รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนา
กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ประจำงวดที่ ๔

โครงการส่งเสริมความรู้ การตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐาน ๕G

ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

คำนำ

วิวัฒนาการ ด้านเทคโนโลยีมีพัฒนาการที่ก้าวหน้าและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการดำเนินธุรกิจในหลายด้าน เทคโนโลยีด้านการสื่อสารประเภทใหม่ เป็นอีกหนึ่งปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัล ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 5 หรือ 5G เปรียบเสมือนรากฐานที่สำคัญที่จะนำไปสู่การพลิกโฉมอุตสาหกรรม เพื่อยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ และสร้างประโยชน์ให้กับภาคเศรษฐกิจในระยะยาว และเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างพื้นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านต่างๆ เช่น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoTs), ยานยนต์อัตโนมัติ (Autonomous vehicle), การแพทย์สมัยใหม่ (Smart medical), อุตสาหกรรมอัจริยะ (Smart industrial) และเมืองอัจฉริยะ (Smart city) เป็นต้น โดยสำนักงาน กสทช. ได้จัดสรรคลื่นความถี่สำหรับใช้งาน 5G ไปเมื่อช่วงต้นปี 2563 ที่ผ่านมา ได้เกิดกระแสความตื่นตัวเรื่องคลื่น 5G เป็นวงกว้างตามมา

อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากคุณประโยชน์ที่มากมายจากการประยุกต์ใช้งานคลื่น 5G แล้ว ยังเกิดกระแสความตื่นตัวเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการใช้งานคลื่น 5G ตามมาอีกมากมายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ถึงแม้ว่าสำนักงาน กสทช., ผู้เชี่ยวชาญ และสื่อต่างๆ จะพยายามออกมาชี้แจง และเผยแพร่ข้อมูลผลกระทบฯแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีบางกลุ่มที่พยายามหาข้อมูลเพิ่มเติมจากสื่ออินเตอร์เน็ตอย่างต่อเนื่อง และเป็นข้อมูลการศึกษาเชิงลึกมากขึ้น ซึ่งเริ่มมีเนื้อหาทางวิชาการเข้ามาเกี่ยวข้อง เกี่ยวกับ คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศด้านการป้องกันรังสีชนิดไม่ก่อไอออน หรือที่รู้จักกันในนาม ICNIRP (International Commission on Non- Ionizing Radiation Protection) ซึ่งเป็นองค์กรกลาง ที่ถูกจัดตั้งขึ้นโดยองค์การอนามัยโลก (World Health Organization – WHO) มีพันธกิจโดยตรง เพื่อศึกษาและประเมินหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ของผลกระทบต่อสุขภาพที่เป็นไปได้ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่จาก 0 ถึง 300 กิกะเฮิรตซ์ รวมทั้งย่านความถี่เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเป็นผู้กำหนดขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์ฯ หรือที่รู้จักกันในชื่อ ICNIRP Guidelines ปี 2020

ที่ผ่านมาสำนักงาน กสทช. ได้ดำเนินการควบคุมการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวเครื่อง (cellular phone) ที่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค โดยการวัดอัตราการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (SAR) แล้วก็ตาม การทดสอบดังกล่าวเป็นการควบคุมที่เน้นไปที่ผลิตภัณฑ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนบุคคลเท่านั้น สำหรับสถานีฐานโทรศัพท์ซึ่งติดตั้งอยู่ในแหล่งชุมชน สำนักงาน กสทช. ได้ใช้มาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 ในการตรวจวัดความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF) เพื่อให้ครอบคลุมตามแนวทางของ ICNIRP อย่างไรก็ตามวิธีการตรวจวัดเดิมสามารถดำเนินได้กับระบบ 3G และ 4G เท่านั้น ไม่ครอบคุลมมาตรฐานใหม่ในระบบ 5G เนื่องจากการรายงานผลกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อสุขภาพของมนุษย์เป็นเรื่องของการคุ้มครองผู้บริโภคในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม เป็นแนวทางปฏิบัติที่เป็นสากล ดังนั้น หน่วยงานสากล ICNIRP และสำนักงาน กสทช. จึงถือเป็นภารกิจที่ต้องดำเนินงาน โดยทุกหน่วยงานได้ประกาศแนวทางปฏิบัติทดสอบสถานีฐานโทรคมนาคมที่ติดตั้งตามชุมชนต่างๆ ซึ่งที่ผ่านมาภาคประชาคมมีประเด็นต่อต้าน และก่อให้เกิดการพิพาทในการจัดตั้งสถานีฐานโทรศัพท์

หลายครั้ง สำหรับการวัดสถานีฐานในระบบ 3G และ 4G นั้น ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ทำการจัดอบรมการวัด EMF ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติแก่เจ้าหน้าที่สำนักงาน กสทช. แล้วหลายครั้ง

อย่างไรก็ตาม สำหรับระบบ 5G เทคโนโลยีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้วิธีการวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีฐานเปลี่ยนแปลงไปจากระบบ 3G และ 4G ถึงแม้ว่า ICNIRP จะประกาศแนวทางการตรวจวัด EMF ฉบับใหม่แล้วก็ตาม แต่มาตรฐานฉบับดังกล่าวได้กำหนดเพียงแนวทางการตรวจวัดฯ เท่านั้น ไม่มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการตรวจวัดฯ อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาเรื่องดังกล่าวอย่างเป็นระบบในประเทศไทย ทำให้ห้องปฏิบัติการตรวจวัดฯ ในประเทศ ไม่สามารถดำเนินการขอการรับรองการตรวจวัดเป็นระบบสากลที่เป็นที่ยอมรับได้ ในส่วนนี้ คณะทำงานในโครงการฯ ได้สอบถามทางสำนักงาน กสทช. แล้ว และได้รับทราบว่า มีความต้องในเรื่องดังกล่าวเพื่อให้เกิดความชัดเจนและออกแนวทางในการปฏิบัติเพื่อใช้ในการออกประกาศต่อไป

ดังนั้น ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สังกัดสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จึงนำเสนอ โครงการส่งเสริมความรู้ การตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐาน 5G โดยดำเนินการสร้างขั้นตอนและวิธีการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่จากสถานีฐาน 5G สำหรับประเทศไทย อ้างอิงแนวทางมาตรฐานของ ICNIRP ปี 2020, ตั้งห้องปฏิบัติการตรวจวัดฯ คลื่น 5G ที่มีความเป็นกลาง น่าเชื่อถือ ได้การยอมรับในระดับสากล เพื่อการคุ้มครองผู้บริโภค และส่งเสริมสนับสนุนการพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม โดยการจัดการฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ให้กับบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม ซึ่งรวมถึง เจ้าหน้าที่ของทางสำนักงาน กสทช., ผู้บริโภค และบุคลากรที่สนใจทั่วไป

.....

(นายไกรสร อัญชลีวรพันธุ์)

หัวหน้าโครงการ

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		**ก**
สารบัญ		**ค**
ส่วนที่ 1	**สาระสำคัญของโครงการ (Project Highlight)**	1
	1.1 วัตถุประสงค์	2
	1.2 เป้าหมาย	2
	1.3 ผลผลิตสำคัญ	3
	1.4 แผนปฏิบัติการโครงการ	4
ส่วนที่ 2	**ความก้าวหน้าในการดำเนินโครงการ**	5
	2.1 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 1	5
	2.2 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 2	5
	2.3 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 3	6
	2.3 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 4	6
	2.5 สถานภาพการดำเนินโครงการรายกิจกรรม	7
	2.6 สรุปปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ	8
	2.7 แผนการดำเนินงานในระยะต่อไป	8
	2.8 รายงานการจัดซื้อครุภัณฑ์ในโครงการ	9
ส่วนที่ 3	**รายงานความก้าวหน้าทางการเงิน**	10
	3.1 รายงานสรุปการใช้จ่ายงบประมาณ	10
	3.2 รายงานสรุปความก้าวหน้าทางการเงิน	10
	ภาคผนวก ก รายงานผลการศึกษา เทคโนโลยีและการใช้งานคลื่น 5G ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานคลื่น 5G	ก-1
	ภาคผนวก ข รายงานผลการศึกษามาตรฐานการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ในระดับสากล	ข-1
	ภาคผนวก ค รายงานผลการดำเนินการจัดซื้อ และการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์	ค-1
	ภาคผนวก ง ผลการจัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้ การตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม 5G	ง-1
	ภาคผนวก จ เอกสาร การรับรองระบบคุณภาพ ISO ๑๗๐๒๕ ในขอบข่ายการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม	จ-1
	ภาคผนวก ฉ เอกสารอ้างอิง	ฉ-1

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ชื่อโครงการ (ไทย) :	โครงการส่งเสริมความรู้ การตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐาน ๕G			
ชื่อโครงการ (อังกฤษ) :	Knowledge project promotes the electromagnetic field measurement for 5G telephone base station			
สัญญารับทุนเลขที่ :	A64-1-(2)-008			
หน่วยงาน :	ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม			
ชื่อ – นามสกุล : (หัวหน้าโครงการ)	นายไกรสร อัญชลีวรพันธุ์			
เบอร์ติดต่อ :		**E-Mail:**		
ระยะเวลาดำเนินการ : (เริ่มต้น – สิ้นสุด)	18 พฤษภาคม 2565 ถึง 8 มกราคม 2567	**1 ปี**	**7 เดือน**	**0 วัน**
งบประมาณรวม :			**6,291,950.00**	**บาท**

ส่วนที่ 1 สาระสำคัญของโครงการ (Project Highlight)

สำนักงาน กสทช. ประกาศกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคม กทช. มท. 5001-2550 เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2550 โดยมาตรฐานนี้ได้กำหนดขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคมในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz – 300 GHz อ้างอิง ICNIRP Guidelines ปี 1998 ซึ่งปัจจุบันเป็นเอกสารที่ล้าสมัย และถูกแทนที่ใหม่ด้วย ICNIRP Guidelines ปี 2020 รวมถึงสำนักงาน กสทช. ยังได้เผยแพร่คู่มือการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม ปี 2554 ซึ่งในปัจจุบันเป็นวิธีการวัดที่ล้าสมัย และไม่สามารถประยุกต์ใช้เพื่อทำการวัดคลื่น 5G ได้ เนื่องจากเทคโนโลยีในการรับส่งสัญญาณในระบบ 5G เป็นแบบ Smart antenna ไม่เหมือนกับระบบ 3G, 4G เดิม

ปัจจุบัน บุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม ซึ่งรวมถึง เจ้าหน้าที่ของทางสำนักงาน กสทช. (ซึ่งเป็นผู้กำหนดมาตรฐาน และเป็นผู้ดำเนินการตรวจวัดฯ) และบุคลากรทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการการตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานคลื่น 5G ในประเทศไทย ยังขาดซึ่งความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้อง เนื่องจากไม่มีผลการศึกษาเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลของคลื่น 5G ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดฯ และไม่มีคู่มือการตรวจวัดที่ถูกต้องเหมาะสมกับคลื่น 5G จึงเป็นเหตุให้การตรวจวัดคลื่น 5G ที่ดำเนินการอยู่ปัจจุบันในประเทศไทยนั้น เกิดความผิดพลาด และคลาดเคลื่อน และเป็นเหตุให้การตัดสินผลการตรวจวัดเกิดความผิดพลาดตามมาด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีเกิดข้อร้องเรียนในชั้นศาล เกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานคลื่น 5G นั้น จะยิ่งเกิดผลกระทบเป็นอย่างมาก อีกทั้งปัจจุบัน ในประเทศไทยยังไม่มีห้องปฏิบัติการตรวจวัดฯ อ้างอิง ที่มีความสามารถในการตรวจวัดคลื่น 5G ที่มีความเป็นกลาง น่าเชื่อถือ และได้การยอมรับในระดับสากล

ดังนั้น เพื่อเป็นการส่งเสริมความรู้ เพื่อพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม ให้มีความรู้ความเข้าใจในการดำเนินการตรวจวัดคลื่น 5G ให้ถูกต้องตามหลักสากล จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาเทคโนโลยีคลื่น 5G ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดฯ, มีคู่มือการตรวจวัดคลื่น 5G สอดคลองกับมาตรฐาน ICNIRP Guidelines ปี 2020 (ฉบับปัจจุบัน) และสอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย โดยการจัดการฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ให้กับบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม ซึ่งรวมถึง เจ้าหน้าที่ของทางสำนักงาน กสทช., ผู้บริโภค และบุคลากรที่สนใจทั่วไป และมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีห้องปฏิบัติการตรวจวัดฯ คลื่น 5G ที่มีความเป็นกลาง น่าเชื่อถือ ได้การยอมรับในระดับสากล

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อส่งเสริม และสนับสนุนการพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม ซึ่งรวมถึง เจ้าหน้าที่ของทางสำนักงาน กสทช., ผู้บริโภค และบุคลากรที่สนใจทั่วไป ให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอน และวิธีการตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานคลื่น 5G โดยการถ่ายทอดผลการศึกษาเทคโนโลยี 5G ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัด, มีคู่มือการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้อง และมีห้องปฏิบัติการอ้างอิงในการดำเนินการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ที่ได้รับการรับรองคุณภาพ ISO/ IEC 17025 เป็นที่ยอมรับในระดับสากล มีความเป็นกลาง และความน่าเชื่อถือ เพื่อใช้ในการคุ้มครองผู้บริโภคในกิจการโทรคมในกรณีที่เกิดข้อร้องเรียน ข้อพิพาท และกรณีทั่วไป

1.2 เป้าหมาย

1.2.1 มีรายงานผลการศึกษาเทคโนโลยีและการใช้งานคลื่น 5G เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

1.2.2 มีรายงานผลการศึกษา มาตรฐานการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ในระดับสากล

1.2.3 มีเอกสารขั้นตอน และวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ที่สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย

1.2.4 มีเอกสารคู่มือ วิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G เป็นฉบับแรกของประเทศไทย

1.2.5 มีห้องปฏิบัติการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ที่ยื่นขอการรับรองคุณภาพ ISO/ IEC 17025 เพื่อรองรับข้อกำหนดด้านการคุ้มครองผู้บริโภคฯ

1.2.6 มีการจัดการฝึกอบรมหัวข้อ วิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G เพื่อส่งเสริมให้เกิดความรู้ความเข้าใจแก่บุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม ซึ่งรวมถึงเจ้าหน้าที่ของทางสำนักงาน กสทช., ผู้บริโภค และบุคลากรที่สนใจทั่วไป

