช้โครงข่ายของ Utility เช่น Optical Fiber และ PLC

27

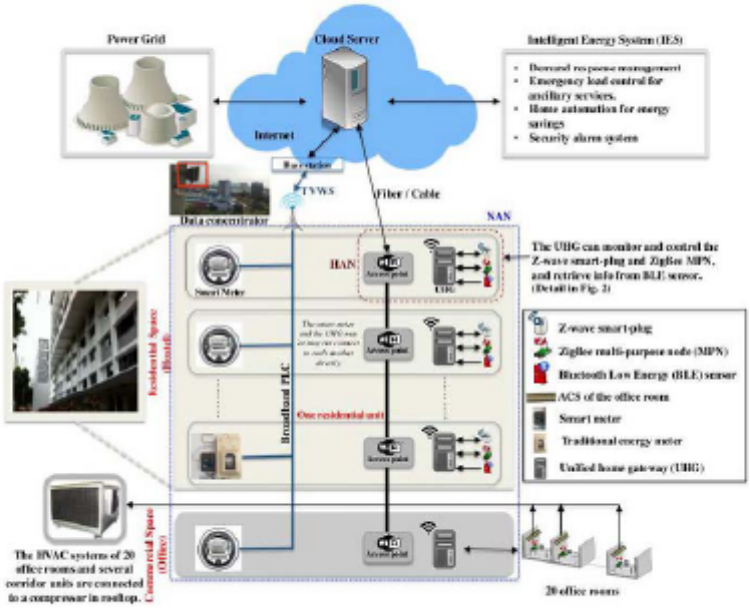
7. ประเทศสิงคโปร์

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

- กรณีตัวอย่างโครงการทดสอบระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดแบบไร้สาย ที่ Singapore University of Technology and Design (SUTD) ในปี ค.ศ. 2012 เป็นการทดสอบ Application ด้านการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร เช่น Demand Response และการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เพื่อประหยัดพลังงาน
- ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับการสื่อสารของอุปกรณ์ภายในอาคาร (HAN/BAN) เลือกใช้เทคโนโลยีสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 2.4 GHz เช่น Z-Wave, Zigbee และ WiFi
- ประเด็นที่น่าสนใจสำหรับกรณีประเทศสิงคโปร์ คือ การใช้เทคโนโลยี TV White Space (TVWS) บนย่านความถี่ 630 – 742 MHz สำหรับโครงข่าย NAN เพื่อเชื่อมโยงการสื่อสารจากแต่ละอาคารไปยัง Cloud Server ของโครงการ

28

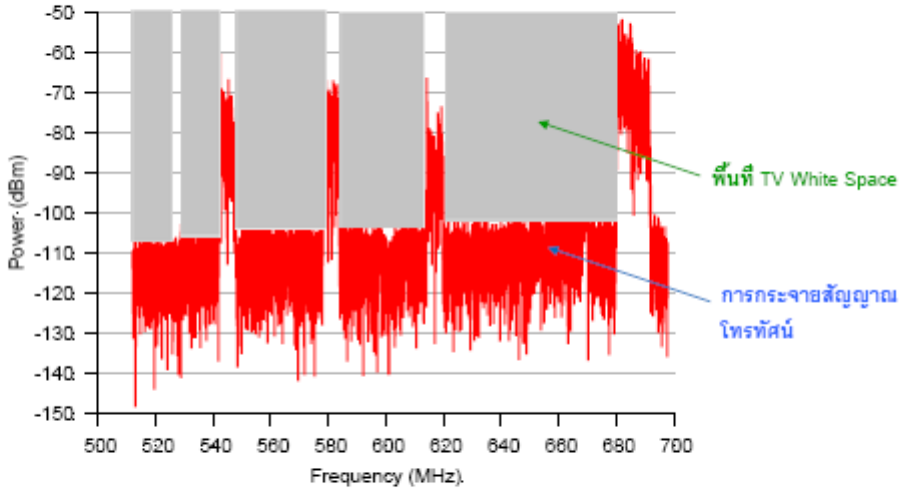
7. ประเทศสิงคโปร์



โครงข่าย HAN และ NAN ในโครงการทดสอบของ SUTD ประเทศสิงคโปร์

29

7. ประเทศสิงคโปร์



ตัวอย่างการเกิดคลื่นความถี่ TV White Space

30

7. ประเทศสิงคโปร์

การวิเคราะห์เหตุผลของการเลือกใช้คลื่นความถี่

- การเลือกใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 2.4 GHz สำหรับโครงข่าย HAN/BAN
  - เทคโนโลยีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed 2.4 GHz เช่น Z-Wave, Zigbee และ WiFi เป็นที่นิยมสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในบ้านหรืออาคาร เนื่องจากสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องขออนุญาต และรองรับการทำงานในสภาวะแวดล้อมแบบ Indoor ได้อย่างเพียงพอ
  - อุปกรณ์ส่วนใหญ่ในตลาดรองรับเทคโนโลยีเหล่านี้
- การเลือกใช้ TV White Space สำหรับโครงข่าย WAN
  - ยังไม่มีการกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่ TVWS ในสิงคโปร์
  - คลื่นความถี่ TVWS ถือเป็นคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อีกทั้งสามารถส่งสัญญาณโดยใช้กำลังส่งค่อนข้างสูง หากไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อสัญญาณโทรทัศน์
  - ย่านความถี่ที่ใช้งาน (630–742 MHz) มีความสามารถในการทะลุทะลวงได้ดี และครอบคลุมระยะทางสื่อสารได้ไกล จึงเป็นโอกาสดีสำหรับผู้ให้บริการโทรคมนาคมรายเล็ก/รายใหม่ ในการติดตั้งระบบโครงข่ายสื่อสารสำหรับ Application ด้าน M2M โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนไม่สูงนัก

31

สรุปการใช้คลื่นความถี่ในแต่ละประเทศ

ประเทศ	ลักษณะโครงการ	เจ้าของโครงการ	Application หลัก	การใช้คลื่นความถี่	ย่านความถี่	เทคโนโลยี	หมายเหตุ
เนเธอร์แลนด์	เชิงพาณิชย์	บริษัท Alliander	ระบบสมาร์ทมิเตอร์	Licensed	450 MHz	CDMA450	เป็นความร่วมมือทางธุรกิจกับผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตใช้คลื่นความถี่
นอร์เวย์	โครงการนำร่อง 3 โครงการ	Norwegian Smart Grid Center (NSGC)	ระบบสมาร์ทมิเตอร์	Unlicensed	433-444 MHz และ 868 MHz	RF Mesh	ผลการทดสอบพบว่าย่านความถี่ 433-444 MHz ทำงานได้ดีกว่าย่านความถี่ 868 MHz
สหรัฐอเมริกา	มีการใช้งานจำนวนมากทั้งเชิงพาณิชย์และโครงการนำร่อง	ผู้ให้บริการไฟฟ้าหลายราย	ระบบ AMI	Licensed และ Unlicensed	นิยมใช้ย่าน 915 MHz	RF Mesh/ Zigbee	ส่วนใหญ่ใช้คลื่นความถี่ Unlicensed เนื่องจากคลื่นความถี่ Licensed มีค่าใช้จ่ายสูง
จีน	โครงการนำร่อง	China Southern Grid (CSG)	ระบบ Distribution Automation	Licensed	1,800 MHz	LTE TDD	ใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปของบริษัท Huawei ดังนั้น CSG จึงไม่ต้องขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ด้วยตนเอง

32

สรุปการใช้คลื่นความถี่ในแต่ละประเทศ

ประเทศ	ลักษณะโครงการ	เจ้าของโครงการ	Application หลัก	การใช้คลื่นความถี่	ย่านความถี่	เทคโนโลยี	หมายเหตุ
เวียดนาม	โครงการนำร่อง 3 โครงการ	1) EVNNPC 2) EVNHCMC 3) EVNCPC	ระบบ AMR และ Smart City	Unlicensed	Smart City - 2.4/5 GHz ระบบ AMR - 400 MHz	Smart City - WiFi ระบบ AMR - RF Mesh	- โครงการ Smart City ใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปของบริษัท Trilliant - โครงการ AMR ของ EVNNPC ถือว่าไม่ประสบความสำเร็จ
เกาหลีใต้	โครงการทดสอบที่เกาะเชจู	ความร่วมมือจากทั้งภาครัฐและภาคเอกชน	มีการทดสอบหลาย Application โดยที่การใช้คลื่นความถี่จะอยู่ที่ระบบ AMI เป็นหลัก	Unlicensed	2.4 GHz	Zigbee Mesh	การทดสอบในโครงการยังรวมถึงการเชื่อมต่อสมาร์ทมิเตอร์โดยตรงผ่านระบบ WCDMA และ WiBro
สิงคโปร์	โครงการนำร่องที่ SUTD	Singapore University of Technology and Design (SUTD)	การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร	Unlicensed	630-742 MHz	TV White Space (TVWS)	TVWS ยังไม่มีการกำกับดูแลในสิงคโปร์ จึงสามารถใช้งานได้ หากไม่ก่อให้เกิดการรบกวนกับสัญญาณโทรทัศน์

33

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ในต่างประเทศ (ต่อ)

- การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิคของการใช้คลื่นความถี่ในย่านต่าง ๆ
- การใช้ย่านความถี่ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
- ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางเทคนิค ของการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่าง ๆ