1.3 ผลผลิตสำคัญ

ลำดับ	ชื่อผลผลิต	หน่วยวัด	ตัวชี้วัด (เชิงคุณภาพ/เชิงคุณภาพ)
1	ผลการศึกษาเทคโนโลยีการใช้งานคลื่น 5G และผลการศึกษามาตรฐานการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์	1 เล่ม	มีรายงานผลการศึกษาเทคโนโลยี และการใช้งานคลื่น 5G และผลการศึกษามาตรฐานการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สอดคลองกับมาตรฐาน ICNIRP Guidelines ปี 2020 เป็นฉบับแรกของประเทศไทย
2	ขั้นตอน และวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G	1 เล่ม	มีเอกสารขั้นตอน และวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G เป็นฉบับแรกของประเทศไทย
3	คู่มือ วิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G	1 เล่ม	มีเอกสารคู่มือ วิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G เป็นฉบับแรกของประเทศไทย
3	ห้องปฏิบัติการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G	1 ห้องปฏิบัติการ	มีห้องปฏิบัติการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ที่ยื่นขอการรับรองคุณภาพ ISO/ IEC 17025 เพื่อรองรับข้อกำหนดด้านการคุ้มครองผู้บริโภคฯ
4	ส่งเสริม และสนับสนุนให้เกิดความรู้ความเข้าใจแก่บุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม เกี่ยวกับการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์	จัดฝึกอบรม จำนวน 5 ครั้ง แบ่งตามภูมิภาค	มีการจัดการฝึกอบรมหัวข้อ วิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G เพื่อส่งเสริมให้เกิดความรู้ความเข้าใจแก่บุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม

1.4 แผนปฏิบัติการโครงการ

ลำดับ	กิจกรรมที่สำคัญ	ระยะเวลาการดำเนินกิจกรรม							
		ประจำปี 2565		ประจำปี 2566				ประจำปี 2567	น้ำหนัก (%)
		Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	
1	ศึกษา เทคโนโลยีและการใช้งานคลื่น 5G	←	→						5
2	ศึกษา มาตรฐานการตรวจวัดการแพร่คลื่น 5G	←	→						5
3	ดำเนินการจัดซื้อ สอบเทียบ และทวนสอบครุภัณฑ์ฯ		←	—	→				40
4	จัดทำคู่มือ วิธีการตรวจวัด				←	→			10
5	จัดทำหลักสูตรการฝึกอบรม				←	→			20
6	จัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้					←	—	→	10
7	ยื่นขอการรับรองระบบคุณภาพ ISO 17025					←	—	→	5
8	รายงานฉบับสมบูรณ์						←	— →	3
9	รายงานผลการดำเนินฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช.						←	— →	2
รวม									100 %

ส่วนที่ 2 ความก้าวหน้าในการดำเนินโครงการ

2.1 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 1

2.1.1 แผนการดำเนินงานโครงการฯ ครอบคลุมทุกกิจกรรม **(รายละเอียดตามข้อ 1.4)** โดยประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1.1 ศึกษา เทคโนโลยีและการใช้งานคลื่น 5G ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

2.1.1.2 ศึกษา มาตรฐานการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ในระดับสากล

2.1.1.3 การดำเนินการจัดซื้อ และการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์

2.1.1.4 จัดทำคู่มือ วิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G

2.1.1.5 จัดทำหลักสูตรการฝึกอบรมวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G

2.1.1.6 การจัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้ การตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G

2.1.1.7 ยื่นขอการรับรองระบบคุณภาพ ISO 17025 ในขอบข่ายการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม

2.1.1.8 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

2.1.1.9 จัดทำรายงานผลการดำเนินฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช.

2.1.2 รายงานผลการศึกษาเทคโนโลยี และการใช้งานคลื่น 5G ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานคลื่น 5G **(รายละเอียดตามภาคผนวก ก)**

2.1.3 รายงานผลการศึกษามาตรฐานการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ในระดับสากล **(รายละเอียดตามภาคผนวก ข)**

2.2 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 2

2.2.1 รายงานผลการดำเนินการจัดซื้อ และการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์ **(รายละเอียดตามภาคผนวก ค)**

2.2.1.1 ผลการจัดซื้อครุภัณฑ์

2.2.1.2 ผลการสอบเทียบครุภัณฑ์

2.2.1.3 ผลการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์

2.3 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 3

2.3.1 เอกสาร คู่มือวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม ๕G **(รายละเอียดตาม เอกสารคู่มือวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม ๕G)**

2.3.2 เอกสาร หลักสูตรการฝึกอบรมวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม ๕G **(รายละเอียดตาม เอกสารหลักสูตรการฝึกอบรมวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม ๕G)**

2.4 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 4

2.4.1 รายงานฉบับสมบูรณ์

2.4.1.1 ผลการจัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้ การตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม 5G **(รายละเอียดตามภาคผนวก ง)**

2.4.1.2 เอกสาร การรับรองระบบคุณภาพ ISO ๑๗๐๒๕ ในขอบข่ายการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม **(รายละเอียดตามภาคผนวก จ)**

2.4.2 รายงานผลการดำเนินงานฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช.

2.5 สถานภาพการดำเนินโครงการรายกิจกรรม

กิจกรรม	ระยะเวลา (วัน)	สถานะกิจกรรม/ผลดำเนินงาน			แผนปฏิบัติการ ณ วันลงนามในสัญญา		ความก้าวหน้า โปรดทำเครื่องหมาย (✓)			กรณีล่าช้าหรือเร็วกว่าแผน	
		แล้วเสร็จ	อยู่ระหว่างดำเนินการ	ยังไม่ดำเนินการ	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ล่าช้า	ตามแผน	เร็วกว่าแผน	เริ่มต้น	สิ้นสุด
1. ศึกษา เทคโนโลยีและการใช้งานคลื่น 5G	90	✓			**19 พ.ค. 2565**	**16 ส.ค. 2565**		✓			
2. ศึกษา มาตรฐานการตรวจวัดการแพร่คลื่น 5G	90	✓			**19 พ.ค. 2565**	**16 ส.ค. 2565**		✓			
3. ดำเนินการจัดซื้อ สอบเทียบ และทวนสอบครุภัณฑ์ฯ	180	✓			**17 ส.ค. 2565**	**12 ก.พ. 2566**		✓			
4. จัดทำคู่มือ วิธีการตรวจวัด	90	✓			**13 ก.พ. 2566**	**13 พ.ค. 2566**		✓			
5. จัดทำหลักสูตรการฝึกอบรม	90	✓			**24 มิ.ย. 2565**	**13 พ.ค. 2566**		✓			
6. จัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้	240	✓			**18 พ.ค. 2566**	**8 ม.ค. 2567**		✓		**18 พ.ค. 2566**	**28 พ.ย. 2566**
7. ยื่นขอการรับรองระบบคุณภาพ ISO 17025	240	✓			**18 พ.ค. 2566**	**8 ม.ค. 2567**		✓		**18 พ.ค. 2566**	**25 พ.ย. 2566**
8. รายงานฉบับสมบูรณ์	240	✓			**18 พ.ค. 2566**	**8 ม.ค. 2567**		✓		**18 พ.ค. 2566**	**8 ม.ค. 2567**
9. รายงานฉบับย่อ	240	✓			**18 พ.ค. 2566**	**8 ม.ค. 2567**		✓		**18 พ.ค. 2566**	**8 ม.ค. 2567**

2.6 สรุปปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ

ประจำงวดที่ ๑

ศูนย์ทดสอบ PTEC ยังไม่พบปัญหาและอุปสรรคในระหว่างการดำเนินงาน

ประจำงวดที่ ๒

ศูนย์ทดสอบ PTEC พบปัญหาและอุปสรรคในระหว่างการดำเนินงาน ดังนี้

1. ปัญหาการส่งมอบครุภัณฑ์เครื่องมือวัดล่าช้ากว่าแผนการดำเนินงาน

เนื่องจากเกิดวิกฤติการขาดแคลนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก ทำให้ผู้ขายครุภัณฑ์เครื่องมือวัด ไม่สามารถผลิตเครื่องมือวัดและดำเนินการส่งเครื่องมือได้ตามกรอบระยะเวลาของแผนการดำเนินโครงการ เป็นเหตุให้การดำเนินงานในงวดที่ 2 ซึ่งต้องรายงานผลการดำเนินการจัดซื้อ และทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์ต้องล่าช้าออกไป เป็นระยะเวลา 16 วัน

การแก้ไขปัญหา

หลังจากดำเนินกระบวนการจัดซื้อครุภัณฑ์เครื่องมือวัดตามระเบียบตามระเบียบ พรบ. การจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ และประกาศผู้ชนะในการจัดซื้อฯแล้ว ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ติดตามปัญหาความล่าช้าของการส่งมอบครุภัณฑ์อย่างใกล้ชิด พร้อมทั้งเร่งประสานงานในส่วนงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยในปัจจุบัน ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้รับมอบครุภัณฑ์พร้อมดำเนินการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์แล้วเสร็จ

ประจำงวดที่ ๓

ศูนย์ทดสอบ PTEC ยังไม่พบปัญหาและอุปสรรคในระหว่างการดำเนินงาน

ประจำงวดที่ ๔

ศูนย์ทดสอบ PTEC พบปัญหาและอุปสรรคในระหว่างการดำเนินงาน ดังนี้

1. ปัญหาการกำหนดวันสำหรับการอบรมเผยแพร่ความรู้

เนื่องจาก การอบรมเผยแพร่ความรู้การตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม ๕G ตามวัตถุประสงค์ของโครงการฯ นั้น มีกลุ่มเป้าหมายหลักคือ เจ้าหน้าที่สำนักงาน กสทช. ซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติงานจริงในการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าฯ ตามภารกิจ ศูนย์ทดสอบ PTEC จึงได้ทำหนังสือเชิญอบรม ส่งไปยังสำนักงาน กสทช เพื่อประชาสัมพันธ์และเรียนเชิญเจ้าหน้าที่ สำนักงาน กสทช. เข้าร่วมการอบรม หลังจากนั้น ทางศูนย์ทดสอบ PTEC ได้รับการตอบกลับจากสำนักงาน กสทช. ถึงกำหนดวันที่ทางสำนักงาน กสทช. สามารถเข้าร่วมการอบรม โดยมีกำหนดวันล่วงเลยกรอบระยะเวลาการดำเนินโครงการฯ

การแก้ไขปัญหา

ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ทำการยื่นขอขยายระยะเวลาการดำเนินโครงการฯ ออกไป เพื่อให้สามารถรองรับการเข้าร่วมการอบรมเผยแพร่ความรู้ฯ ของเจ้าหน้าที่ สำนักงาน กสทช. ได้ครบถ้วน

2.7 แผนการดำเนินงานในระยะต่อไป

สิ้นสุดโครงการ

2.8 รายงานการจัดซื้อครุภัณฑ์ในโครงการ (ถ้ามี)

2.8.1 ครุภัณฑ์สำหรับการวิจัยและพัฒนาฯ

ลำดับ	รายการจัดซื้อครุภัณฑ์ (สำหรับการวิจัยและพัฒนาฯ)	วัน/เดือน/ปี	ราคารวม VAT (บาท)	เอกสารอ้างอิง
-	-	-	-	-

2.8.2 ครุภัณฑ์สำหรับการดำเนินโครงการ

ลำดับ	รายการจัดซื้อครุภัณฑ์ (สำหรับการดำเนินโครงการทั่วไป)	วัน/เดือน/ปี	มูลค่า	เอกสารอ้างอิง
๑	เครื่องมือวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (๔๐ GHz)	๒๓ ก.พ ๖๖	๒,๙๐๐,๐๐๐	-
๒	สายอากาศไอโซทรอปริก (๔๐ GHz)	๒๓ ก.พ ๖๖	๔๓๐,๐๐๐	-
๓	ซอฟต์แวร์สำหรับการวัดสัญญาณ ๕G	๒๓ ก.พ ๖๖	๔๐๐,๐๐๐	-

ส่วนที่ 3 รายงานความก้าวหน้าทางการเงิน

3.1 รายงานสรุปการใช้จ่ายงบประมาณ

รายละเอียดค่าใช้จ่ายในโครงการ								
หมวดค่าใช้จ่าย	**งบประมาณ**	**Q 1**	**Q 2**	**Q 3**	**Q 4**	**รวม**	**คงเหลือ**	**ร้อยละการเบิกจ่าย**
1. ค่าตอบแทนบุคลากร	1,580,000.00	-	-	-	-	0.00	1,580,000.00	0.00
2. ค่าใช้สอย	333,500.00	-	1,021.00	1,006.00	-	2,027.00	331,473.00	0.60
3. ค่าวัสดุ	17,000.00	-	4,955.98	-	-	4,955.98	12,044.02	29.15
4. ค่าใช้จ่ายครุภัณฑ์	3,992,450.00	-	-	3,730,000.00	-	3,730,000.00	262,450.00	93.43
5. ค่าบริหารจัดการ	0.00	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	365,000.00	-	-	-	-	0.00	365,000.00	0.00
รวม (ยังไม่รวม Vat 7%)	***6,291,950.00***	**-**	***5,976.98***	***3,731,006.00***	**-**	***3,736,982.98***	***2,550,967.02***	***59.39***

3.2 รายงานสรุปความก้าวหน้าทางการเงิน

จำนวนเงินทุนที่ได้รับและจำนวนเงินทุนคงเหลือ						
ประจำงวด	**มูลค่าตามสัญญา**	**วัน/เดือน/ปี ที่ได้รับ**	**งบประมาณ ที่ได้รับจริง**	**ค่าใช้จ่าย**	**คงเหลือ**	**หมายเหตุ**
งวดที่ 1	629,195.00	19 มค. 65	629,195.00	5,976.98	623,218.02	-
งวดที่ 2	2,516,780.00	3 เมย. 66	2,516,780.00	3,731,006.00	**-**	-
งวดที่ 3	1,887,585.00	**-**	**-**	**-**	**-**	-
งวดที่ 4	1,258,390.00	**-**	**-**	**-**	**-**	-
รวม	6,291,950.00	-	3,145,975.00	3,736,982.98	-591,007.98	**บาท**