35

1. การเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับ Unlicensed

เทคโนโลยีที่นำมาพิจารณาในการเปรียบเทียบ

คลื่นความถี่แบบ Licensed

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

คลื่นความถี่แบบ Unicensed

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

36

1. การเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับ Unlicensed

พารามิเตอร์	คลื่นความถี่แบบ Licensed	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
ความเชื่อถือได้ (Reliability)	ความเชื่อถือได้สูงมาก เนื่องจากเป็นคลื่นความถี่เฉพาะสำหรับผู้ได้รับใบอนุญาต จึงช่วยให้สามารถใช้งานระบบสมาร์ทกริดได้อย่างราบรื่น ปราศจากปัญหาการรบกวนหรือการชนกันของคลื่นความถี่	• ผู้ใช้งานทุกคนสามารถใช้คลื่นความถี่ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย จึงดึงดูดความสนใจจากผู้ผลิตอุปกรณ์จำนวนมาก • ไม่ได้รับการปกป้องการใช้งานจากการกำกับดูแล จึงอาจเกิดผลกระทบในสภาพแวดล้อมที่มีการรบกวนสูงกับโครงข่ายอื่น ๆ
ความพร้อมใช้งาน (Availability)	ความพร้อมใช้งานสูงมาก เนื่องจากใช้งานได้เฉพาะผู้ได้รับใบอนุญาตเท่านั้น	อาจเกิดปัญหาด้านความพร้อมใช้งานในบางช่วงเวลา
ความหน่วงของสัญญาณ (Latency)	• มีค่า Latency ต่ำ และสามารถวัดค่าได้ • เหมาะสมสำหรับ Application สำคัญที่มีการสื่อสารข้อมูลแบบ Real time • ช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นสำหรับ Application ที่ต้องการความเร็วข้อมูลสูง เช่น Demand Response, Distribution Automation, AMI	• เนื่องจากถูกจำกัดกำลังส่ง จึงจำเป็นต้องสร้างโครงข่ายแบบ Mesh หรือ Multi-hop ส่งผลให้เพิ่มกระบวนการในการประมวลผลสำหรับการสื่อสารในแต่ละ Hop • ดังนั้น Latency อาจมีค่าสูง และมีความผันผวนที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ขึ้นอยู่กับจำนวน Hop ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ และระดับของสัญญาณรบกวน

37

1. การเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับ Unlicensed

พารามิเตอร์	คลื่นความถี่แบบ Licensed	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
แบนด์วิดท์	• ได้รับการรับประกันแบนด์วิดท์ ทำให้สามารถวางแผนและบริหารจัดการการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ • มีค่าใช้จ่ายสูงในการขอใช้คลื่นความถี่ และอาจมีข้อจำกัดด้านขนาดแบนด์วิดท์ที่ได้รับ จึงอาจต้องพิจารณาใช้สำหรับ Application ที่มีความสำคัญสูงเท่านั้น • จำกัดการใช้งานเฉพาะช่องสัญญาณที่ได้รับอนุญาต	• สามารถใช้งานช่องสัญญาณได้อย่างอิสระ • เนื่องจากเป็นโครงข่ายแบบ Mesh ซึ่งการสื่อสารในแต่ละ Hop จำเป็นต้องใช้คลื่นความถี่ทุกครั้ง ทำให้เป็นการเพิ่มการใช้งานแบนด์วิดท์ • โครงข่ายแบบ Mesh ที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed จึงจำเป็นต้องจำกัดจำนวน Hop สูงสุดของโครงข่ายให้เหมาะสม
พื้นที่ครอบคลุม	สามารถส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูง ทำให้รองรับระยะสื่อสารได้ไกล	ระยะสื่อสารจำกัด เนื่องจากถูกจำกัดกำลังส่ง

38

1. การเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับ Unlicensed

พารามิเตอร์	คลื่นความถี่แบบ Licensed	คลื่นความถี่แบบ Unlicensed
การลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน	• สถานีฐานหรืออุปกรณ์สื่อสารระหว่างแต่ละจุดปลายทาง สามารถสื่อสารกันได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ทวนสัญญาณ • ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน รวมทั้งค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมในระยะยาว	• ต้องมีโนดระหว่างกลางจำนวนมากเพื่อทวนสัญญาณหรือส่งต่อสัญญาณ ซึ่งจะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษา • กรณีที่จุดปลายทางมีระยะทางห่างกันมาก หรือกรณีระบบสมาร์ทกริดมีขนาดใหญ่มาก โครงข่ายแบบ Mesh อาจไม่ใช่ทางเลือกที่คุ้มค่าในด้านค่าใช้จ่าย
ความปลอดภัย (Security)	• มีความปลอดภัยสูงในชั้น Physical Layer • อย่างไรก็ตาม ยังต้องการการรักษาความปลอดภัยในชั้นอื่น ๆ ที่เหมาะสมเพียงพอ	• ไม่มีสามารถรับประกันระดับความปลอดภัยได้เทียบเท่ากับ Private Network • อาจต้องใช้ความพยายามมากกว่าเป็นเท่าตัวในการรักษาความปลอดภัยให้เทียบเท่ากรณีใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed
คุณภาพของสัญญาณ	รับประกันค่า SNR ที่สูง เนื่องจากเป็นการใช้คลื่นความถี่เฉพาะ และสามารถส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงได้	• ขึ้นอยู่กับสภาพปัจจุบันในแต่ละขณะ เนื่องจากมีโอกาสเกิดการรบกวนกับผู้อื่น • ถูกจำกัดกำลังส่ง จึงอาจมีค่า SNR ไม่ดีนัก

39

1. การเปรียบเทียบคลื่นความถี่แบบ Licensed กับ Unlicensed

บางเอกสารให้ข้อพิจารณาในอีกมุมมอง เช่น

- ปัจจุบันมีหลายเทคโนโลยีที่ช่วยลดปัญหาการรบกวนของสัญญาณ เช่น FHSS และเนื่องจากคลื่นความถี่แบบ Unlicensed มีย่านความถี่ใช้งานที่กว้าง จึงสามารถใช้เทคนิค FHSS ในการสลับช่องสัญญาณ เพื่อลดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณได้
- ในทางกลับกัน คลื่นความถี่แบบ Licensed ซึ่งใช้ย่านความถี่ที่ถูกกำหนดไว้เฉพาะ อาจมีความเสี่ยงต่อการถูกรบกวนหรือโจมตีสูงกว่าย่านความถี่แบบ Unlicensed
- นอกจากนี้ แม้ว่าการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะช่วยลดจำนวนสถานีฐานหรืออุปกรณ์ทวนสัญญาณ แต่สถานีฐานที่รองรับกำลังส่งได้สูงก็มีราคาสูง และเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการขอใช้คลื่นความถี่ด้วยแล้ว ค่าใช้จ่ายทั้งในกรณีใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed และ Unlicensed ถือว่าไม่แตกต่างกันมากนัก

40

2. การเปรียบเทียบการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน

การสูญเสียตามเส้นทาง (Path Loss)

- โดยปกติแล้ว Path Loss มีค่าแปรผันตรงกับความถี่ที่ใช้ในการส่งคลื่นวิทยุ กล่าวคือ การส่งสัญญาณวิทยุโดยใช้ความถี่สูงจะทำให้สัญญาณเกิด Path Loss (หรือ Attenuation) มากกว่าการใช้คลื่นความถี่ต่ำ
- ดังนั้น หากส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งเท่ากัน การใช้ความถี่ต่ำจะมีระยะทางสื่อสารได้ไกลกว่า
- จึงเป็นเหตุผลที่ระบบสมาร์ทกริดในต่างประเทศ มักเลือกใช้ย่านความถี่ 400-450 MHz (หรือ 868 MHz และ 915 MHz ในบางประเทศ) เนื่องจากย่านความถี่ต่ำมีระยะทางสื่อสารที่ไกลกว่า ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสาร

41

2. การเปรียบเทียบการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน

การสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง (Penetration Loss)

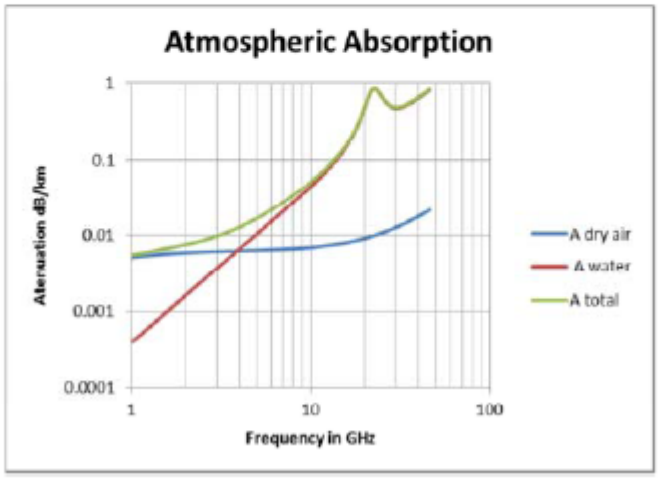
- เมื่อคลื่นวิทยุกระทบกับผนังหรือสิ่งกีดขวาง บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ ขณะที่บางส่วนสามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางไปได้ แต่จะเกิดการลดทอนของสัญญาณ เรียกว่า Penetration Loss
- ปริมาณ Penetration Loss ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณ เช่น เมื่อเปรียบเทียบการทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางเดียวกัน สัญญาณความถี่ต่ำจะมี Penetration Loss ต่ำกว่าสัญญาณความถี่สูง จึงอาจกล่าวได้ว่าสัญญาณความถี่ต่ำสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดีกว่า
- การสื่อสารในระบบสมาร์ทกริด โดยเฉพาะระบบ AMI ที่ต้องมีการสื่อสารกับสมาร์ทมิเตอร์ซึ่งส่วนใหญ่ติดตั้งอยู่ภายในบ้าน/อาคาร การใช้ย่านความถี่ต่ำจึงมีความเหมาะสมมากกว่า
- เมื่อพิจารณาร่วมกับการที่ย่านความถี่ต่ำมี Path Loss ที่ต่ำกว่า จึงทำให้การใช้ย่านความถี่ต่ำสามารถรองรับระยะทางสื่อสารได้ไกลกว่าย่านความถี่สูงอย่างชัดเจน