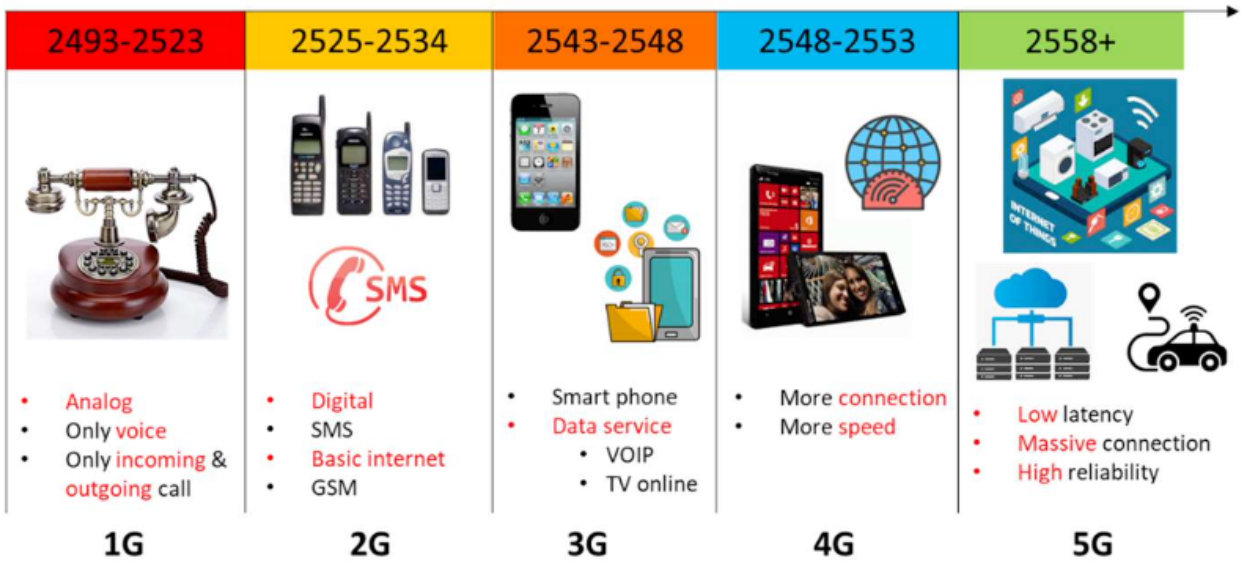
ภาคผนวก ก

รายงานผลการศึกษาเทคโนโลยีการใช้งานคลื่น 5G ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานคลื่น ๕G

เทคโนโลยีการใช้งานคลื่น 5G
ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

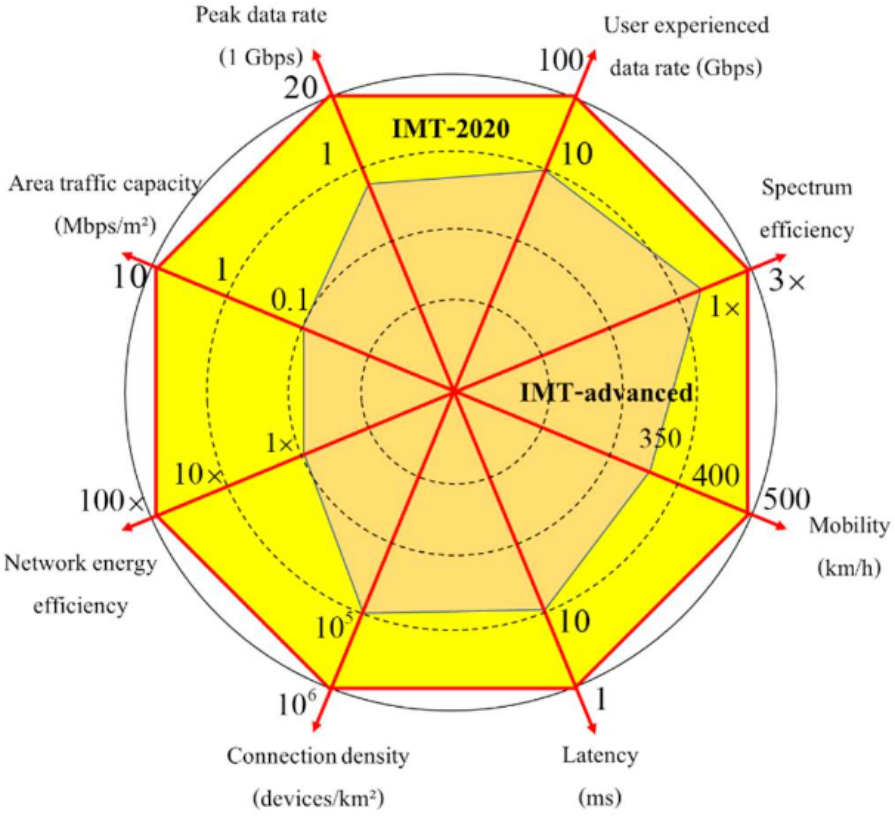
เทคโนโลยีสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคแรก ซึ่งใช้งานระบบแอนาล็อก จนถึงยุคปัจจุบันที่โทรศัพท์กลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของผู้คนส่วนใหญ่ในสังคม การใช้งานอินเตอร์เน็ตเป็นไปด้วยความรวดเร็วและแพร่หลาย อย่างไรก็ตามความต้องการในการเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเราจำเป็นที่จะต้องหาเทคโนโลยีใหม่เพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงเพื่อรองรับการใช้งานในรูปแบบใหม่ๆ และสนองต่อการพัฒนาสังคมดิจิทัลในยุค 4.0 เทคโนโลยี 5G คือ เทคโนโลยีที่จะเข้ามาตอบโจทย์ในเรื่องนี้ ระบบ 5G จะสามารถรองรับการใช้งานที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่า 4G รองรับ อุปกรณ์เชื่อมต่อกับระบบจำนวนมหาศาล รวมทั้งยังสามารถนำมาใช้ในกิจการที่ต้องการการส่งข้อมูลที่รวดเร็ว และทันที โดยเฉพาะกิจการที่ต้องการความแม่นยำสูง ซึ่งการที่ระบบ 5G จะสามารถการรองรับการใช้งานเหล่านี้ได้ จำเป็นต้องใช้เทคนิคใหม่ๆ รวมถึงจำเป็นต้องใช้คลื่นความถี่ในปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะความถี่ในย่านที่สูงกว่า 1 GHz

วิวัฒนาการของการสื่อสารในแต่ละยุค [1] รวมทั้งมาตรฐานของการสื่อสารในยุค 5G ตามมาตรฐานของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และองค์กรเอกชน 3GPP สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1ก



รูปที่ 1ก แสดงวิวัฒนาการของการสื่อสารในแต่ละยุค (ที่มา: เทคโนโลยีการสื่อสารยุค 5G)

ลักษณะของเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 5 (5G) นี้ กำหนดขึ้นจากหน่วยงานหลัก 2 หน่วยงาน ได้แก่ สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ซึ่งมีหน้าที่กำหนดมาตรฐานในการสื่อสารของวงการโทรคมนาคม และอีกหน่วยงานหนึ่ง คือ องค์กร 3GPP ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันบริษัทชั้นนำด้านกิจการโทรคมนาคม เพื่อกำหนดมาตรฐานกลางในการผลิต และพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสาร โดยจะอิงตามข้อกำหนดของ ITU อีกทอดหนึ่ง



รูปที่ 2ก แสดงแผนภาพใยแมงมุมของมาตรฐานการสื่อสารในยุคที่ 5 (ที่มา ITU-R M.2083-0)

จากรูปที่ 2ก จะแสดงถึงข้อกำหนดที่สำคัญในการสื่อสารของมาตรฐาน IMT-2020 ซึ่งจะมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

(1) อัตราข้อมูลที่ผู้ใช้งานได้รับ (User Experienced Data Rate) : กำหนดให้มีความเร็วที่ 100 เมกะบิตต่อวินาที

(2) อัตราข้อมูลที่จุดสูงสุด (Peak Data Rate) : กำหนดให้มีค่าสูงสุดที่ 20 กิกะบิตต่อวินาที

(3) ประสิทธิภาพในการใช้คลื่นความถี่ (Spectrum Efficiency) : มีการพัฒนาให้สามารถใช้ได้ดี ขึ้น 3 เท่าจากการสื่อสารในยุคที่ 4

(4) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน (Mobility) : กำหนดให้รองรับการสื่อสารขณะที่ ผู้ใช้งานเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงถึง 500 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

(5) ความหน่วงการสื่อสาร (Latency) : กำหนดให้มีความหน่วงประมาณ 1 มิลลิวินาที ความหนาแน่นในการเชื่อมต่อ (Connection Density) : กำหนดให้รองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่อหนึ่งโครงข่ายสูงถึง 1,000,000 อุปกรณ์ต่อพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร

(6) ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโครงข่าย (Network Energy Efficiency) : กำหนดให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 100 เท่าจาก 4G

(7) อัตราการส่งข้อมูลต่อพื้นที่ (Area Traffic Capacity) : กำหนดให้มีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด ต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นถึง 100 เท่าจาก 4G

1. เทคโนโลยีที่สนับสนุนความสามารถของระบบ 5G

เมื่อพิจารณาความสามารถของระบบ 5G ในสามด้านหลักๆ [2] ซึ่งประกอบด้วย eMBB, mMTC และ URLLC จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่รองรับการทางานของระบบ 4G ไม่เพียงพอที่จะรองรับขีดความสามารถของระบบ 5G ได้ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาหาเทคนิคใหม่ๆขึ้น โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีหลักที่น่าสนใจ และมีโอกาสที่จะรองรับขีดความสามารถของระบบ 5G ทั้งสามด้าน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 เทคโนโลยี Enhanced Mobile Broadband (eMBB) เพื่อเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล

การที่จะรองรับการใช้งานแบบ eMBB ระบบ 5G จำเป็นต้องสามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูง ในระดับ Gbps (100 เท่าของอัตราการส่งข้อมูลในระบบ 4G) และต้องสามารถรองรับการใช้งานของคนจำนวน มากในพื้นที่เดียวกันและในเวลาเดียวกันได้ จึงจำเป็นต้องนำเทคนิค และวิธีการต่อไปนี้มาปรับใช้กับระบบ 5G

1.1.1 การใช้คลื่นความถี่สูงขึ้น (mmWave)

วิธีการที่ง่ายที่สุดสำหรับการเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล และเพิ่มความจุของช่องสัญญาณ (channel capacity) คือการใช้ความกว้างของแถบความถี่สำหรับส่งข้อมูลหรือ bandwidth ที่สูงขึ้น ซึ่งในปัจจุบันคลื่นความถี่ที่เราใช้สำหรับการส่งข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 6 กิกะเฮิรตซ์ เช่น คลื่นความถี่ย่าน 800 เมกะเฮิรตซ์, 900 เมกะเฮิรตซ์, 1800 เมกะเฮิรตซ์ และ 2100 เมกะเฮิรตซ์ โดยคลื่นความถี่ดังกล่าวมีข้อจำกัดของความกว้างแถบความถี่ที่เราสามารถใช้ได้ คลื่นความถี่ในย่านที่สูงขึ้นโดยเฉพาะในย่านที่สูงกว่า 6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเราสามารถใช้ความกว้างของแถบความถี่ที่สูงขึ้นได้ จึงเป็นคลื่นความถี่ที่ได้รับความสนใจอย่างมากสำหรับการนำมาใช้ในระบบ 5G ส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ที่มากขึ้นนี้ เราสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า คลื่นความถี่ Millimeter Wave (mmWave) หรือคลื่นความถี่ที่มีความยาวคลื่นในระดับมิลลิเมตรนั่นเอง

1.1.2 การใช้ Massive MIMO

วิธีการเพิ่มความสามารถในการส่งข้อมูลที่มากขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานแบบ eMBB คือการใช้เทคนิค Multiple Input Multiple Output หรือ MIMO ซึ่งเทคนิคนี้ได้ถูกนามาใช้เป็นการทั่วไป สำหรับระบบ 4G หรือแม้แต่ระบบ Wi-Fi โดยหลักการพื้นฐานของระบบ MIMO คือการใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งสายอากาศในการส่งข้อมูล รวมทั้งใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งสายอากาศในการรับข้อมูล ซึ่งการใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งสำหรับการส่งและรับข้อมูลนี้ทำให้เราสามารถรองรับการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรืออุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับจุดส่งสัญญาณดังกล่าวในปริมาณที่มากขึ้นได้

1.1.3 การใช้ Non-orthogonal Multiple Access

สำหรับระบบ 5G เทคนิคการเข้าใช้ที่ได้รับความสนใจคือ เทคนิค Non-orthogonal Multiple Access หรือ NOMA ซึ่งสามารถรองรับการเข้าใช้ได้มากกว่าเทคนิค OFDMA ของระบบ 4G อย่างไรก็ตาม เทคนิค NOMA ยังคงมี ข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน ที่ต้องได้รับการหาทางออกและการวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต

1.1.4 การ Shared Spectrum

เทคนิคที่ช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการส่งข้อมูลซึ่งกำลังได้รับความสนใจจากผู้ประกอบกิจการโทรศัพท์เคลื่อนที่คือการใช้งานคลื่นความถี่ย่านที่ต้องได้รับใบอนุญาตสำหรับการใช้คลื่นความถี่ ที่ผู้ประกอบกิจการโทรศัพท์เคลื่อนได้รับจากการประมูลในปัจจุบัน ร่วมกับคลื่นความถี่ที่จัดสรรไว้สำหรับใช้งานเป็นการ ทั่วไป เช่น คลื่นความถี่สำหรับ Wi-Fi เพื่อเพิ่มปริมาณความถี่สำหรับส่งข้อมูล เทคนิคการใช้คลื่นหลายย่านความถี่ร่วมกัน ช่วยให้ระบบสามารถกระจายการส่งข้อมูลออกไปจากคลื่นหลักในช่วงเวลาที่มีการรับส่งข้อมูลปริมาณมาก (Peak traffic) ทำให้การส่งข้อมูลเป็นไปได้รวดเร็วขึ้น รวมทั้งการใช้งานคลื่นความถี่อื่น ช่วยให้สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่สูงขึ้นในเวลาที่เท่ากัน ซึ่งการใช้งานในรูปแบบดังกล่าวในปัจจุบันของระบบ 4G มีหลายรูปแบบ เช่น LAA และ LWA สำหรับระบบ 5G ก็สามารถทำได้ในรูปแบบเดียวกัน โดยเราเรียกว่า 5G-New Radio Shared Spectrum

1.2 เทคโนโลยี Massive Machine Type Communication (mMTC) เพื่อเพิ่มจำนวนอุปกรณ์เชื่อมต่อ

เนื่องจากมาตรฐานของระบบ 4G ไม่ได้ถูกสร้างมาเพื่อรองรับการใช้งานของอุปกรณ์จำนวนมาก ได้ ในเบื้องต้นมาตรฐานของ ITU กำหนดให้ระบบ 5G ต้องสามารถรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ได้ในระดับหลักล้านเครื่องต่อตารางกิโลเมตร ซึ่งจำเป็นต้องมีเทคนิคเข้ามาจัดการข้อมูลที่จะเพิ่มขึ้น

1.2.1 การใช้ Cloud Computing

เทคนิคที่มีความสำคัญมากสำหรับการรองรับอุปกรณ์ที่จะเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบคือ Cloud Computing การใช้งานอุปกรณ์ IoT บางประเภทจำเป็นต้องมีการประมวลผลข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ IoT บางอุปกรณ์ ไม่มีความสามารถในการประมวลผลดังกล่าวได้ การส่งข้อมูลเพื่อไปประมวลผลบนอินเตอร์เน็ตเรียกว่า Cloud Computing จึงสามารถเข้ามาเป็นส่วนช่วยประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก ที่เกิดจากอุปกรณ์ IoT เหล่านี้ได้

1.3 เทคโนโลยี Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC) เพื่อลดความหน่วงเวลา