42

2. การเปรียบเทียบการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน

การดูดกลืนในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Absorption)

- เมื่อพิจารณาย่านความถี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานในโครงข่าย NAN/FAN/WAN (ต่ำกว่า 6 GHz) ที่สภาวะแวดล้อมบนพื้นผิวโลก พบว่าการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศไม่ส่งผลกระทบแบบมีนัยสำคัญต่อค่า Path Loss (หรือ Attenuation)



43

2. การเปรียบเทียบการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่ที่ต่างกัน

สัญญาณรบกวน (Noise)

- Noise มาจากหลายแหล่ง และล้วนแต่มีพฤติกรรมแบบสุ่ม โดยจะมีกำลังสม่ำเสมอ (Uniform) ตลอดทุกย่านความถี่ คุณลักษณะเช่นนี้ทำให้ Noise มักถูกจำลองในรูปของสัญญาณ Additive White Gaussian Noise
- ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า Noise ตามธรรมชาติ มีกำลังสม่ำเสมอตลอดทุกย่านความถี่ ประเด็นด้าน Noise จึงไม่มีผลกระทบต่อการพิจารณาเลือกย่านความถี่สำหรับการใช้งานในระบบสมาร์ทกริด

การรบกวนจากสัญญาณอื่น (Interference)

- Interference มักจะเกิดในกรณีที่ใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed เช่น ย่านความถี่ ISM
- ย่านความถี่ 2.4 GHz พบปัญหาการรบกวนมากที่สุด เนื่องจากเป็นย่านความถี่สาธารณะ ซึ่งมีหลายเทคโนโลยีที่ทำงานในย่านความถี่นี้ เช่น WiFi Zigbee และ Bluetooth
- ย่านความถี่ 868 MHz และ 915 MHz มีโอกาสที่จะเกิดปัญหาการรบกวนในอนาคต โดยเฉพาะการใช้เป็นโครงข่ายสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ (M2M) และ Internet of things (IoT)

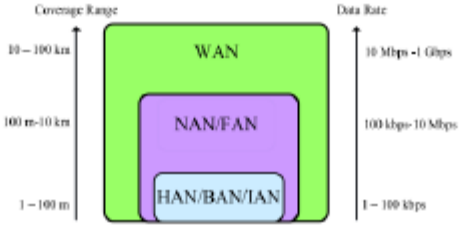
44

การใช้ย่านความถี่ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของ Application ต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

45

1. โครงสร้างของระบบสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด

- โครงข่ายสื่อสารสำหรับสมาร์ทกริด แบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ โครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (HAN/BAN/IAN) โครงข่าย NAN/FAN และโครงข่าย WAN



- นอกจากนี้ ยังมีบาง Application ที่เป็นการสื่อสารภายในโครงข่ายของการไฟฟ้า (Utility Network) เช่น Substation Automation
- Application ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดสามารถจำแนกให้สอดคล้องกับโครงสร้างของระบบสื่อสารข้างต้นได้ตามลักษณะการสื่อสารของแต่ละ Application
- การเลือกใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายและคลื่นความถี่ให้เหมาะสมนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงความต้องการด้านระบบสื่อสารของแต่ละ Application

46

2. Application ในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (HAN/BAN/IAN)

- ตัวอย่างเช่น ระบบอัตโนมัติหรือระบบจัดการพลังงานในบ้านและอาคาร ซึ่งเป็นการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้ากับตัวควบคุมภายในบ้านหรืออาคาร
- โดยทั่วไป Application เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องมีการรับ-ส่งข้อมูลบ่อยครั้ง และการทำงานทั้งหมดเกิดขึ้นภายในพื้นที่บ้าน อาคาร หรือโรงงานเท่านั้น
- ความต้องการด้านระบบสื่อสารจะมุ่งเน้นที่การใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก เรียบง่าย และมีความปลอดภัยในการสื่อสาร ซึ่งเทคโนโลยีที่สามารถรองรับอัตราข้อมูล 100 kbps และระยะสื่อสารสูงสุด 100 เมตร ถือว่าเพียงพอต่อการใช้งานแล้ว
- ตัวอย่างเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้งานสำหรับ Application ในโครงข่าย HAN/BAN/IAN เช่น ZigBee, WiFi, Z-Wave และ Bluetooth

47

2. Application ในโครงข่ายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า (HAN/BAN/IAN)

ตัวอย่างความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในโครงข่าย HAN/BAN/IAN

Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม	
					แบบมีสาย	แบบไร้สาย
Home Automation	10-100	ตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น ทุกๆ 1 นาที หรือ 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

48

3. Application ในโครงข่าย NAN/FAN

- ตัวอย่างเช่น ระบบสมาร์ทมิเตอร์, Demand Response และ Distribution Automation
- โครงข่ายสื่อสารสำหรับ Application เหล่านี้ต้องรองรับการรับ-ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมาก ไปยังอุปกรณ์ Data Concentrator หรือสถานีไฟฟ้า
- ดังนั้น Application เหล่านี้จึงต้องการเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงขึ้น (100 kbps - 10 Mbps) และมีระยะครอบคลุมที่ไกลขึ้น (100 เมตร - 10 กิโลเมตร)
- ตัวอย่างเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้งานสำหรับ Application ในโครงข่าย NAN/FAN เช่น ZigBee Mesh, WiFi Mesh, WiMax และโครงข่ายเซลลูลาร์

49

3. Application ในโครงข่าย NAN/FAN

ตัวอย่างความต้องการด้านระบบสื่อสารของ Application ในโครงข่าย NAN

ที่	Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม
1a	การอ่านมิเตอร์แบบ On-demand (จากมิเตอร์ไปยังการไฟฟ้า)	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 ไปยังการไฟฟ้า)	MB	ตามที่ต้องการ (เช่น x ครั้งต่อวัน สำหรับมิเตอร์ 1 กลุ่ม)	<1 ชั่วโมง	>99.5	
2a	อัตรา TOU (จากการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	100	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าไฟฟ้า เช่น • 4 ครั้ง ต่อปี กรณี TOU • 6 ครั้ง ต่อวัน กรณี RTP • 2 ครั้ง ต่อปี กรณี CPP	<1 นาที	>98	
2b	อัตรา RTP (จากการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	100		<1 นาที	>98	
2c	อัตรา CPP (จากการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	100		<1 นาที	>98	
3	Prepayment (จากการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	50-150	25 ครั้งต่อเดือน สำหรับทุกมิเตอร์ที่ใช้บริการ repayment	<30 วินาที	>98	
4	Demand Response (DLC จากการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้า)	100	1 ครั้งต่ออุปกรณ์ สำหรับทุก ๆ การสั่งการ Demand Response	<1 นาที	>99.5	

50

3. Application ในโครงข่าย NAN/FAN

ที่	Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม
5	การอ่าน/ต่อ มิเตอร์ (จากการไฟฟ้าไปยังมิเตอร์)	25	ตามที่ต้องการ (เช่น 1-2 ครั้ง ต่อ 1000 มิเตอร์)	<1 นาที	>98	แบบมีสาย: - PLC - Coaxial Cable - DSL - Ethernet แบบไร้สาย: - Zigbee Mesh - WiFi Mesh - WiMAX - Wireless Mesh - Cellular
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)		ตามความจำเป็น โดยมีตัวอย่างการรับ-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	

51

3. Application ในโครงข่าย NAN/FAN

ที่	Application	ขนาดข้อมูล (byte)	ตัวอย่างความถี่ของการรับ-ส่งข้อมูล	Latency	Reliability (%)	เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสม
8	ระบบกักเก็บพลังงานในระบบจำหน่าย (จาก DAC ไปยังอุปกรณ์)	25	2-6 ครั้ง/1 การเรียกใช้/วัน	<5 วินาที	>99.5	แบบมีสาย: - PLC - Coaxial Cable - DSL - Ethernet แบบไร้สาย: - Zigbee Mesh - WiFi Mesh - WiMAX - Wireless Mesh - Cellular
9a	EV ข้อมูลค่าไฟฟ้า (จากการไฟฟ้าไปยังยานยนต์ไฟฟ้า)	255	1 ครั้ง/EV 1 คัน/ 2 4 วัน	<15 วินาที	>98	
9b	EV - ข้อมูลสถานะแบตเตอรี่ (จากยานยนต์ไฟฟ้าไปยังการไฟฟ้า)	100	2-4 ครั้ง/EV 1 คัน/วัน	<15 วินาที	>98	
10a	การอัปเดตเฟิร์มแวร์(จากการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์)	400k - 2000k	1 ครั้ง/อุปกรณ์ สำหรับทุกการอัปเดตเฟิร์มแวร์ (Broadcast)	<2 นาที จนถึง 7 วัน	>98	
10b	การตั้งค่าโปรแกรม (จากการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์)	25k - 50k	1 ครั้ง/ อุปกรณ์ สำหรับทุกการตั้งค่าโปรแกรม (Broadcast)	<5 นาที จนถึง 3 วัน	>98	
11a	การส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า (คำร้องขอจากผู้ใช้ไฟฟ้าไปยังการไฟฟ้า)	50	ตามที่ต้องการ	<15 วินาที	>99	

52

4. Application ในโครงข่าย WAN

- ตัวอย่างเช่น ระบบ Wide-area Control, Monitoring and Protection ซึ่งมีการรับ-ส่งข้อมูลจำนวนมากแบบ Real Time เพื่อให้สามารถควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้
- Application ดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่สนับสนุนอัตราข้อมูลที่สูงมาก (10 Mbps - 1 Gbps) และมีระยะสื่อสารที่ไกลมาก (10 - 100 กิโลเมตร)
- Application เหล่านี้ยังเกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบไฟฟ้าจึงต้องการความเชื่อถือได้สูงมาก โดยทั่วไปการด้านไฟฟ้ามักเลือกใช้โครงข่าย Optical Fiber สำหรับ Application เหล่านี้

53

4. Application ในโครงข่าย WAN

ตัวอย่างความต้องการด้านระบบสื่อสารของ 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	แบบมีสาย: Optical Fiber แบบไร้สาย: • WiMAX • Cellular
Wire Area Control (WAC) • การควบคุมเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า • การควบคุม HVDC และ FACTS • การควบคุม Cascading Failure • การควบคุมเสถียรภาพ ชั่วขณะแบบ Precalculation • การควบคุมเสถียรภาพ ชั่วขณะแบบ Closed-loop • การควบคุม Damping	4-157	 ทุก 0.5-5 วินาที ทุก 30 วินาที-2 นาที ทุก 0.5-5 วินาที ทุก 30 วินาที-2 นาที ทุก 0.02-0.1 วินาที ทุก 0.1 วินาที	 <5 วินาที <2 นาที <5 วินาที <2 นาที <0.1 วินาที <0.1 วินาที	>99.9	
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	

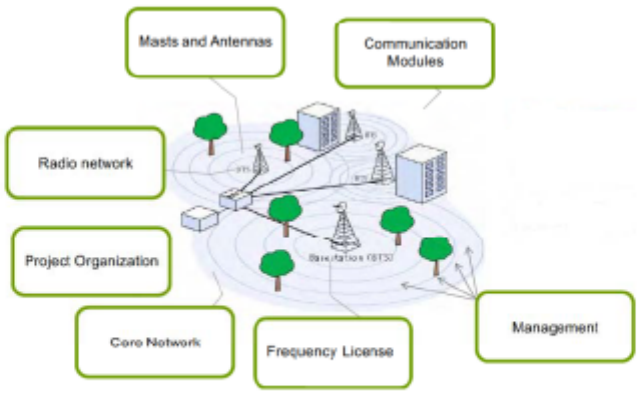
54

ต้นทุนการลงทุนของระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด จากการใช้คลื่นความถี่ต่างกัน

55

การศึกษา Total Cost of Ownership

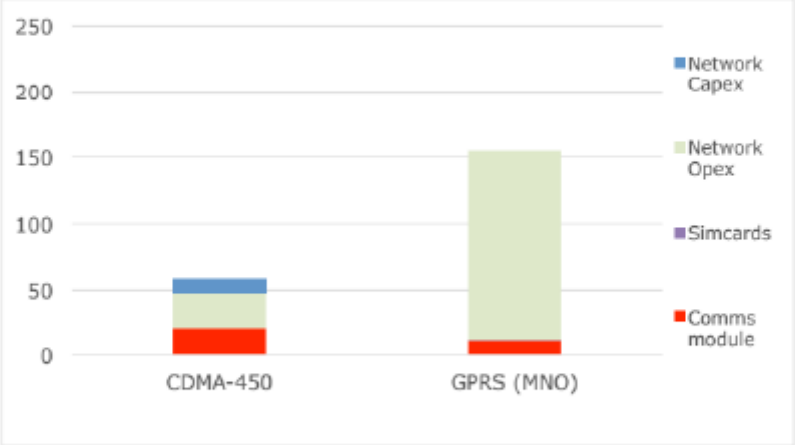
- การเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนจะพิจารณาจาก Total Cost of Ownership ซึ่งเป็นต้นทุนที่รวมค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้ระบบหรือเทคโนโลยีดังกล่าวภายใต้สมมติฐานระยะเวลาการใช้งานที่กำหนด
- ระบบสื่อสารไร้สายประกอบด้วยหลายองค์ประกอบหลักซึ่งต้องนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ Total Cost of Ownership ดังนี้



56

การศึกษา Total Cost of Ownership

กรณีศึกษาที่ 1: เปรียบเทียบระหว่าง GSM/GRPS900 กับ CDMA450 (ระยะเวลา 15 ปี)

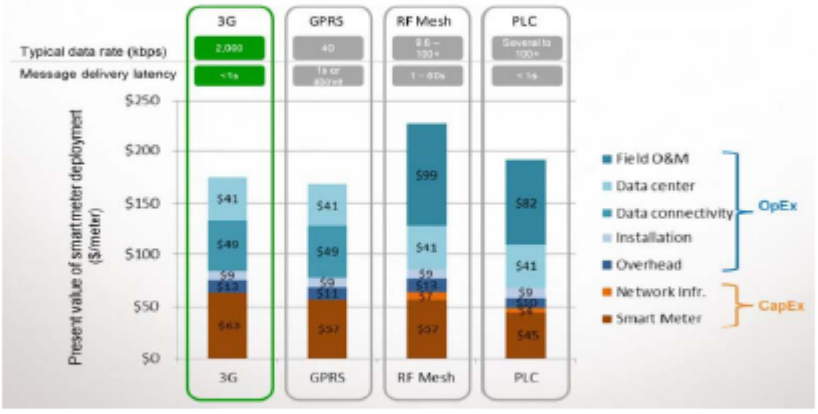


- CDMA450 มี Total Cost of Ownership ประมาณ 52 EUR ต่อ 1 จุดเชื่อมต่อ
- GPRS900 มี Total Cost of Ownership ประมาณ 144 EUR ต่อ 1 จุดเชื่อมต่อ

57

การศึกษา Total Cost of Ownership

กรณีศึกษาที่ 2: เปรียบเทียบระหว่าง 3G / GPRS / RF Mesh / PLC (ระยะเวลา 25 ปี)



สรุป Total Cost of Ownership ของการติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์ 1 เครื่อง ในกรณีศึกษาที่ 2

- 3G: 175 USD
- GPRS: 167 USD
- RF Mesh (900 MHz): 226 USD
- PLC: 191 USD

58

สรุปผลการศึกษา

กรณีใช้โครงข่ายเซลลูลาร์

- ผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ Total Cost of Ownership กรณีใช้โครงข่ายเซลลูลาร์จะมีความแตกต่างกันมากสำหรับกรณีศึกษาในแต่ละประเทศ อันเป็นผลมาจากบริบทที่แตกต่างกันของแต่ละประเทศ โดยเฉพาะค่าบริการที่ผู้ให้บริการเรียกเก็บ
- การวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ การไฟฟ้าจึงต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมในลักษณะเป็นแต่ละกรณีไป โดยมีการหารือข้อตกลงและรูปแบบทางธุรกิจร่วมกับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เจ้าของโครงข่าย
- อย่างไรก็ตาม การพัฒนาโครงข่ายของตนเองน่าจะมีความเหมาะสมมากกว่าในระยะยาว เมื่อพิจารณาในแง่ของความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและความสามารถในการบริหารจัดการ

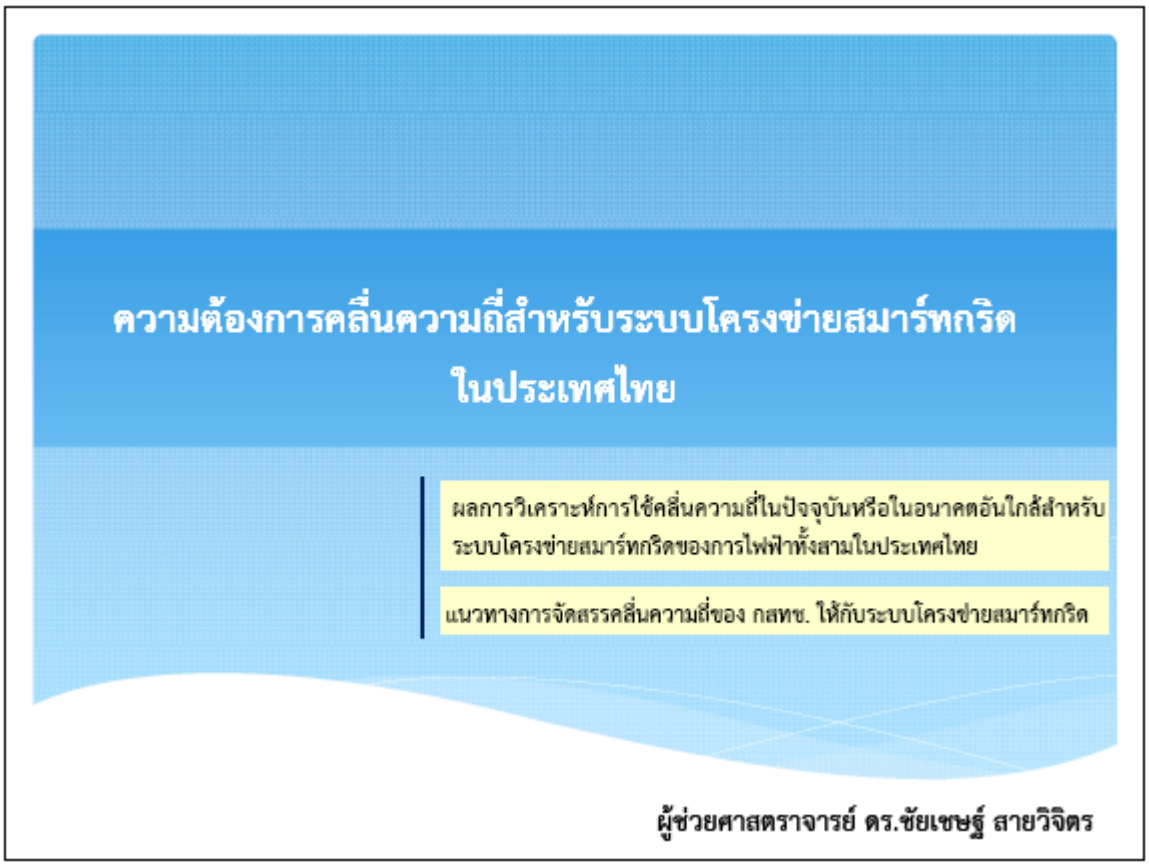
59

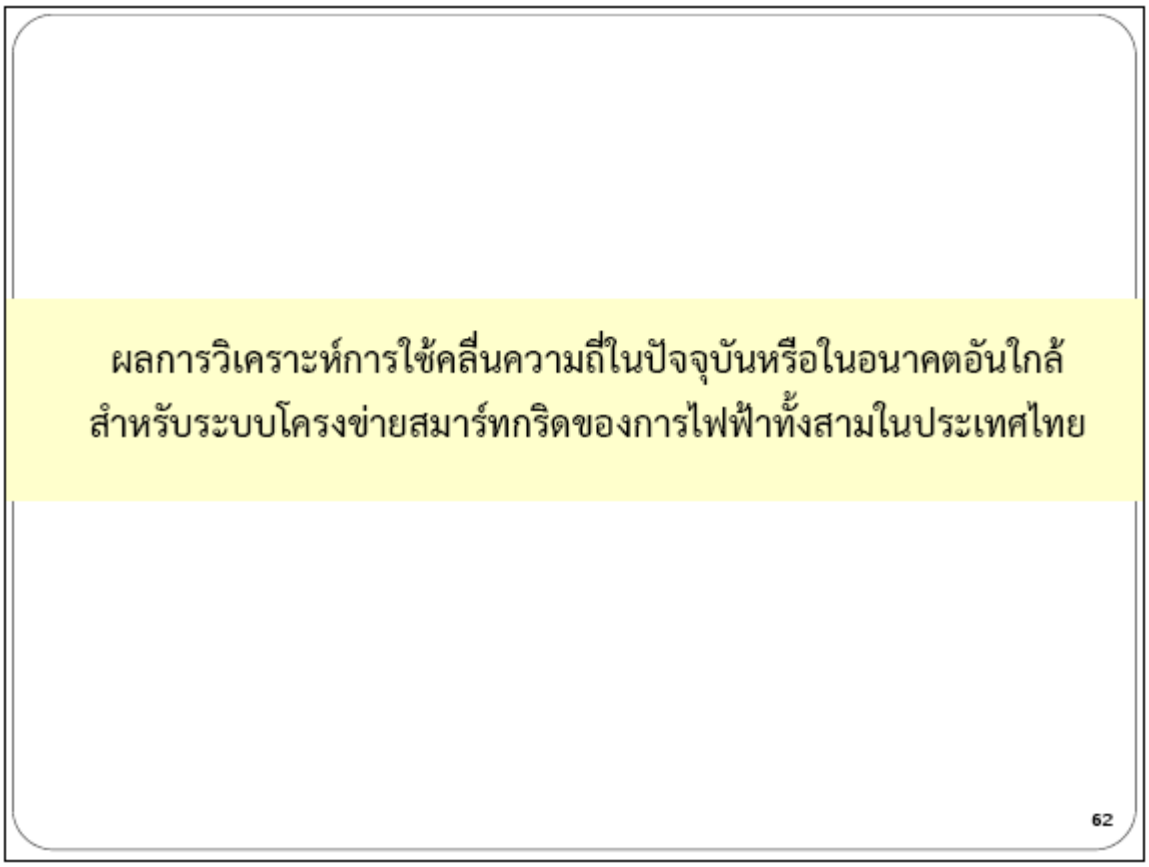
สรุปผลการศึกษา

กรณีพัฒนาโครงข่ายของตนเอง

- ผลการศึกษาพบว่าการใช้ CDMA450 (Licensed) มี Total Cost of Ownership ต่ำกว่าโครงข่าย RF Mesh 900 MHz (Unlicensed)
- ถึงแม้ว่า CDMA450 มีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่า แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่า เนื่องจากมีจำนวนอุปกรณ์สื่อสารที่น้อยกว่ามาก เนื่องจากการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ทำให้สามารถส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูง อีกทั้งความถี่ 450 MHz มีผลกระทบจาก Path Loss ต่ำกว่าความถี่ 900 MHz ดังนั้น สถานีฐานของ CDMA450 จึงครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่ามาก
- กรณีศึกษาดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบการพัฒนาโครงข่าย RF Mesh บนย่านความถี่อื่น ๆ ได้ กล่าวคือ ย่านความถี่ต่ำมีแนวโน้มที่จะมี Total Cost of Ownership ต่ำกว่า เนื่องจากคลื่นวิทยุความถี่ต่ำมีระยะสื่อสารไกลกว่า จึงช่วยลดความจำเป็นในการติดตั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณหรือทวนสัญญาณ

60


ความต้องการคลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
ในประเทศไทย
ผลการวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้งสามในประเทศไทย
แนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่ของ กสทช. ให้กับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร


ผลการวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้
สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของการไฟฟ้าทั้งสามในประเทศไทย
62

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้

- กฟผ. มีแผนดำเนินโครงการนำร่องสมาร์ทกริดในพื้นที่ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน เพื่อแก้ไขปัญหาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าว
- โครงการนี้จึงมุ่งเน้น Application ด้านการบริหารจัดการและการควบคุมระบบไฟฟ้า กฟผ. จึงเลือกใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายเป็นหลัก เช่น LAN, วงจรเช่า IP/MPLS และวงจรเช่า FTTx
- การใช้งานระบบสื่อสารไร้สายในโครงการนี้ เป็นการใช้โครงข่ายเซลลูลาร์เพื่อรองรับการส่งข้อมูลการใช้งานสถานีอัดประจุไฟฟ้าเท่านั้น
- นอกจากนี้ กฟผ. ยังมีการใช้งานระบบสื่อสารสำหรับ Application ด้านสมาร์ทกริดอื่น ๆ เช่น ระบบสื่อสารกับ SPP/VSPP, Substation Automation และ Wide Area Monitoring System (WAMS) ซึ่งเป็นการใช้ระบบสื่อสารแบบมีสายทั้งหมด จึงไม่มีการใช้คลื่นความถี่

63

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

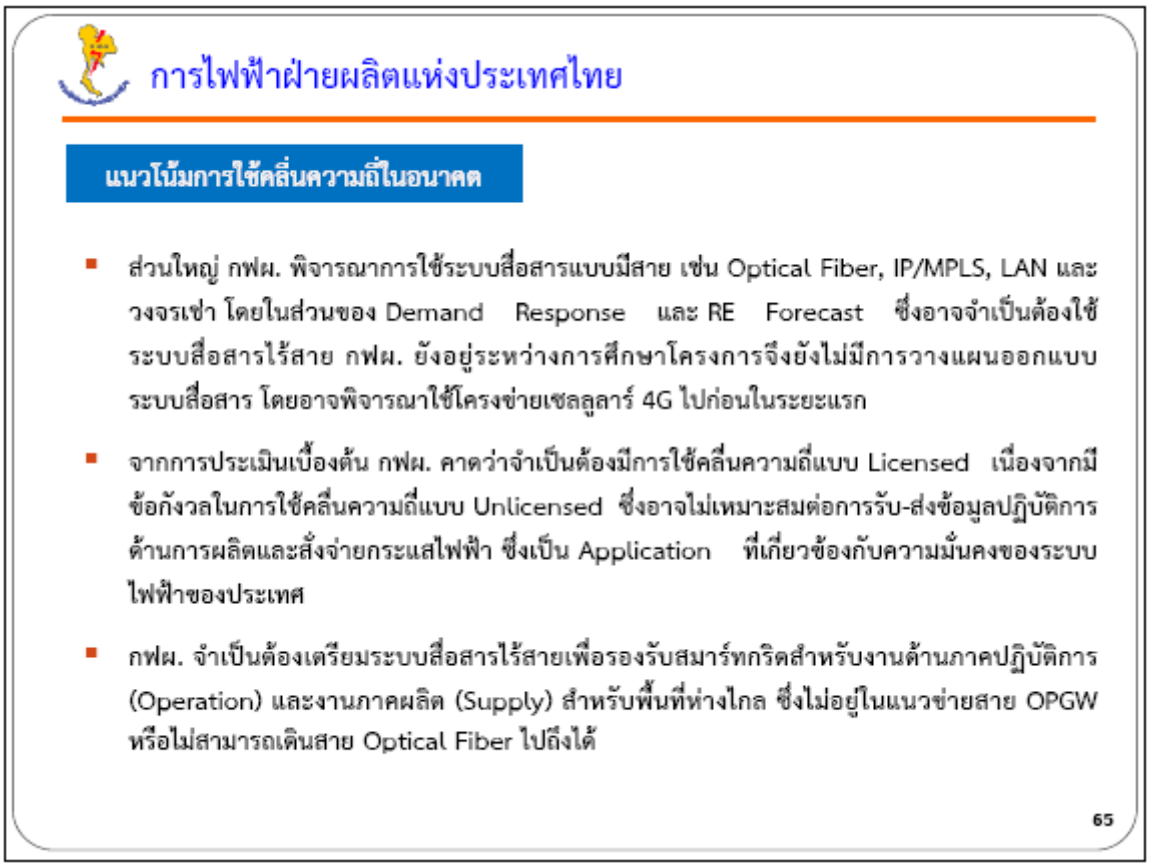
โครงการนำร่องที่ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน

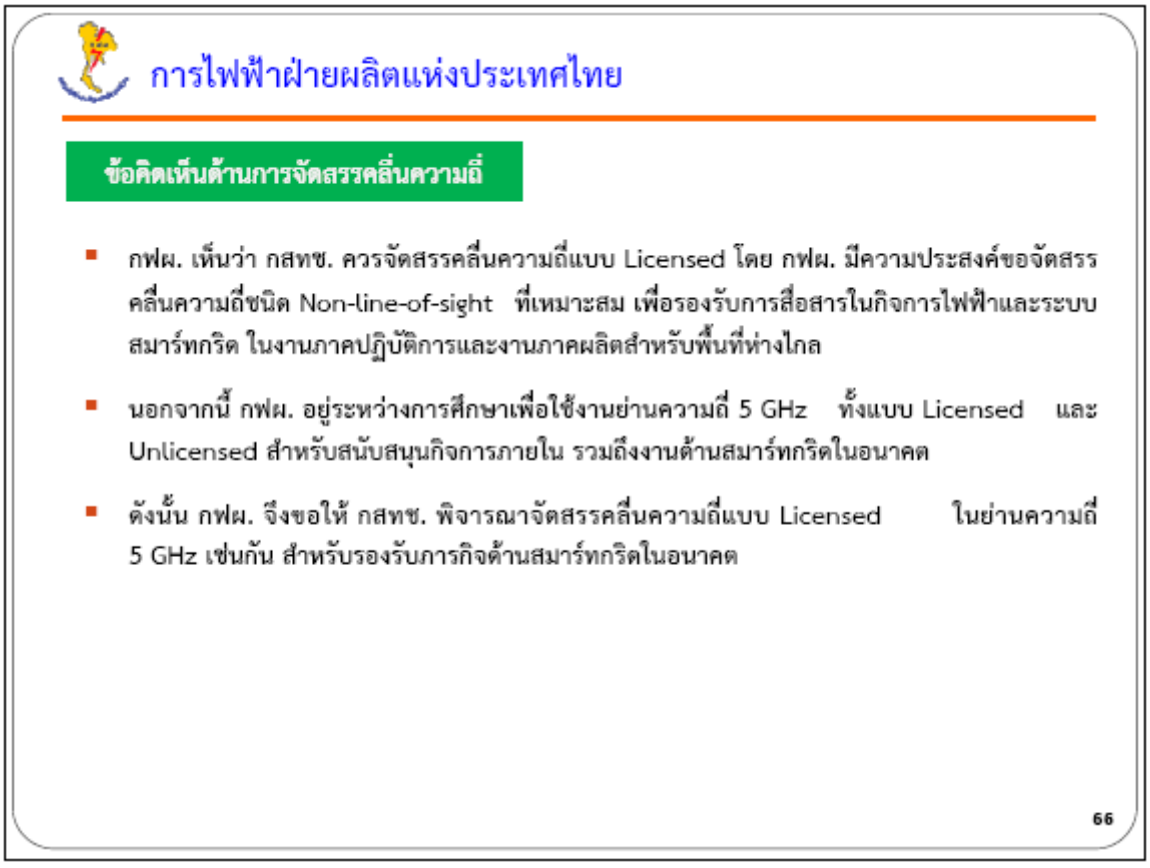
Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ปริมาณแบนด์วิดท์ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
Smart Energy		
สถานีแสงอาทิตย์แบบหน้าแปลนแบบบนหลังคา	โครงข่าย LAN และวงจรเช่า MPLS	-
ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยแสงอาทิตย์	โครงข่าย LAN วงจรเช่า MPLS และวงจรเช่า DDN	-
โรงไฟฟ้าชีวมวล	-	-
เครื่องทำน้ำมันไบโอดีเซล	LAN และ วงจรเช่า MPLS	-
Smart System		
ระบบการจัดการพลังงานขนาดเล็ก (Micro EMS)	วงจรเช่า MPLS	-
การบูรณาการระบบสื่อสารและสารสนเทศ	LAN และ IP/MPLS	-
ระบบทดสอบการทำงานของ Micro-EMS จากระยะไกล (Test bed at CU)	วงจรเช่า FTTX	-
Smart City		
ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (Smart Billboard)	วงจรเช่า MPLS	-
ระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (BEMS)	วงจรเช่า MPLS และวงจรเช่า FTTX	-
ระบบอัดไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า	โครงข่ายเซลลูลาร์ 4G	ความต้องการของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
ระบบ Smart Streetlight	วงจรเช่า FTTX	-
Smart Learning		
Smart Learning Center	-	-

ระบบสมาร์ทกริดอื่น ๆ ในปัจจุบัน

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

64


การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต
ส่วนใหญ่ กฟผ. พิจารณาการใช้ระบบสื่อสารแบบมีสาย เช่น Optical Fiber, IP/MPLS, LAN และวงจรเช่า โดยในส่วนของ Demand Response และ RE Forecast ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารไร้สาย กฟผ. ยังอยู่ระหว่างการศึกษาโครงการจึงยังไม่มีการวางแผนออกแบบระบบสื่อสาร โดยอาจพิจารณาใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ 4G ไปก่อนในระยะแรก
จากการประเมินเบื้องต้น กฟผ. คาดว่าจำเป็นต้องมีการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เนื่องจากมีข้อกังวลในการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่งอาจไม่เหมาะสมต่อการรับ-ส่งข้อมูลปฏิบัติการด้านการผลิตและสั่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็น Application ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศ
กฟผ. จำเป็นต้องเตรียมระบบสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับสมาร์ทกริดสำหรับงานด้านภาคปฏิบัติการ (Operation) และงานภาคผลิต (Supply) สำหรับพื้นที่ห่างไกล ซึ่งไม่อยู่ในแนวข่ายสาย OPGW หรือไม่สามารถเดินสาย Optical Fiber ไปถึงได้
65


การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ข้อคิดเห็นด้านการจัดสรรคลื่นความถี่
กฟผ. เห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed โดย กฟผ. มีความประสงค์ขอจัดสรรคลื่นความถี่ชนิด Non-line-of-sight ที่เหมาะสม เพื่อรองรับการสื่อสารในกิจการไฟฟ้าและระบบสมาร์ทกริด ในงานภาคปฏิบัติการและงานภาคผลิตสำหรับพื้นที่ห่างไกล
นอกจากนี้ กฟผ. อยู่ระหว่างการศึกษาเพื่อใช้งานย่านความถี่ 5 GHz ทั้งแบบ Licensed และ Unlicensed สำหรับสนับสนุนกิจการภายใน รวมถึงงานด้านสมาร์ทกริดในอนาคต
ดังนั้น กฟผ. จึงขอให้ กสทช. พิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ในย่านความถี่ 5 GHz เช่นกัน สำหรับรองรับภารกิจด้านสมาร์ทกริดในอนาคต
66

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้

- กฟภ. มีแผนจัดทำโครงการนำร่องในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี โดยมีการใช้คลื่นความถี่ ได้แก่ โครงข่าย RF และโครงข่ายเซลลูลาร์ ในกรณีโครงข่าย RF จะพิจารณาย่านความถี่ Unlicensed 2.4 GHz เป็นหลัก แต่ไม่ปิดกั้นการใช้งานย่านความถี่ Unlicensed อื่น ๆ ที่เป็นมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลก
- กฟภ. ยังเปิดโอกาสในการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในกรณีที่บริษัทผู้เสนอราคาเป็นผู้รับผิดชอบการดำเนินการและค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการขอใช้คลื่นความถี่
- นอกจากนี้ กฟภ. ยังมีโครงการพัฒนาระบบ Microgrid ที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน และเกาะกูด/เกาะหมาก จ.ตราด ซึ่งในเบื้องต้นมีแผนใช้โครงข่าย Optical Fiber เป็นระบบสื่อสาร
- ปัจจุบัน กฟภ. มีการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับ Application ระบบสมาร์ทกริดอื่น ๆ เช่น ระบบ AMR สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ทั่วประเทศ ซึ่งใช้งานโครงข่าย GPRS/3G และระบบ SCADA ซึ่งใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed ในย่าน 450-470 MHz และ 470-512 MHz