สืบเนื่องจากเทคนิค Cloud Computing ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถประมวลผลข้อมูล เมื่ออุปกรณ์ IoT ปลายทางไม่มีกำลังประมวลผลพอ อย่างไรก็ตาม การใช้งาน Cloud Computing มีจุดอ่อนตรงที่ ต้องมีการส่งข้อมูลผ่านทางอินเตอร์เน็ตไปยังหน่วยประมวลผล ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหน่วยประมวลผลของ Cloud Service Provider การส่งข้อมูลแบบนี้อาจส่งผลให้เกิดความล่าช้า โดยสำหรับระบบ 5G มีการกำหนดมาตรฐานความหน่วงของการส่งข้อมูลในระดับไม่เกิน 1 มิลลิวินาที (1 ms) ซึ่งต่ำมาก (เทียบกับระดับ 10 ms ของระบบ 4G) การใช้งานแบบ URLLC ซึ่งเน้นการใช้งานที่มีความหน่วงต่ำ เช่น การใช้งานของรถยนต์ไร้คนขับ จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นเพิ่มเติมจาก Cloud Computing

1.3.1 การใช้ Fog computing

เทคนิค Fog Computing (หรือเรียกอีกชื่อว่า Mobile Edge Computing) เป็นการย้ายหน่วยประมวลผลจากเดิมที่มีการประมวลผลที่อยู่กับ Cloud Service Provider มาเป็นการใส่หน่วยประมวลผลไว้

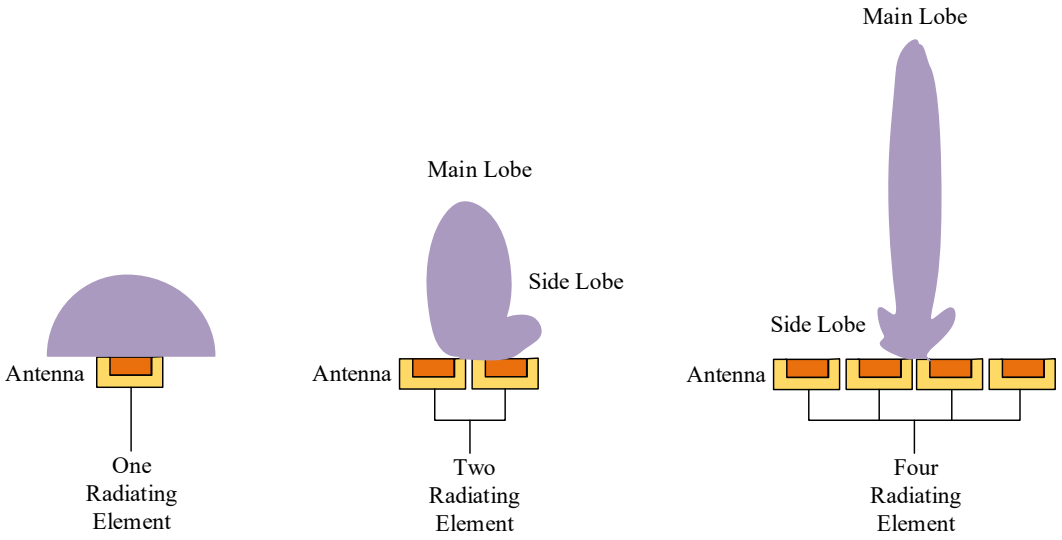
กับอุปกรณ์เสริมที่มีทั้งหน่วยประมวลผลและหน่วยเก็บฐานข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์เสริมเหล่านี้ เราสามารถนำไปใช้งานในบริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์ IoT ต่างๆ ทำให้ไม่ต้องส่งข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ IoT เหล่านี้เป็นระยะทางไกล ซึ่งจะช่วยให้ความหน่วงของการประมวลผลต่ำลง

2. เทคโนโลยี Beamforming จุดเปลี่ยนที่สำคัญของการตรวจวัดคลื่นระบบ 5G

เนื่องจากการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นของความยาวคลื่นมิลลิเมตร (mmWaves) ที่ใช้ในระบบ 5G (5G NR) บวกกับความต้องการแบนด์วิดท์ที่สูงของผู้ใช้ เทคนิคการสร้างลำคลื่นและการรับ-ส่งคลื่นหลายชุดพร้อมกันในช่องความถี่ (multiple-input and multiple-output: MIMO) มีปริมาณข้อมูลจำนวนมากจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของสเปกตรัม และให้ความคุ้มครองรวมถึงมีความน่าเชื่อถือ

Beamforming คือการประยุกต์ใช้องค์ประกอบการแผ่คลื่นหลายตัวที่ส่งสัญญาณเดียวกันที่ความยาวคลื่นและเฟสที่เหมือนกัน ซึ่งรวมกันเพื่อสร้างสายอากาศเดี่ยวที่มีกระแสพท้นผิวที่ยาวกว่า ทำให้ลำคลื่นชี้ตรงเป้าหมายมากขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นจากการเสริมแรงคลื่นในทิศทางเฉพาะเจาะจง แนวคิดทั่วไปถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2449 สำหรับการสื่อสารทางวิทยุข้ามมหาสมุทร

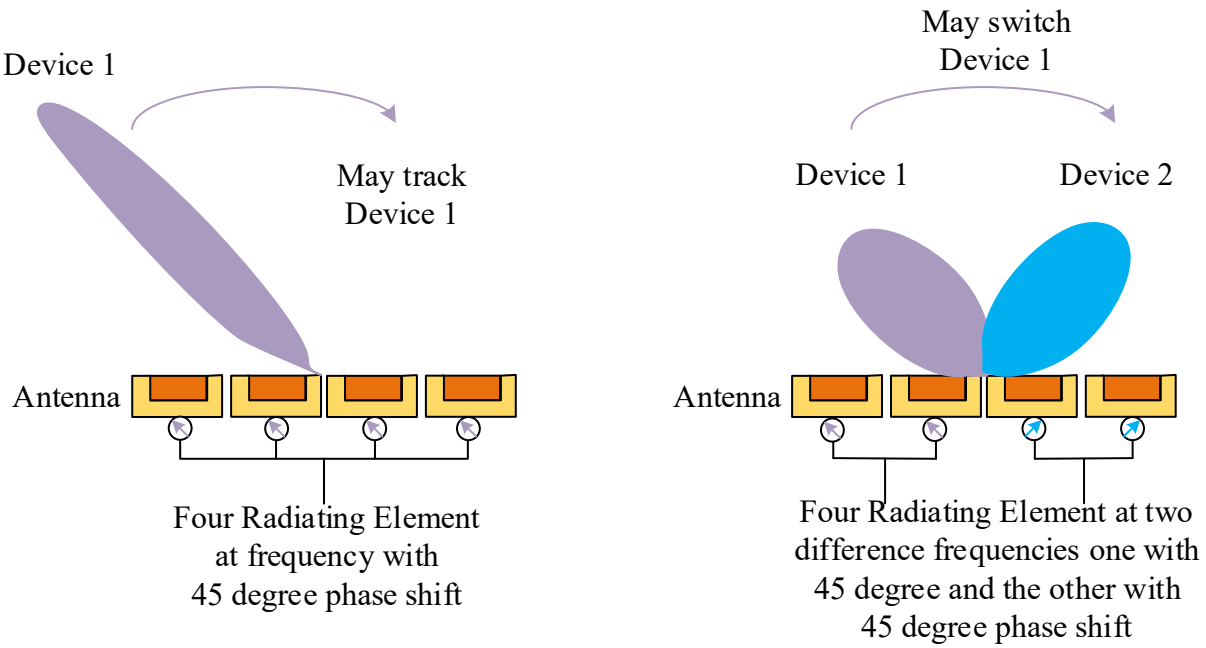
ยิ่งองค์ประกอบที่แผ่คลื่นที่ประกอบเป็นสายอากาศมากเท่าใด ลำคลื่นก็จะยิ่งแคบลงเท่านั้น ซึ่งหมายความถึงระยะที่คลื่นจะเดินทางไปถึงมากขึ้นด้วย สิ่งประดิษฐ์ของการสร้างลำแสงนี้คือโลบ (Lobe) ด้านข้าง โลบย่อย (Side Lobe) เป็นการแผ่คลื่นที่ไม่ต้องการ ซึ่งก่อตัวจากโลบหลัก (Main Lobe) ในทิศทางที่ต่างกัน และจะส่งผลให้เกิดการรบกวนมากเกินไปโดยโลบย่อยด้านข้างของสัญญาณลำคลื่น แต่ถ้าองค์ประกอบที่แผ่คลื่นที่ประกอบเป็นสายอากาศมากเท่าใด ลำคลื่นหลักก็จะยิ่งโฟกัสมากขึ้น และโลบย่อยด้านข้างก็จะยิ่งอ่อนลงเท่านั้น ดังรูปที่ 3ก



รูปที่ 3ก การสร้างลำคลื่นด้วยองค์ประกอบการแผ่คลื่นสองและสี่องค์ประกอบ

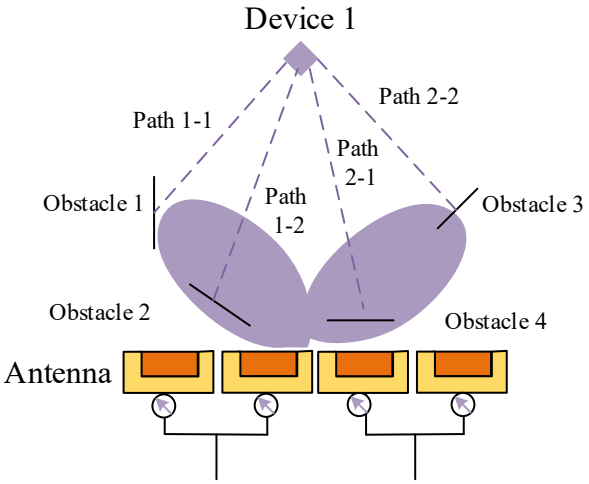
แม้ว่าการบีมฟอร์มมิ่งดิจิทัลที่โปรเซสเซอร์เบสแบนด์จะใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน แต่การฟอร์แมตบีมแบบแอนะล็อกในโดเมน RF สามารถให้อัตราขยายของสายอากาศได้ดี และสามารถช่วยบรรเทาคุณลักษณะการสูญเสียของคลื่นมิลลิเมตร 5G ได้

การบังคับเลี้ยวของลำคลื่นและการสวิตช์ลำคลื่น (Beam steering and beam switching) การบังคับเลี้ยวของลำคลื่นทำได้โดยการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุตบนองค์ประกอบการแผ่คลื่นทั้งหมด การเปลี่ยนเฟสช่วยให้สามารถส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับได้ในทิศทางที่เฉพาะเจาะจง สายอากาศสามารถใช้องค์ประกอบการแผ่คลื่นที่มีความถี่ร่วมกันเพื่อบังคับลำคลื่นเดียวไปในทิศทางที่เฉพาะเจาะจง ลำคลื่นความถี่ที่ต่างกันสามารถบังคับทิศทางได้ต่างกันเพื่อให้บริการผู้ใช้ที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4ก ทิศทางที่สัญญาณถูกส่งไปจะถูกคำนวณแบบไดนามิกโดยสถานีฐานเมื่อปลายทางเคลื่อนที่ ก็จะติดตามผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากลำคลื่นไม่สามารถติดตามผู้ใช้ได้จุดปลายของพื้นที่ใช้งานอาจเปลี่ยนเป็นลำคลื่นอื่นได้ด้วย ระดับการติดตามที่ละเอียดนี้เกิดขึ้นได้จากข้อเท็จจริงที่ว่าสถานีฐาน 5G จะต้องอยู่ใกล้กับผู้ใช้มากกว่าโครงสร้างพื้นฐานมือถือรุ่นก่อน ๆ ด้วย



รูปที่ 4ก การบังคับเลี้ยวของลำคลื่นและการสวิตช์ลำคลื่น

MIMO ขนาดใหญ่ (Massive MIMO) สายอากาศหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต เป็นคุณลักษณะของระบบไร้สายสาธารณะและระบบ Wi-Fi เชิงพาณิชย์มาช้านาน แต่ 5G ต้องการแอปพลิเคชั่นของ Massive MIMO เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น (อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR)) ของสัญญาณที่ส่งและความจุของช่องสัญญาณ โดยไม่ต้องใช้คลื่นความถี่เพิ่มขึ้น ซึ่งความถี่มากกว่า 1 ความถี่สามารถบังคับได้พร้อมกันในหลายทิศทาง การทำงานของระบบ MIMO ต้องใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลที่ทรงพลังและสภาพแวดล้อมที่มีการรบกวนสัญญาณจำนวนมาก หรือ "ความหลากหลายเชิงพื้นที่" นั่นคือเส้นทางสัญญาณที่หลากหลายระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ดังรูปที่ 5ก ความหลากหลายของเวลาที่มาถึง เนื่องจากสัญญาณถูกสะท้อนจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ทำให้เกิดช่องสัญญาณดูเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDD) หลายช่อง ซึ่งสามารถส่งสัญญาณซ้ำซ้อนของเส้นทางสำหรับสัญญาณที่ซ้ำกัน หรือเพิ่มความจุของช่องโดยการส่งข้อมูลส่วนต่าง ๆ ของข้อมูลที่มอดูเลต เกิดขึ้นครั้งแรกในปี 1980 โดยมีความแตกต่างเล็กน้อยระหว่าง MU-MIMO และ Massive MIMO แต่โดยพื้นฐานแล้วมันยังคงเป็นสายอากาศจำนวนมากและรองรับผู้ใช้จำนวนมาก ระดับของ MIMO ระบุด้วยจำนวนเครื่องส่งและจำนวนเครื่องรับ เช่น 2x2 4x4 8x8 และ อื่นๆ

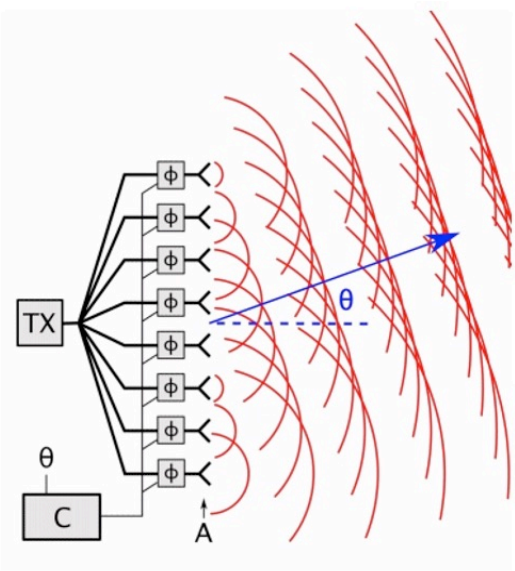


Four Radiating Element at two difference frequencies
one with 45 degree and the other with
45 degree phase shift supporting MIMO for increasing
SNR and channel capacity