67

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

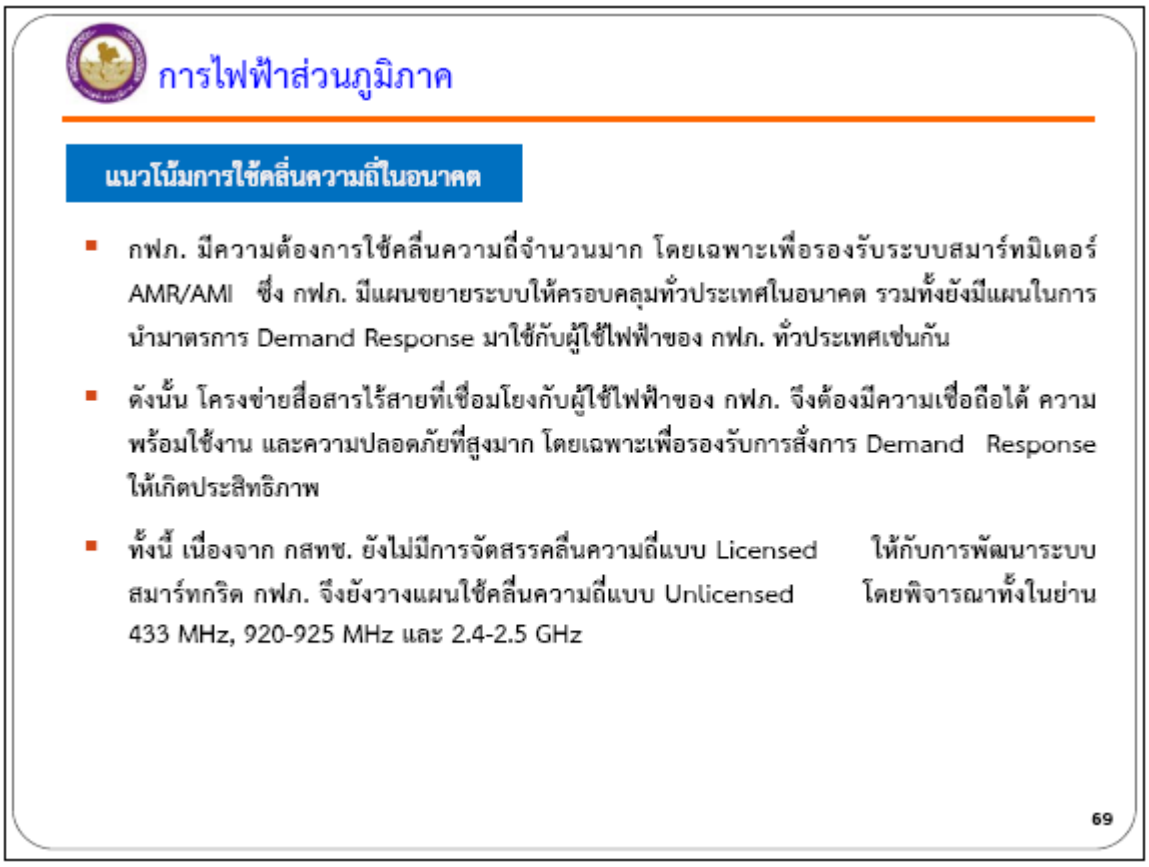
โครงการนำร่องที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี

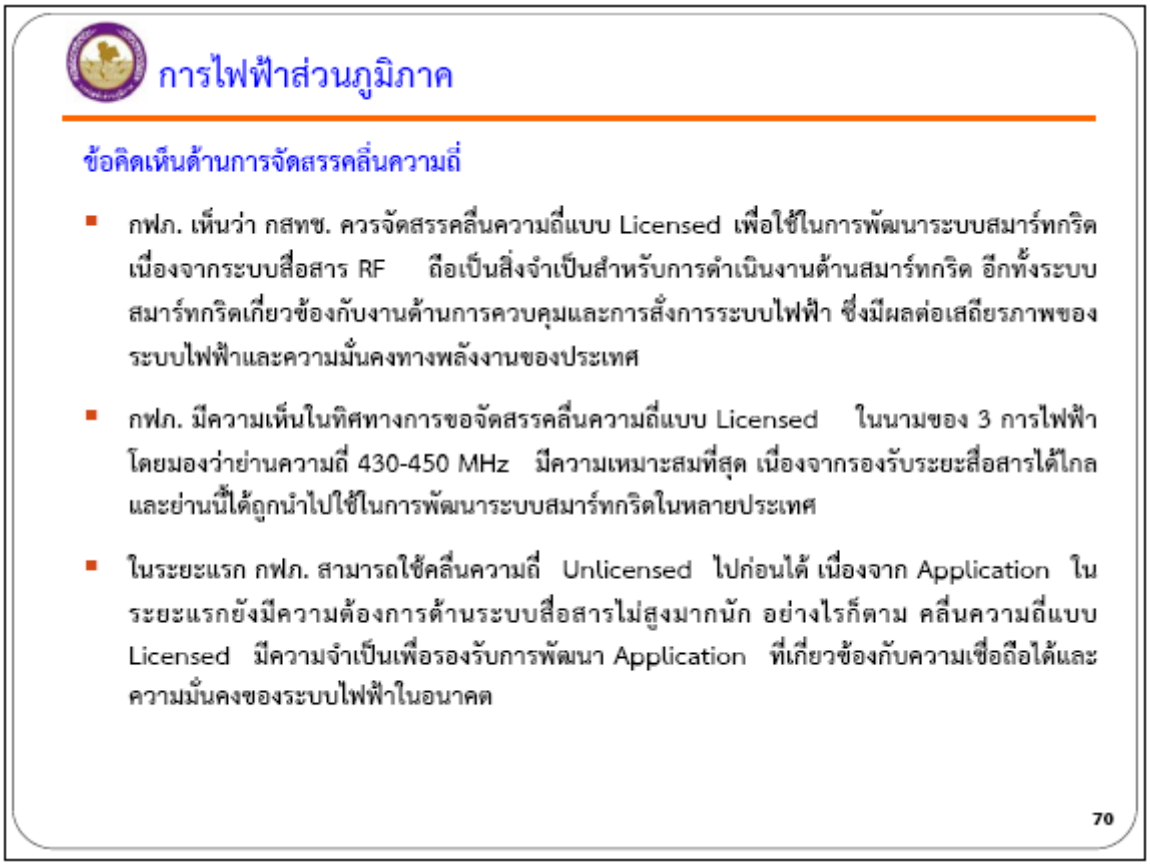
Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบสมาร์ทมิเตอร์ (AMI)	RF, PLC และโครงข่ายเซลลูลาร์ 3G / 4G	• กรณี RF: 433MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.5 GHz และ 5 GHz • ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
ระบบแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องอัจฉริยะ	โครงข่ายเซลลูลาร์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

ระบบสมาร์ทกริดอื่น ๆ ในปัจจุบัน

Application	เทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ใช้	ย่านความถี่ที่ใช้ (กรณีระบบสื่อสารไร้สาย)
ระบบ AMR สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่	โครงข่ายเซลลูลาร์ GPRS / 3G	ย่านความถี่โครงข่ายเซลลูลาร์ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่
SCADA	Optical Fiber และ RF	กรณี RF: 450-470 MHz และ 470-512 MHz (Licensed Band)
Outage Management System (OMS)	Optical Fiber (จาก Server ของ Electric Office (EO) ไปยัง Server ของ กฟภ. สำนักงานใหญ่)	-

68


การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต
กฟภ. มีความต้องการใช้คลื่นความถี่จำนวนมาก โดยเฉพาะเพื่อรองรับระบบสมาร์ทมิเตอร์ AMR/AMI ซึ่ง กฟภ. มีแผนขยายระบบให้ครอบคลุมทั่วประเทศในอนาคต รวมทั้งยังมีแผนในการนำมาตรการ Demand Response มาใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. ทั่วประเทศเช่นกัน
ดังนั้น โครงข่ายสื่อสารไร้สายที่เชื่อมโยงกับผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ. จึงต้องมีความเชื่อถือได้ ความพร้อมใช้งาน และความปลอดภัยที่สูงมาก โดยเฉพาะเพื่อรองรับการสั่งการ Demand Response ให้เกิดประสิทธิภาพ
ทั้งนี้ เนื่องจาก กสทช. ยังไม่มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับการพัฒนาระบบสมาร์ทกริด กฟภ. จึงยังวางแผนใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed โดยพิจารณาทั้งในย่าน 433 MHz, 920-925 MHz และ 2.4-2.5 GHz
69


การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ข้อคิดเห็นด้านการจัดสรรคลื่นความถี่
กฟภ. เห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบสมาร์ทกริด เนื่องจากระบบสื่อสาร RF ถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินงานด้านสมาร์ทกริด อีกทั้งระบบสมาร์ทกริดเกี่ยวข้องกับงานด้านการควบคุมและการสั่งการระบบไฟฟ้า ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าและความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ
กฟภ. มีความเห็นในทิศทางการขอจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ในนามของ 3 การไฟฟ้า โดยมองว่าย่านความถี่ 430-450 MHz มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากรองรับระยะสื่อสารได้ไกล และย่านนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการพัฒนาระบบสมาร์ทกริดในหลายประเทศ
ในระยะแรก กฟภ. สามารถใช้คลื่นความถี่ Unlicensed ไปก่อนได้ เนื่องจาก Application ในระยะแรกยังมีความต้องการด้านระบบสื่อสารไม่สูงมากนัก อย่างไรก็ตาม คลื่นความถี่แบบ Licensed มีความจำเป็นเพื่อรองรับการพัฒนา Application ที่เกี่ยวข้องกับความเชื่อถือได้และความมั่นคงของระบบไฟฟ้าในอนาคต
70

การไฟฟ้านครหลวง

การใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันหรือในอนาคตอันใกล้

- กฟน. มีแผนนำร่องพัฒนาระบบ AMI โดยมีการใช้คลื่นความถี่ ได้แก่ โครงข่าย RF และโครงข่ายเซลลูลาร์ ในกรณีโครงข่าย RF เป็นการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ซึ่งพิจารณาย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นหลัก แต่ก็ไม่ปิดกั้นเทคโนโลยีบนคลื่นความถี่ Unlicensed อื่น ๆ ที่เป็นมาตรฐานแบบเปิดจากหน่วยงานระดับโลกที่น่าเชื่อถือ ตามที่ กสทช. อนุญาต
- ปัจจุบัน กฟน. มีการใช้งานโครงข่ายเซลลูลาร์สำหรับ Application ระบบสมาร์ทกริดอื่น ๆ เช่น Application สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบ Field Force Management