รูปที่ 5ก อินพุตหลายรายการและเอาต์พุตหลายรายการ (MIMO)

สายอากาศเฟสแถวลำดับ (Phased Array Antenna) คือสายอากาศที่มีความสามารถเฉพาะตัวในการเปลี่ยนรูปร่างและทิศทางของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโดยไม่ต้องขยับสายอากาศ องค์ประกอบในสายอากาศแถวลำดับถูกจัดวางในลักษณะที่สัญญาณที่ส่งโดยสายอากาศแต่ละตัวรวมกันและทำให้อัตราขยาย ทิศทาง และประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในทิศทางเฉพาะเจาะจง ซึ่งทำได้โดยการส่งสัญญาณความถี่เดียวกันจากองค์ประกอบแต่ละรายการในแถวลำดับ แต่มีความแตกต่างทางขนาด (Amplitude) หรือเปลี่ยนเฟสระหว่างองค์ประกอบสายอากาศแต่ละตัวในแถวลำดับ การเปลี่ยนเฟสถูกคำนวณเพื่อให้เกิดการรบกวนเชิงสร้างสรรค์ในทิศทางที่ต้องการ ในขณะที่การรบกวนแบบทำลายล้างอาจเกิดขึ้นในทิศทางอื่น

การกำหนดการเปลี่ยนเฟสตามทิศทางที่ต้องการของการสร้างลำคลื่นนั้นเกี่ยวข้องกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและดำเนินการโดยระบบคอมพิวเตอร์หรือตัวประมวลผลสัญญาณจากเครื่องส่งสัญญาณจะถูกส่งไปยังสายอากาศผ่านตัวเปลี่ยนเฟสซึ่งควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์ (ตัวควบคุมเฟส) ซึ่งเปลี่ยนเฟสทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมทิศทางของรูปแบบการแผ่คลื่นของสายอากาศแถวลำดับ



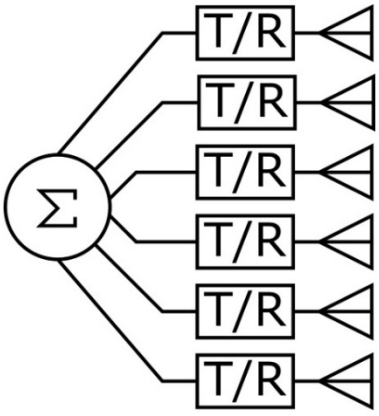
รูปที่ 6ก แถวลำดับบังคับเลี้ยวลำคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์แบบพาสซีฟ (Passive Electronically Steered Array)

สายอากาศเฟสแถวลำดับ ประกอบด้วยสายอากาศขนาดเล็กหลายองค์ประกอบที่มีจำนวนตั้งแต่สายอากาศสองสามองค์ประกอบไปจนถึงหลายร้อยหรือหลายพันองค์ประกอบ เพื่อลดขนาดโดยรวม ควรใช้สายอากาศเฟสแถวลำดับ (Phased Array) สำหรับการใช้งานที่มีความถี่สูง เนื่องจากขนาดของสายอากาศจะแปรผกผันกับความถี่ในการปฏิบัติงาน ดังนั้นยิ่งความถี่สูงสายอากาศก็จะยิ่งเล็กลง ทำให้สายอากาศเฟสแถวลำดับเป็นตัวเลือกที่ยอดเยี่ยมสำหรับแอปพลิเคชัน mm-Wave 5G และแอปพลิเคชันความถี่สูงอื่น ๆ

ประเภทของสายอากาศเฟสแถวลำดับ (Phased Array Antennas) มีหลายประเภท แต่อย่างไรก็ตาม มีสี่ประเภทที่ใช้กันทั่วไป คือ Passive Electronically Steered Array (PESA), Active Electronically Steered Array (AESA), digital beamforming (DBF), และ Hybrid Beam Forming (HBF)

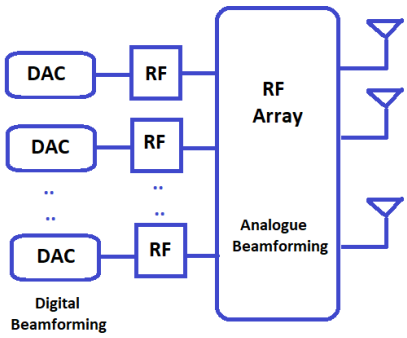
Passive Electronically Steered Array (PESA) เป็นสายอากาศแบบเฟสแถวลำดับประเภทหนึ่งที่ใช้เครื่องส่งสัญญาณเดียวสำหรับองค์ประกอบสายอากาศทั้งหมดที่มีอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 6ก ในการตั้งค่านี้องค์ประกอบสายอากาศแต่ละตัวมีตัวเปลี่ยนเฟสซึ่งเฟสจะเปลี่ยนสัญญาณตามที่สายอากาศต้องการเพื่อควบคุมลำคลื่นสายอากาศ สายอากาศแถวลำดับแบบพาสซีฟที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบพาสซีฟถือได้ว่าเป็นสายอากาศเฟสแถวลำดับรุ่นแรกและมีการใช้ในการใช้งานทางการทหารและเชิงพาณิชย์ต่าง ๆ อย่างมากมาย

Active Electronically Steered Array (AESA) เป็นสายอากาศแถวลำดับรุ่นที่สอง ในส่วนนี้มีเครื่องส่งสัญญาณแยกกันสำหรับสายอากาศแต่ละตัว ซึ่งทั้งหมดนี้ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ การตั้งค่านี้ล้ำหน้ากว่า PESA และามารถส่งคลื่นวิทยุหลายคลื่นความถี่ต่างกันไปพร้อมกันในทิศทางที่ต่างกันได้ ดังรูปที่ 7ก



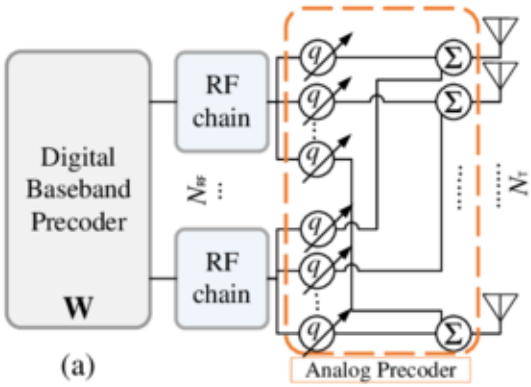
รูปที่ 7ก แถวลำดับบังคับเลี้ยวลำคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์แบบแอคทีฟ (Active Electronically Steered Array)

Digital Beam Forming (DFB) เป็นแถวลำดับแบบแบ่งเฟสที่มีตัวรับสัญญาณดิจิทัลที่เชื่อมต่อกับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ เนื่องจากสัญญาณถูกแปลงเป็นดิจิทัลที่องค์ประกอบสายอากาศแต่ละส่วนโดยเครื่องรับนี้ทำให้ลำคลื่นสายอากาศสามารถสร้างขึ้นแบบดิจิทัลใน Field Programmable Gate Array (FPGA) ดังรูปที่ 8ก



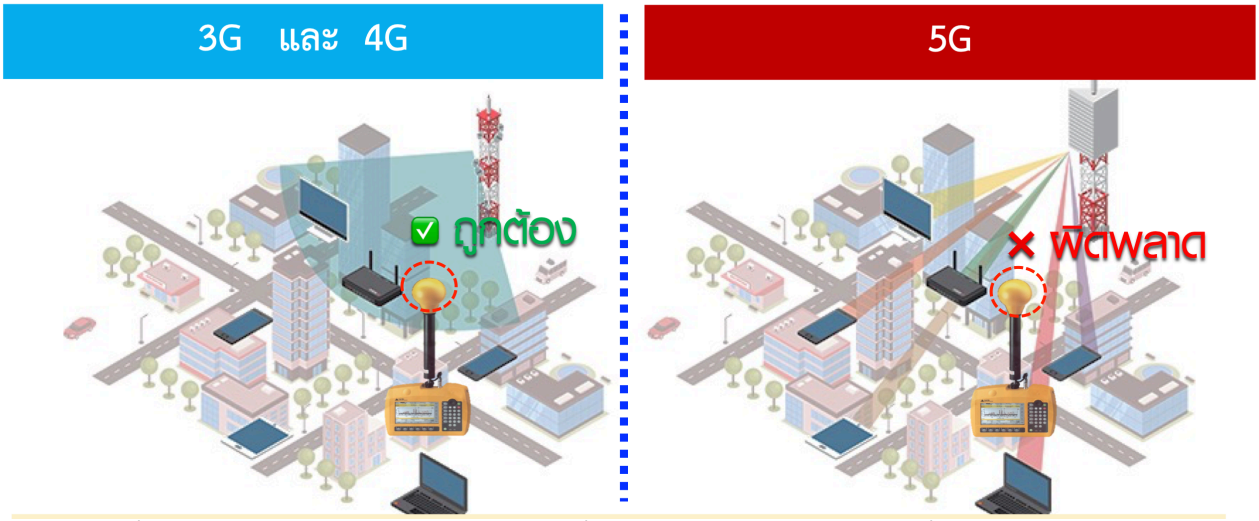
รูปที่ 8ก แถวลำดับปรับลำคลื่นทางดิจิทัล (Digital Beam Forming (DFB)

Hybrid Beam Forming (HBF) ถือเป็นการผสมผสานระหว่าง PESA และ AESA โดยที่ HBF ใช้แถงลำดับย่อยขององค์ประกอบสายอากาศซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องส่งสัญญาณแยกต่างหาก แถวลำดับเต็มรูปแบบเกิดขึ้นจากการรวมแถวลำดับย่อยเหล่านี้ เนื่องจากการมีอยู่ของแถวลำดับย่อยหลายชุด จึงสามารถสร้างกลุ่มของลำแสงพร้อมกันได้โดยใช้ HBF ได้ ดังรูปที่ 9ก



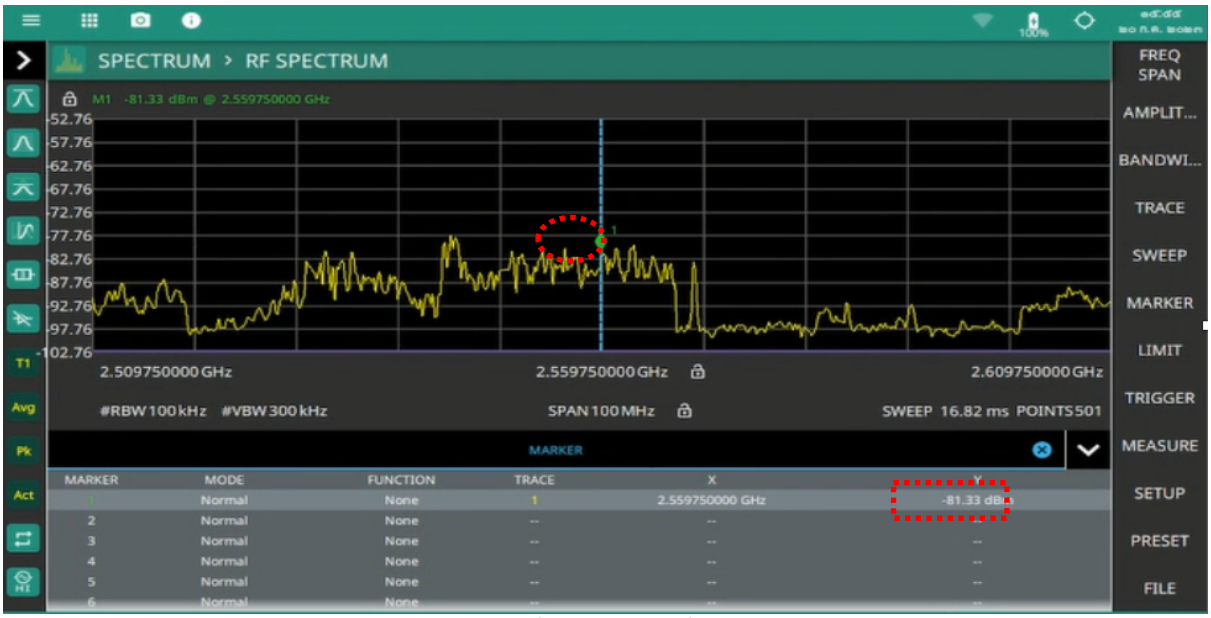
รูปที่ 9ก แถวลำดับปรับลำคลื่นแบบผสม (Hybrid Beam Forming (HBF)

สายอากาศเฟสแถวลำดับถูกใช้สำหรับการใช้งานทางทหารมาหลายปีแล้ว มักถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในระบบเรดาร์ แต่การใช้งานได้เติบโตขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ปัจจุบันมีการใช้ในการแพร่ภาพกระจายเสียง การสื่อสารในอวกาศ การวิจัยสภาพอากาศ ออปติก อินเทอร์เฟซระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร ฯลฯ สายอากาศเฟสแถวลำดับยังใช้สำหรับเทคโนโลยีไร้สายเชิงพาณิชย์ใหม่ ๆ เช่น 5G และ WiFi6 ด้วย



รูปที่ 10ก แสดงเทคโนโลยี Beamforming ที่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดคลื่น 5G

จากรูปที่ 10ก แสดงการตรวจวัดความแรงคลื่นฯ ในระบบ 2G/ 3G/ 4G เดิม ซึ่งไม่มีเทคโนโลยี Beamforming การตรวจวัดสามารถทำได้โดย นำเครื่องมือวัดเข้าไปติดตั้งภายในพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ (Coverage area) ของสถานีฐานที่ต้องการดำเนินการตรวจวัด และสามารถเริ่มทำการวัดค่าความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ณ จุดที่สนใจได้ และจากรูปที่ 1(ข) แสดงให้เห็นว่า เมื่อสถานีฐานเป็นระบบ 5G และใช้เทคโนโลยี Beamforming นั้น ผู้ตรวจวัดไม่สามารถทราบได้ว่า ลำคลื่นของสัญญาณที่ส่งจากสถานีฐานไปยังลูกข่ายนั้นอยู่ในทิศทางใด ซึ่งหากนำเครื่องมือวัดไปติดตั้งโดยไม่อยู่ในทิศทางที่ลำคลื่นส่งสัญญาณมายังลูกข่ายแล้วนั้น จะทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อน โดยความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าจริงอยู่มาก (รายละเอียดดังรูปที่ 11ก และ 12ก)



รูปที่ 11ก แสดงค่าความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
กรณีติดตั้งเครื่องมือวัดโดยไม่อยู่ในทิศทางที่ลำคลื่นส่งสัญญาณมายังลูกข่าย

รูปที่ 12ก แสดงค่าความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
กรณีติดตั้งเครื่องมือวัดอยู่ในทิศทางที่ลำคลื่นส่งสัญญาณมายังลูกข่าย

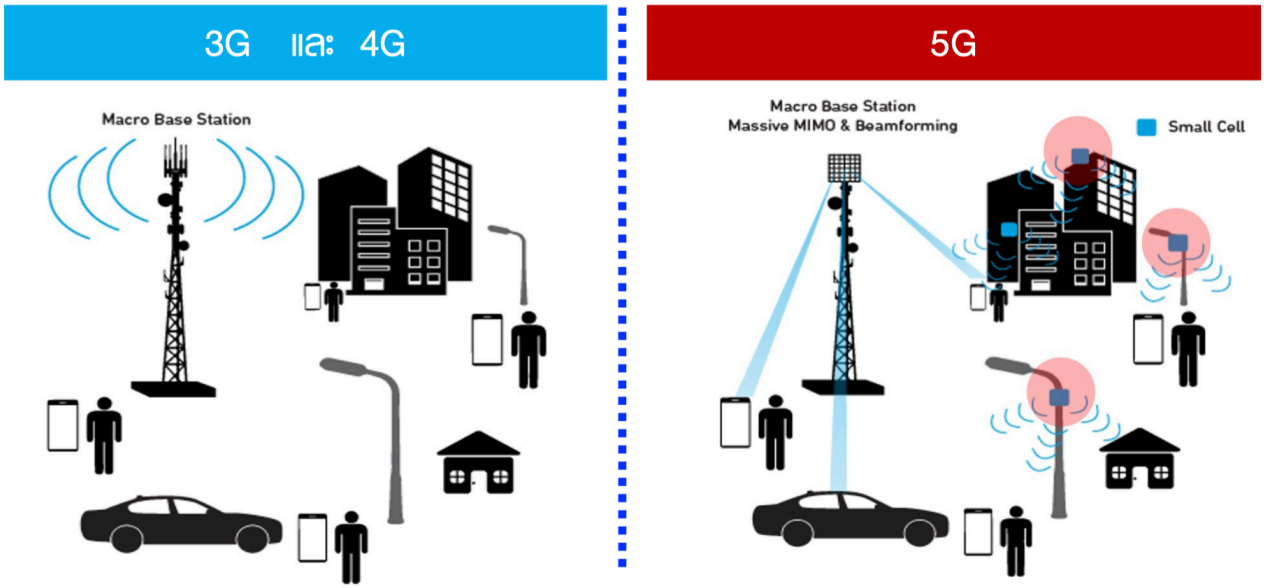
3. การสื่อสารคลื่น 5G โดยใช้คลื่นความถี่สูงขึ้น (mmWave)

ระบบ 5G นั้น เป็นการสื่อสารที่ต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูง และเทคนิคสำคัญที่ระบบ 5G นำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูลคือ การใช้คลื่นความถี่สูง (mmWave) ร่วมกับการใช้การใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งสายอากาศในการส่งและรับข้อมูล (Massive MIMO) และด้วยข้อจำกัดที่สำคัญของการใช้งานคลื่นความถี่สูง (mmWave) คือ มีอัตราการลดทอนคลื่นสูงที่ระยะทางไกลออกไป ระบบ 5G จึงได้นำเทคนิค

Beamforming มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการใช้คลื่นความถี่สูง (mmWave) เพื่อช่วยในการปรับลำคลื่นให้ชี้ทิศไปยังอุปกรณ์ลูกข่ายในระยะทางที่ไกลออกไปได้

การใช้คลื่นความถี่สูง (mmWave) ร่วมกับเทคนิค Beamforming นั้น สามารถช่วยให้สถานีฐาน (Base station) สามารถสื่อสารกับลูกข่ายที่ไกลออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ก็จริง แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการลดทอนของคลื่นความถี่สูงต่อระยะทาง ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คลื่น 5G ช่วงความถี่สูง (mmWave) นั้นไม่สามารถใช้งานในระยะไกลได้เฉกเช่นเดียวกับคลื่นความถี่ต่ำที่มีกำลังส่งเท่ากัน จึงเป็นเหตุให้ มีการออกแบบการใช้งานคลื่น 5G ความถี่สูง (mmWave) นั้น เป็นลักษณะของสถานีฐานชนิด Small cell

สถานีวิทยุคมนาคม 5G แบบ Small cell คือ สถานีวิทยุคมนาคม 5G ชนิดติดตั้งภายใน หรือภายนอกอาคารที่ความสูงไม่เกิน 10 เมตร ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นในระบบ 5G เพื่อเพิ่มพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ (Coverage area) ภายในอาคาร หรือภายนอกอาคารที่ต้องการใช้งานระบบ 5G ในเขตชุมชนที่คลื่น 5G จากสถานีฐานขนาดใหญ่ไม่ครอบคลุม หรือในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด ไม่สามารถติดตั้งสถานีฐานขนาดใหญ่ได้ รายละเอียดดังรูปที่ 12ก



รูปที่ 12ก แสดงสถานีวิทยุคมนาคมขนาดใหญ่ (Macro) และสถานีวิทยุคมนาคมที่มีขนาดเล็ก (Small cell)

สถานีวิทยุคมนาคม 5G แบบ Small cell ถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดคลื่น 5G ในประเทศไทย เนื่องจากคู่มือการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม ปี 2554 รองรับเพียงสถานีฐานที่มีขนาดใหญ่ (Macro base station) เท่านั้น โดยคู่มือฉบับนี้ ยังไม่รองรับการตรวจวัดสถานีวิทยุคมนาคมที่มีขนาดเล็ก (Small cell)

4. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศด้านการป้องกันรังสีชนิดไม่ก่อไอออน หรือที่รู้จักในนาม ICNIRP (International Commission on Non- Ionizing Radiation Protection) ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมทางวิทยาศาสตร์เพื่อระบุเกณฑ์สุขภาพและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ RF-EMF และอื่นๆ ที่พิจารณาว่าส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์และได้รับการพิสูจน์โดยนักวิทยาศาสตร์ ข้อมูลได้มาจากการทบทวนวรรณกรรมระดับนานาชาติที่สำคัญ รวมถึงการทบทวนเชิงลึกโดยองค์การอนามัยโลก และงานวิจัยที่เผยแพร่ ICNIRP พิจารณาหลักฐานของสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์และอื่นๆ จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมด “รวมถึงการได้รับคลื่นในระดับต่ำ ในลักษณะที่ไม่ใช่ความร้อน และรวมถึงกลไกที่ไม่สามารถอธิบายได้” ความเสี่ยงทั้งหมดได้รับการพิจารณาในแง่ของว่ามีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่

ICNIRP สรุปว่า ผลกระทบต่อการสุขภาพของมนุษย์ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีเพียงอย่างเดียวคือ ร่างกายของมนุษย์ส่วนที่ได้รับคลื่นจะเกิดความร้อนเพิ่มสูงขึ้น และ ICNIRP ยังได้ระบุว่า” ไม่มีหลักฐานที่สามารถชี้ชัดได้ว่า การได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (เช่น แบบรูปคลื่น sine) และแบบไม่ต่อเนื่อง (เช่น แบบพัลส์) จะส่งผลให้เกิดผลกระทบทางชีววิทยาที่แตกต่างกัน” [5]

4.1 การวิจัยด้านสุขภาพ EMF คลื่นความถี่วิทยุของ ICNIRP

เพื่อกำหนดระดับการรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF) ที่ปลอดภัย ICNIRP ได้พิจารณาหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่วิทยุ (RF-EMF) เกี่ยวกับผลกระทบสุขภาพ โดยผลกระทบในแต่ละด้านได้รับการพิสูจน์แล้ว ข้อมูลนี้ได้มาจากการทบทวนวรรณกรรมระดับนานาชาติที่สำคัญที่เกี่ยวกับ EMF ของคลื่นวิทยุและสุขภาพเป็นหลัก ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบเชิงลึกจากองค์การอนามัยโลกเกี่ยวกับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF) และสุขภาพ ที่ได้รับการเผยแพร่เป็นร่างเอกสารทางเทคนิค (WHO 2014) และรายงานโดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ว่าด้วยความเสี่ยงด้านสุขภาพที่เกิดขึ้นใหม่และที่ระบุใหม่ (SCENIHR 2015) และหน่วยงานความปลอดภัยด้านรังสีของสวีเดน (SSM 2015, 2016, 2018) รายงานเหล่านี้ได้ตรวจสอบเนื้อหาของวรรณกรรมที่กว้างขวาง ตั้งแต่การวิจัยเชิงทดลองไปจนถึงระบาดวิทยา และรวมถึงการพิจารณาสุขภาพในเด็กและบุคคลเหล่านั้นที่คิดว่ามีความไวต่อ EMF ของคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อเสริมรายงานเหล่านั้น ICNIRP ยังพิจารณางานวิจัยที่เผยแพร่ตั้งแต่การทบทวนเหล่านั้น โดยมีข้อสรุปหลักดังนี้

นอกเหนือจากการกระตุ้นเส้นประสาท (อธิบายไว้ใน ICNIRP 2010) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่วิทยุ (RF-EMF) สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายผ่านผลกระทบทางชีวภาพหลักสองประการ คือ การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดซับคลื่นผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และอุณหภูมิร่างกายที่เพิ่มสูงขึ้น

4.2 เกณฑ์สำหรับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่วิทยุ (RF-EMF)

การกระตุ้นประสาทสัมผัส [5] การได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF) สามารถเกิดการกระตุ้นสนามไฟฟ้าภายในร่างกายได้ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงถึง 10 MHz สามารถกระตุ้นเส้นประสาทได้ (Saunders and Jeffreys 2007) ผลของการกระตุ้นนี้จะแตกต่างกันไปตามฟังก์ชันของคลื่นความถี่ และโดยทั่วไปจะรายงานว่าเป็น

ความรู้สึก "เสียวแปลบปลาบ" สำหรับความถี่ประมาณ 100 kHz เมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น จะเกิดผลกระทบจากความร้อนเข้ามาแทนที่และโอกาสของการเกิดการกระตุ้นประสาทสัมผัสจะลดลงที่ความถี่ ประมาณ 10 MHz ผลของสนามไฟฟ้าโดยทั่วไปจะอธิบายว่าเป็นความรู้สึก "อุ่น" การกระตุ้นประสาทโดยสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีรายละเอียดอยู่ใน ICNIRP (2010)

การเปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ [5] เมื่อได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF) แบบพัลส์ความถี่ต่ำ พลังงานจะถูกกระจายไปทั่วช่วงความถี่ ซึ่งอาจรวมถึงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่วิทยุ (RF-EMF) (Joshi และ Schoenbach 2010) หากพัลส์ที่ได้รับมีความเข้มข้นและสั้นเพียงพอ การได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF) ที่อาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของเซลล์อื่นๆ ได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีหลักฐานแน่ชัดว่า ส่วนประกอบสเปกตรัมคลื่นความถี่วิทยุจากพัลส์ EMF (โดยไม่มีส่วนประกอบความถี่ต่ำ) จะเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ ข้อจำกัดเกี่ยวกับการกระตุ้นประสาทสัมผัสในแนวทางปฏิบัติของ ICNIRP (2010) เพียงพอที่จะทำให้แน่ใจว่า การเปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์จะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF) เพิ่มเติม การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ ยังแสดงให้เห็นว่าเกิดขึ้นได้จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 18 GHz (เช่น Nguyen et al. 2015) สิ่งนี้แสดงให้เห็นในหลอดทดลองเท่านั้น และผลที่ได้นั้นต้องการระดับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สูงมาก (ประมาณ 5 กิโลวัตต์ kg^{-1} ในช่วงเวลาหลายนาที) ซึ่งมีความแรงมากกว่าระดับที่ทำให้เกิดอันตรายจากความร้อนอยู่มาก (ดูหัวข้อ “อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น”) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องกำหนดข้อจำกัดเพื่อป้องกันผลกระทบนี้โดยเฉพาะ เนื่องจากข้อจำกัดที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันอุณหภูมิที่สูงขึ้นเล็กน้อยที่อธิบายไว้ในหัวข้อ “อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น” ก็จะช่วยป้องกันสิ่งนี้ได้เช่นกัน

อุณหภูมิร่างกายเพิ่มสูงขึ้น [5] การได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่วิทยุสามารถทำให้ร่างกายมนุษย์เกิดอุณหภูมิความร้อนเพิ่มสูงขึ้นได้ และนี่เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องรักษาความร้อนนี้ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยเกี่ยวกับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เพียงพอที่จะอธิบายได้ว่า ร่างกายมนุษย์ต้องได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในปริมาณเท่าใด จึงจะสามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากความร้อน ที่น่าสังเกตคือ แม้ว่าการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (และส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น) ในบางครั้งอาจก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรง แต่เอกสารดังกล่าวยังขาดหลักฐานที่สอดคล้องกันปริมาณการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดที่ส่งผลต่อการก่อให้เกิดอันตราย สำหรับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับที่ต่ำมาก มีหลักฐานมากมายว่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดอันตราย

ภาคผนวก ข

รายงานผลการศึกษามาตรฐานการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ในระดับสากล

มาตรฐานการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม 5G ในระดับสากล

1. มาตรฐานการตรวจวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในประเทศไทย

ในประเทศไทย สำนักงาน กสทช. ประกาศกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคม กทช. มท. 5001-2550 [3] เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2550 โดยมาตรฐานนี้ได้กำหนดขีดจำกัดและวิธีการวัดสำหรับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์ จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคมในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz – 300 GHz โดยแบ่งกลุ่มของผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน (Occupational exposure) หมายถึง กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอันเป็นผลมาจากการทำงานภายใต้สภาวะที่ทราบค่า และได้รับการฝึกอบรมให้ตระหนักถึงความเสี่ยงอันเป็นผลมาจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในขณะทำงาน และกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป (General public exposure) หมายถึง กลุ่มประชาชนทั่วไปที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ได้ตระหนักถึงอันตรายจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากนัก และไม่มีการระมัดระวังตนเองเพื่อลดหรือหลีกเลี่ยงการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มาตรฐานนี้ ได้กำหนดขีดจำกัดของระดับความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป (General public exposure) ให้เข้มงวดกว่ากลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน (Occupational exposure)

1.1 ประเภทของเครื่องวิทยุคมนาคม

เครื่องวิทยุคมนาคมที่อยู่ภายใต้มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์ กทช. มท. 5001-2550 แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1.1.1 เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งส่วนประกอบที่สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ใกล้ชิดกับบริเวณศีรษะหรืออยู่ห่างจากร่างกายน้อยกว่า 20 เซนติเมตรในตำแหน่งใช้งานปกติ ซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทนี้ ต้องได้รับการประเมินค่าอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate – SAR) โดยต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

1.1.2 เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งส่วนประกอบที่สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่อยู่ห่างจากร่างกายไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตรในตำแหน่งใช้งานปกติ ซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทนี้ ไม่ต้องรับการประเมินค่าอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (SAR) แต่ต้องได้รับการประเมินระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field Strength) โดยต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