71

การไฟฟ้านครหลวง

โครงการนำร่องระบบ AMI

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

ระบบสมาร์ทกริดอื่น ๆ ในปัจจุบัน

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

72

การไฟฟ้านครหลวง

แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต

- กฟน. วางแผนใช้งานคลื่นความถี่แบบ Unlicensed สำหรับ Application ที่เป็น Non-critical Infrastructure ส่วนกรณี Application ที่เป็น Critical Infrastructure จะเลือกใช้ Optical Fiber เป็นระบบสื่อสารหลัก โดยอาจพิจารณาใช้ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Licensed เพิ่มเติม หาก กสทช. มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ให้กับระบบสมาร์ทกริด
- กฟน. เห็นว่าคลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในปัจจุบันน่าจะเพียงพอสำหรับรองรับการพัฒนา Application ที่เป็น Non-critical Infrastructure ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่บริการของ กฟน. มีขนาดเล็ก จึงสะดวกต่อการติดตั้งโครงข่าย Optical Fiber เพื่อรองรับ Application ที่เป็น Critical Infrastructure ได้ง่ายกว่ากรณีของ กฟผ. และ กฟภ.
- กฟน. ยังมีข้อกังวลเกี่ยวกับการความหนาแน่นของการใช้คลื่นความถี่แบบ Unlicensed ในพื้นที่ กทม. และปริมณฑล อีกทั้งคลื่นความถี่แบบ Unlicensed อาจไม่มีความปลอดภัยเพียงพอ อาจก่อให้เกิดการขโมยหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูล เช่น ข้อมูลสมาร์ทมิเตอร์

73

การไฟฟ้านครหลวง

ข้อคิดเห็นด้านการจัดสรรคลื่นความถี่

- กฟน. เห็นว่า กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed โดยจัดสรรให้หน่วยงานด้านพลังงานใช้งานย่านความถี่เดียวกัน เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศ ซึ่งการใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed จะสามารถรองรับการทำงานของ Application ที่มีความสำคัญต่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้าได้
- กฟน. มีความต้องการใช้คลื่นความถี่สำหรับสำหรับพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ดังนี้

  พ.ศ. 2561-2563: มีความประสงค์ขอใช้ความถี่ CH201-CH237 (442.5125/447.5125 MHz ถึง 442.9625/447.9625 MHz) หรือตามความเหมาะสมที่ กสทช. จะพิจารณาจัดสรรให้ สำหรับรองรับการพัฒนาระบบ AMI, การอ่านหน่วยพลังงานไฟฟ้า, การตรวจจับการละเมิดการใช้ไฟฟ้า, การจัดการปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง และ Demand Response

  พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป: ต้องการแบนด์วิดท์เพิ่มเติมอีก 2 MHz โดยขอให้ กสทช. พิจารณาจัดสรรย่านความถี่ที่เหมาะสม เพื่อรองรับการพัฒนาระบบ Smart Streetlight, ระบบ Computerized Maintenance Management, ระบบ Transformer Load Monitoring และระบบรักษาความปลอดภัยในสถานีไฟฟ้าและสำนักงานการไฟฟ้า

74

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในปัจจุบัน/อนาคตอันใกล้

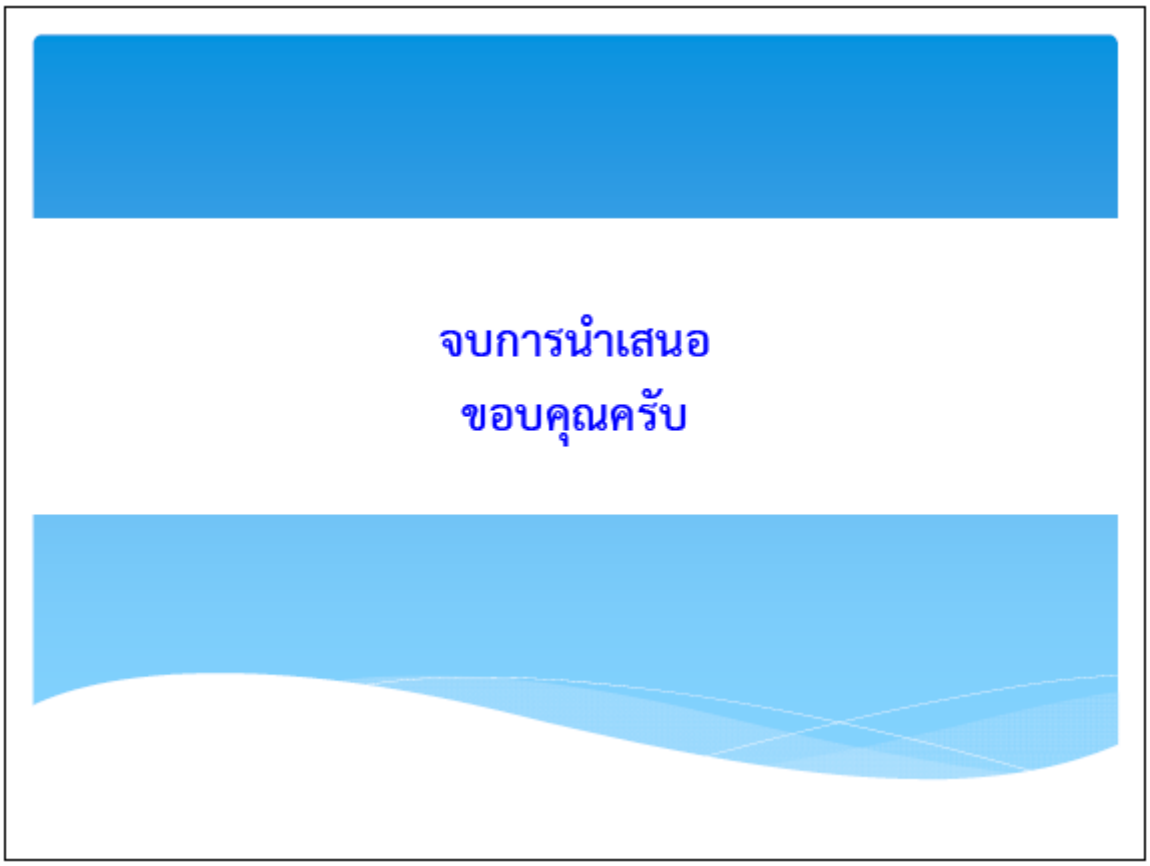
หน่วยงาน	การใช้งานในปัจจุบันหรืออนาคตอันใกล้			แผนการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต	ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม
	Application	เทคโนโลยี	ย่านความถี่		
กฟผ.	ระบบบริหารจัดการสถานีอัดประจุ EV	โครงข่ายเซลลูลาร์	-	ส่วนใหญ่พิจารณาระบบสื่อสารแบบมีสาย แต่อาจจำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับพื้นที่ห่างไกล	ควรมีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed โดย กฟผ. ขอจัดสรรคลื่นความถี่ชนิด Non-line-of-sight ที่เหมาะสม
กฟภ.	ระบบ AMI	RF และ โครงข่ายเซลลูลาร์	Unlicensed Band • 433 MHz • 920-925 MHz, • 2.4-2.5 GHz • 5 GHz	เนื่องจาก กสทช. ยังไม่มีการจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed กฟภ. จึงยังวางแผนใช้คลื่นความถี่ Unlicensed โดยพิจารณาทั้งในย่าน 433 MHz, 920-925 MHz, 2.4-2.5 GHz	มีความเห็นในทิศทางของจัดสรรคลื่นความถี่แบบ Licensed ในนามการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง โดยมองว่าย่านความถี่ 430-450 MHz มีความเหมาะสมที่สุด
	ระบบแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องอัจฉริยะ	โครงข่ายเซลลูลาร์	-		
	ระบบ AMR สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่	โครงข่ายเซลลูลาร์	-		
	SCADA	RF	Licensed Band • 450-470 MHz • 470-512 MHz		

75

การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในปัจจุบัน/อนาคตอันใกล้

หน่วยงาน	การใช้งานในปัจจุบันหรืออนาคตอันใกล้			แผนการใช้คลื่นความถี่ในอนาคต	ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม
	Application	เทคโนโลยี	ย่านความถี่		
กฟน.	ระบบสมาร์ทมิเตอร์ (AMR/AMI)	RF และ โครงข่ายเซลลูลาร์	คลื่นความถี่ Unlicensed ตามที่ กสทช. อนุญาต	ใช้คลื่นความถี่ Unlicensed กรณี Non-critical Application และใช้ Optical Fiber กรณี Application ที่มีความสำคัญ โดยอาจพิจารณาใช้คลื่นความถี่แบบ Licensed เพิ่มเติม หาก กสทช. จัดสรรให้	กสทช. ควรจัดสรรคลื่นความถี่ Licensed เพื่อให้หน่วยงานด้านพลังงานใช้งานย่านความถี่เดียวกัน โดยเห็นว่าย่านความถี่ในช่วง 440 MHz มีความเหมาะสม
	MEA Smart Life (Mobile App)	โครงข่ายเซลลูลาร์ และ WiFi (Client)	เป็นการใช้งานโดยลูกค้า		
	Field Force Management (FFM)	โครงข่ายเซลลูลาร์	-		

76


จบการนำเสนอ
ขอบคุณครับ