1.1.3 เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ถาวร และมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมบริเวณกว้าง ซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทนี้รวมถึง สถานีวิทยุคมนาคมในกิจการประจำที่ (fixed station) และสถานีฐาน (base station) โดยเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทนี้ ไม่ต้องรับการประเมินค่าอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (SAR) แต่ต้องได้รับการประเมินระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field Strength) โดยต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

1.2 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในประเทศไทย

มาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 ได้กำหนดขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคมในประเทศไทยในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz - 300 GHz โดยอ้างอิงขีดจำกัดตามเอกสาร ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz) ปี 1998 ซึ่งจัดทำขึ้นโดย International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) โดยกำหนดขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1.2.1 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากเครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งส่วนประกอบที่สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ใกล้ชิดกับบริเวณศีรษะหรืออยู่ห่างจากร่างกายน้อยกว่า 20 เซนติเมตรในตำแหน่งใช้งานปกติ

1.2.2 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากเครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งส่วนประกอบที่สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่อยู่ห่างจากร่างกาย ไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตรในตำแหน่งใช้งานปกติ และเครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ถาวร และมีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมบริเวณกว้าง โดยมีขีดจำกัดดังแสดงในตารางดังนี้

ตารางที่ 1ข แสดงขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1) ขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน

ความถี่	E-field strength (V/m)	H-field strength (A/m)	equivalent plane wave power density S_{eq} (W/m^2)
9 kHz – 65 kHz	610	24.4	-
65 kHz – 1 MHz	610	$1.6/f$	-
1 MHz – 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	-
10 MHz – 400 MHz	61	0.16	10
400 MHz – 2 GHz	$3f^{½}$	$0.008f^{½}$	$f/40$
2 GHz – 300 GHz	137	0.36	50

2) ขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

ความถี่	E-field strength (V/m)	H-field strength (A/m)	equivalent plane wave power density S_{eq} (W/m^2)
9 kHz – 150 kHz	87	5	-
150 kHz – 1 MHz	87	$0.73/f$	-
1 MHz – 10 MHz	$87/f^{½}$	$0.73/f$	-
10 MHz – 400 MHz	28	0.073	2
400 MHz – 2 GHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{½}$	$f/200$
2 GHz – 300 GHz	61	0.16	10

1.2.3 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดมากกว่าหนึ่งแหล่งในช่วงเวลาเดียวกัน โดยกำหนดให้ใช้ขีดจำกัดดังตารางที่ 1 โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\sum_{i=100\,\mathrm{kHz}}^{1\,\mathrm{MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1\,\mathrm{MHz}}^{300\,\mathrm{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}}\right)^2 \le 1$$

$$\sum_{j=100\,\mathrm{kHz}}^{1\,\mathrm{MHz}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1\,\mathrm{MHz}}^{300\,\mathrm{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}}\right)^2 \le 1$$

หมายเหตุ: E_i คือ ความแรงสนามไฟฟ้า ณ ความถี่ i

$E_{l,i}$ คือ ระดับขีดจำกัด ณ ความถี่ i

H_j คือ ความแรงสนามแม่เหล็ก ณ ความถี่ j

$H_{l,j}$ คือ ระดับขีดจำกัด ณ ความถี่ j

c มีค่าเท่ากับ $610/f$ V/m (f มีหน่วยเป็น MHz) สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และมีค่าเท่ากับ $87/f^{1/2}$ V/m สำหรับกลุ่มผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

d มีค่าเท่ากับ $1.6/f$ A/m (f มีหน่วยเป็น MHz) สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และมีค่าเท่ากับ $0.73/f$ สำหรับกลุ่มผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

1.3 วิธีการตรวจวัดระดับความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

มาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 กำหนดวิธีการวัดระดับความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากเครื่องวิทยุคมนาคม แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1.3.1 วิธีการวัดค่าอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ(SAR) อ้างอิงมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน IEC 62209-1 (2005), EN 50361 (2001) และ IEEE Std (2003)

1.3.2 วิธีการวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field Strength) อ้างอิงมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน IEC 61566 (1997), ITU-T Recommendation K.52 (2004), ITU-T Recommendation K.61 (2003) และ ANSI/IEEE C95.3 (2002)

2. มาตรฐานการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับสากล

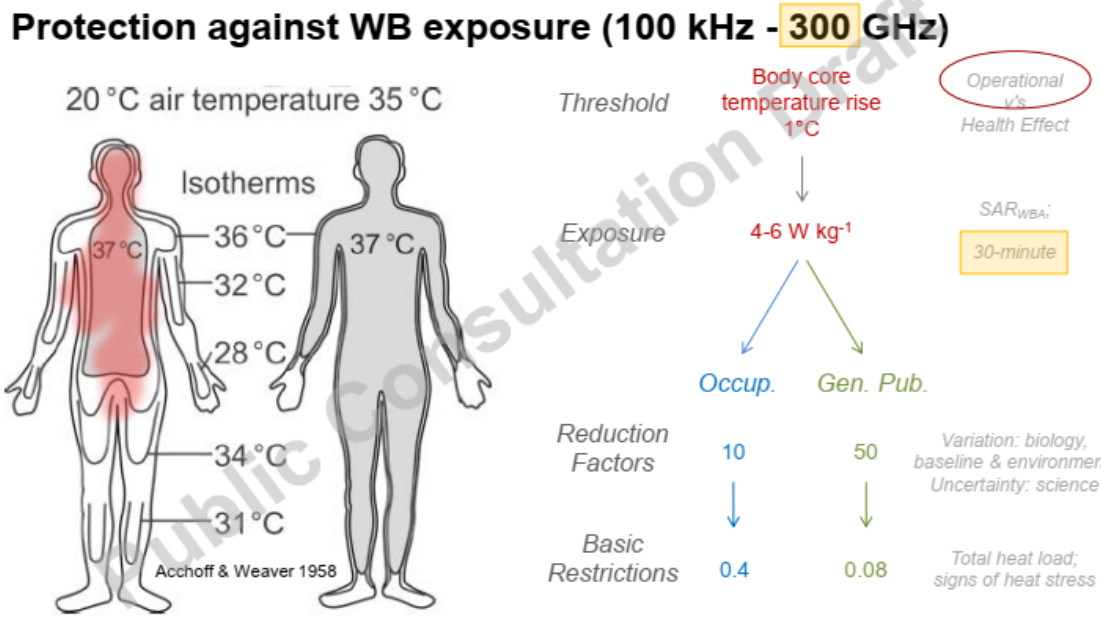
องค์การอนามัยโลก (World Health Organization – WHO) ได้จัดตั้งโครงการอีเอ็มเอฟระหว่างประเทศขึ้นมา เมื่อ พ.ศ. 2539 เพื่อประเมินหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ของผลกระทบต่อสุขภาพที่เป็นไปได้ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่จาก 0 ถึง 300 กิกะเฮิรตซ์ รวมทั้งย่านความถี่เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โครงการนี้ได้รับการควบคุมโดยคณะกรรมการที่ปรึกษาระหว่างประเทศ ซึ่งประกอบด้วยผู้แทนองค์กรระหว่างประเทศ ผู้แทนศูนย์ประสานงานขององค์การอนามัยโลก และผู้แทนหน่วยงานรัฐบาลกว่า 50 ประเทศ

คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศด้านการป้องกันรังสีชนิดไม่ก่อไอออน หรือที่รู้จักในนาม ICNIRP (International Commission on Non- Ionizing Radiation Protection) [2] ก่อตั้งขึ้นที่เมืองมิวนิค ประเทศเยอรมัน เป็นองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไรที่มีพันธกิจด้านวิทยาศาสตร์ ได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการ โดยความร่วมมือจาก องค์กรพัฒนาเอกชน (NGOs) โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การแรงงานระหว่างประเทศ (ILO) มีหน่วยงานคณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission) เป็นผู้ให้คำปรึกษา และมีความเชื่อมโยงกับหลายองค์กรที่มีส่วนร่วมในการป้องกันการแผ่รังสีที่ไม่ทำให้เกิดไอออนทั่วโลก

คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศด้านการป้องกันรังสีชนิดไม่ก่อไอออน (ICNIRP) จัดตั้งขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ปกป้องผู้คน และสิ่งแวดล้อมจากผลกระทบอันไม่พึงประสงค์ของการแผ่รังสีที่ไม่ทำให้เกิดไอออน โดยทำการพัฒนา และเผยแพร่ข้อมูลทางวิชาการเกี่ยวกับ การจำกัดผลกระทบจากการสัมผัสการแผ่รังสีที่ไม่ทำให้เกิดไอออน

ICNIRP ได้จัดทำ ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz) โดยเริ่มประกาศใช้อย่างเป็นทางการในปี 1998 โดยในปัจจุบัน ICNIRP ได้จัดทำเอกสาร ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) และเริ่มเผยแพร่อย่างเป็นทางการเมื่อ มีนาคม 2563

ICNIRP Guidelines จัดทำขึ้นเพื่อ ปกป้องมนุษย์จากการได้รับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF) ในช่วงความถี่ 100 kHz to 300 GHz โดยการจำกัดปริมาณการได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของมนุษย์ ICNIRP ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อการได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ 100 kHz to 300 GHz



รูปที่ 1ข สภาวะปกติอุณหภูมิในร่างกายมนุษย์เมื่อได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: Rodney Croft, ICNIRP Radiofrequency Guidelines Public Consultation version , June 2018

จากผลการศึกษาดังรูปที่ 1ข พบว่า ในสภาวะปกติอุณหภูมิในร่างกายมนุษย์ช่วงลำตัวจะมีค่าที่ประมาณ 37 °C และเมื่อร่างกายมนุษย์ได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความแรง 4 ถึง 6 W/kg ในช่วงความถี่ 100 kHz to 300 GHz ภายในเวลาเฉลี่ย 30 นาที จะทำให้อุณหภูมิในร่างกายมนุษย์ช่วงลำตัว (Body core) เพิ่มสูงขึ้น 1 °C ในขณะที่อุณหภูมิในร่างกายเพิ่มสูงขึ้นจากการได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่หลากหลาย ตามมา ICNIRP Guidelines จึงได้กำหนดตัวประกอบการลดทอน (Reduction factor) ขึ้น โดยกำหนดให้ กลุ่มผู้ได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานมีค่าตัวประกอบการลดทอน (Reduction factor) เท่ากับ 10 (ลดลง 10 เท่า) และกลุ่มผู้ได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไปมีค่าตัวประกอบการลดทอน (Reduction factor) เท่ากับ 50 (ลดลง 50 เท่า) เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1 ขีดจำกัดการได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตาม ICNIRP Guidelines

ปัจจุบัน ICNIRP ได้เผยแพร่ ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) ปี2020 ออกมาใช้งานอย่างเป็นทางการ โดยได้กำหนดขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.1.1 ประเภทที่ 1 ดังตารางที่ 5: Reference levels for exposure, averaged over 30 min and the whole body, to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz (unperturbed rms values)

ตารางที่ 5 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอ้างอิงเฉลี่ยทั่วร่างกายในเวลามากกว่า 30 นาที ในช่วงความถี่ 100 kHz ถึง 300 GHz

Exposure scenario	Frequency range	Incident E-field strength; E_{inc} (V m^{-1})	Incident H-field strength; H_{inc} (A m^{-1})	Incident power density; S_{inc} (W m^{-2})
Occupational	0.1 – 30 MHz	$660/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	61	0.16	10
	>400 – 2000 MHz	$3f_M^{0.5}$	$0.008f_M^{0.5}$	$f_M/40$
	>2 – 300 GHz	NA	NA	50
General public	0.1 – 30 MHz	$300/f_M^{0.7}$	$2.2/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	27.7	0.073	2
	>400 – 2000 MHz	$1.375f_M^{0.5}$	$0.0037f_M^{0.5}$	$f_M/200$
	>2 – 300 GHz	NA	NA	10

หมายเหตุ:

1. “NA” หมายถึง “ไม่เกี่ยวข้อง” และไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการพิจารณาการปฏิบัติตาม
2. f_M คือ ความถี่ในหน่วย MHz
3. S_{inc}, E_{inc} และ H_{inc} จะต้องเฉลี่ยมากกว่า 30 นาที ทั่วพื้นที่ร่างกาย การหาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่และชั่วคราวของแต่ละ E_{inc} และ H_{inc} จะต้องดำเนินการโดยการหาค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ากำลังสองที่เกี่ยวข้อง
4. สำหรับความถี่ 100 kHz ถึง 30 MHz โดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของโซนสนามระยะไกล/สนามระยะใกล้ การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นหากไม่มีค่า E_{inc} หรือ H_{inc} เกินกว่าค่าระดับอ้างอิงข้างต้น
5. สำหรับความถี่ >30 MHz ถึง 2 GHz: ภายในโซนสนามระยะไกล: การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้าทั้ง S_{inc}, E_{inc} หรือ H_{inc} ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น (จำเป็นต้องมีเพียงค่าเดียวเท่านั้น); S_{eq} อาจถูกแทนที่ด้วย S_{inc}; (b) ภายในโซนรัศมีใกล้สนาม การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้า S_{inc} หรือทั้ง E_{inc} และ H_{inc} ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น และ (c) ภายในโซนใกล้สนามปฏิกิริยา: การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นหากทั้ง E_{inc} และ H_{inc} ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น ไม่สามารถใช้ S_{inc} เพื่อแสดงถึงการปฏิบัติตามข้อกำหนดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินข้อจำกัดพื้นฐาน
6. สำหรับความถี่ >2 GHz ถึง 300 GHz: (a) ภายในโซนสนามระยะไกล: การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้า S_{inc} ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น S_{eq} อาจถูกแทนที่ด้วย S_{inc}; (b) ภายในโซนสนามระยะใกล้ การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้า S_{inc} ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น และ (c) ภายในโซนระยะใกล้ปฏิกิริยา ไม่สามารถใช้ระดับอ้างอิงเพื่อกำหนดความสอดคล้องได้ ดังนั้น ข้อจำกัดพื้นฐานจึงต้องได้รับการประเมิน

ที่มา: ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) ปี2020

2.1.2 ประเภทที่ 2 ดังตารางที่ 6: Reference levels for local exposure, averaged over 6 min, to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz (unperturbed rms values)

ตารางที่ 6 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอ้างอิงเฉลี่ยเฉพาะที่ในเวลามากกว่า 6 นาทีในช่วงความถี่ 100 kHz ถึง 300 GHz

Exposure scenario	Frequency range	Incident E-field strength; E_{inc} (V m^{-1})	Incident H-field strength; H_{inc} (A m^{-1})	Incident power density; S_{inc} (W m^{-2})
Occupational	0.1 – 30 MHz	$1504/f_M^{0.7}$	$10.8/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	139	0.36	50
	>400 – 2000 MHz	$10.58f_M^{0.43}$	$0.0274f_M^{0.43}$	$0.29f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	NA	NA	200
	>6 – <300 GHz	NA	NA	$275/f_G^{0.177}$
	300 GHz	NA	NA	100
General public	0.1 – 30 MHz	$671/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	62	0.163	10
	>400 – 2000 MHz	$4.72f_M^{0.43}$	$0.0123f_M^{0.43}$	$0.058f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	NA	NA	40
	>6 – 300 GHz	NA	NA	$55/f_G^{0.177}$
	300 GHz	NA	NA	20

หมายเหตุ:

1. “NA” หมายถึง “ไม่เกี่ยวข้อง” และไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการพิจารณาการปฏิบัติตาม
2. f_M คือ ความถี่ในหน่วย MHz, f_G คือ ความถี่ในหน่วย GHz
3. จะต้องหาค่าเฉลี่ย S_{inc}, E_{inc} และ H_{inc} เป็นเวลา 6 นาที และหากมีการระบุค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ไว้ในหมายเหตุ 6-7 เหนือพื้นที่ของร่างกายที่คาดการณ์ไว้ที่เกี่ยวข้อง การหาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่และชั่วคราวของแต่ละ E_{inc} และ H_{inc} จะต้องดำเนินการโดยการหาค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ากำลังสองที่เกี่ยวข้อง (ดูรายละเอียดใน e_{qn} 8 ในภาคผนวก A)
4. สำหรับความถี่ 100 kHz ถึง 30 MHz โดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของโซนสนามระยะไกล/ระยะใกล้ การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้าไม่มี E_{inc} เชิงพื้นที่สูงสุดหรือ H_{inc} เชิงพื้นที่สูงสุดเหนือพื้นที่ทั้งหมดที่คาดการณ์ไว้ เกินระดับอ้างอิงข้างต้น
5. สำหรับความถี่ >30 MHz ถึง 6 GHz: (a) ภายในโซนสนามระยะไกล การปฏิบัติตามข้อกำหนดจะแสดงให้เห็นหากค่าสูงสุดของ S_{inc}, E_{inc} หรือ H_{inc} เชิงพื้นที่เหนือพื้นที่ทั้งหมดที่คาดการณ์ไว้ไม่เกินค่าอ้างอิงข้างต้น ค่าระดับ (ต้องการเพียงค่าเดียว); S_{eq} อาจถูกแทนที่ด้วย S_{inc}; (b) ภายในเขตใกล้สนามแพร่คลื่น การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้าค่าสูงสุดเชิงพื้นที่ S_{inc} หรือทั้ง E_{inc} และ H_{inc} เชิงพื้นที่สูงสุดเหนือพื้นที่ทั้งหมดที่คาดการณ์ไว้ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น และ (c) ภายในโซนใกล้สนามปฏิกิริยา: การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นหากทั้ง E_{inc} และ H_{inc} ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น ไม่สามารถใช้ S_{inc} เพื่อแสดงความสอดคล้อง; สำหรับความถี่ >2 GHz จะไม่สามารถใช้ระดับอ้างอิงเพื่อกำหนดความสอดคล้องได้ ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินข้อจำกัดพื้นฐาน
6. สำหรับความถี่ >6 GHz ถึง 300 GHz: (a) ภายในโซนสนามระยะไกล การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้า S_{inc} ซึ่งมีค่าเฉลี่ยบนพื้นที่ผิวตัวเครื่องที่ฉายภาพเป็นตารางขนาด 4-cm^2 ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น S_{eq} อาจถูกแทนที่ด้วย S_{inc}; (b) ภายในโซนสนามระยะใกล้ การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้า S_{inc} ซึ่งมีค่าเฉลี่ยบนพื้นที่ผิวกายที่คาดการณ์ไว้เป็นตารางขนาด 4 cm^2 ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น และ (c) ภายในระดับอ้างอิงโซนใกล้สนามปฏิกิริยาไม่สามารถใช้เพื่อกำหนดความสอดคล้องได้ ดังนั้นข้อจำกัดพื้นฐานจึงต้องได้รับการประเมิน
7. สำหรับความถี่ >30 GHz ถึง 300 GHz การได้รับคลื่นเฉลี่ยบนพื้นผิวขนาด 1 cm^2 ต้องไม่เกินสองเท่าของข้อจำกัดตาราง 4 cm^2

ที่มา: ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) ปี2020

2.1.3 ประเภทที่ 3 ดังตารางที่ 7: Reference levels for local exposure, integrated over intervals of between > 0 and < 6 minutes, to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz (unperturbed rms values

ตารางที่ 7 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอ้างอิงเฉลี่ยเฉพาะที่ รวมอยู่ในช่วงเวลา >0 และ <6 นาที ในช่วงความถี่ 100 kHz ถึง 300 GHz

Exposure scenario	Frequency range	Incident energy density; U_{inc} (kJ m^{-2})
Occupational	100 kHz – 400 MHz	NA
	>400 – 2000 MHz	$0.29f_M^{0.86} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	>2 – 6 GHz	$200 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	>6 – <300 GHz	$275/f_G^{0.177} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	300 GHz	$100 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
General public	100 kHz – 400 MHz	NA
	>400 – 2000 MHz	$0.058f_M^{0.86} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	>2 – 6 GHz	$40 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	>6 – <300 GHz	$55/f_G^{0.177} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	300 GHz	$20 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$

หมายเหตุ:

1. “NA” หมายถึง “ไม่เกี่ยวข้อง” และไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการพิจารณาการปฏิบัติตาม
2. f_M คือ ความถี่ในหน่วย MHz, f_G คือ ความถี่ในหน่วย, t คือช่วงเวลาเป็นวินาที เช่น การเปิดรับคลื่นพัลส์ใดๆ กลุ่มของพัลส์ หรือกลุ่มย่อยของขบวนพัลส์ รวมทั้งจากผลรวมของการเปิดรับคลื่น (รวมถึง EMF ที่ไม่ใช่คลื่นพลัส์) ที่ส่งใน t วินาที ต้องไม่เกิน ค่าระดับอ้างอิงเหล่านี้
3. จะต้องคำนวณ U_{inc} เมื่อเวลาผ่านไป t และเมื่อมีการระบุค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ในหมายเหตุ 5–7 เหนือพื้นที่ของร่างกายที่คาดการณ์ไว้ที่เกี่ยวข้อง
4. สำหรับความถี่ 100 kHz ถึง 400 MHz ไม่จำเป็นต้องมีข้อจำกัด >0 ถึง <6 นาที ดังนั้นจึงไม่มีการตั้งค่าระดับอ้างอิง
5. สำหรับความถี่ >400 MHz ถึง 6 GHz: (a) ภายในเขตสนามระยะไกล: การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้า U_{inc} เชิงพื้นที่สูงสุดเหนือพื้นที่ทั้งหมดที่คาดการณ์ไว้ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น; U_{eq} อาจถูกแทนที่ด้วย U_{inc}; (b) ภายในเขตสนามระยะใกล้ การปฏิบัติตามจะแสดงให้เห็นถ้า U_{inc} เชิงพื้นที่สูงสุดเหนือพื้นที่ทั้งหมดที่คาดการณ์ไว้ไม่เกินค่าระดับอ้างอิงข้างต้น และ (c) ภายในโซนการแพร่สนามใกล้ ไม่สามารถใช้ระดับอ้างอิงเพื่อกำหนดความสอดคล้องได้ ดังนั้น ข้อจำกัดพื้นฐานจึงต้องได้รับการประเมิน
6. สำหรับความถี่ >6 GHz ถึง 300 GHz: (a) ภายในสนามระยะไกลหรือสนามระยะใกล้ที่มีการแพร่คลื่น การปฏิบัติตามข้อกำหนดจะแสดงให้เห็นหาก U_{inc} ซึ่งมีค่าเฉลี่ยบนพื้นที่ผิวตัวเครื่องที่ฉายภาพขนาด 4 cm^2 ไม่เกินค่าข้างต้น ค่าระดับอ้างอิง (b) ภายในโซนสนามระยะใกล้ที่แพร่คลื่น ไม่สามารถใช้ระดับอ้างอิงเพื่อกำหนดความสอดคล้องได้ ดังนั้น ข้อจำกัดพื้นฐานจึงต้องได้รับการประเมิน
7. สำหรับความถี่ >30 GHz ถึง 300 GHz: ค่าแสงเฉลี่ยบนพื้นที่ผิวสัมผัสคลื่นขนาด 1 cm^2 จะต้องไม่เกิน $275/f_G^{0.177}$ x $0.72[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$ kJ m^{-2} สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นจากการทำงานและ $55/f_G^{0.177}$ x $0.72[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$ kJ m^{-2} สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นทั่วไป

ที่มา: ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) ปี2020

2.2 วิธีการวัดระดับความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสาร ICNIRP Guidelines ไม่ได้กำหนดวิธีการวัดระดับความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้น เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับสากลและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ เอกสารที่จัดทำขึ้นโดยสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ International Telecommunication Union (ITU) หรือ International Electrotechnical Commission (IEC) เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ITU-T K Suppl. 32 (10/2022) Case studies of radio frequency electromagnetic field (RF-EMF) assessment.

2. IEC 62232 Edition 3.0 2022-10 Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of base stations for the purpose of evaluating human exposure.
3. ITU-K.52 (01/2018) - Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields
4. ITU-K.61 (01/2018) - Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations
5. ITU-K.70 (01/2018) - Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations
6. ITU-K.83 (03/2011) - Monitoring of electromagnetic field levels
7. ITU-K.91 (11/2019) - Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields
8. ITU-K.100 (07/2019) - Measurement of radio frequency electromagnetic fields to determine compliance with human exposure limits when a base station is put into service
9. ITU-K.Sup1 (07/2014) - ITU-T K.91 - Guide on electromagnetic fields and health
10. ITU-K.Sup9 (05/2019) - 5G technology and human exposure to radiofrequency electromagnetic fields
11. ITU-K.Sup13 (05/2018) - Radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels from mobile and portable devices during different conditions of use
12. ITU-K.Sup14 (09/2019) - The impact of RF-EMF exposure limits stricter than the ICNIRP or IEEE guidelines on 4G and 5G mobile network deployment

3. มาตรฐานการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในประเทศไทยในปัจจุบันเทียบกับมาตรฐานสากล

คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศด้านการป้องกันรังสีชนิดไม่ก่อไอออน หรือ ICNIRP เป็นองค์กรสากล มีความเชี่ยวชาญ มีความเป็นกลาง และเป็นผู้กำหนดขีดจำกัดการได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นแนวทางการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้กับหลายประเทศทั่วโลก ปัจจุบัน ICNIRP ได้เผยแพร่ ICNIRP Guidelines 2010 (ความถี่ 1 Hz to 100 kHz) และ ICNIRP Guidelines 2020 (ย่านความถี่ 100 kHz to 300 GHz) เพื่อทดแทน ICNIRP Guidelines 1998 (ย่านความถี่ 9 kHz - 300 GHz) ประเทศไทย โดยสำนักงาน กสทช. ซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่ ประกาศกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคม กทช. มท. 5001-2550 ซึ่งยังคงอ้างอิงขีดจำกัดการได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจาก ICNIRP Guidelines 1998 ซึ่งปัจจุบันเป็นเอกสารที่ล้าสมัย

ดังนั้น เพื่อให้การกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นที่ยอมรับในระดับสากล สำนักงาน กสทช. ควรดำเนินการปรับปรุงมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคม โดยทำการอ้างอิง ICNIRP Guidelines และอ้างอิงเอกสารขั้นตอนวิธีการตรวจวัดฯ ต่างๆ ให้เป็นฉบับที่เป็นปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดดังต่อนี้

3.1 มาตรฐานการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

สำนักงาน กสทช. ประกาศกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคม กทช. มท. 5001-2550 เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2550 อ้างอิงขีดจำกัดตามเอกสาร ICNIRP ปี 1998 ซึ่งล้าสมัย และถูกแทนที่โดย ICNIRP Guidelines (100 kHz to 300 GHz) ปี 2020 และมีการแบ่งย่านความถี่การจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ย่านความถี่ ได้แก่

3.1.1 ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic fields (1 Hz to 100 kHz) ปี 2010

3.1.2 ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) ปี 2020

สำนักงาน กสทช. ประกาศมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 โดยกำหนดย่านความถี่วิทยุในช่วง 9 kHz - 300 GHz โดยอ้างอิง ICNIRP Guidelines 1998 ซึ่งในปัจจุบันเอกสาร ICNIRP Guidelines ที่อ้างอิงนี้ล้าสมัย และได้มีการเปลี่ยนแปลงย่านความถี่ โดยแบ่งย่านความถี่วิทยุออกเป็นย่านความถี่ 1 Hz to 100 kHz และ 100 kHz to 300 GHz ตามลำดับ ดังนั้น สำนักงาน กสทช. ควรต้องกำหนดย่านความถี่สำหรับมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคม ให้สอดคล้องกับมาตรฐานของ ICNIRP

3.2 วิธีการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

สำนักงาน กสทช. อ้างอิงวิธีการวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field Strength) ตามมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน IEC 61566, ITU-T Recommendation K.52, ITU-T Recommendation K.61 และ ANSI/IEEE C95.3 ซึ่งในปัจจุบัน มาตรฐานอ้างอิงดังกล่าวนั้นล้าสมัย โดยมีการประกาศใช้มาตรฐานฉบับใหม่ ประกอบกับด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันมีการวิวัฒนาการและเปลี่ยนแปลงไปมาก หน่วยงานสากล เช่น ITU จึงได้ประกาศมาตรฐานอื่นๆ ออกมาอีกหลายฉบับ เพื่อให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปในปัจจุบัน โดยมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ อย่างน้อยดังต่อไปนี้

1. ITU-T K Suppl. 32 (10/2022) Case studies of radio frequency electromagnetic field (RF-EMF) assessment.
2. IEC 62232 Edition 3.0 2022-10 Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of base stations for the purpose of evaluating human exposure

ภาคผนวก ค

รายงานผลการดำเนินการจัดซื้อ และการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์

1. ผลการจัดซื้อครุภัณฑ์

ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ดำเนินการจัดซื้อครุภัณฑ์เพื่อใช้ในการดำเนินโครงการ รวมทั้งสิ้น 3 รายการ แล้วเสร็จ โดยดำเนินการจัดซื้อครุภัณฑ์เป็นไปตามระเบียบ พรบ. การจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ ปี 2560 โดยมีรายละเอียดการจัดซื้อครุภัณฑ์ดังนี้

ลำดับ	รายการจัดซื้อครุภัณฑ์	วิธีการจัดซื้อ	เกณฑ์การตัดสิน	ผลการจัดซื้อ (ราคา)
1	เครื่องมือวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (๔๐ GHz)	วิธีคัดเลือก	ใช้เกณฑ์ราคาต่ำสุด	๒,๙๐๐,๐๐๐
2	สายอากาศไอโซทรอปริก (๔๐ GHz)	วิธีคัดเลือก	ใช้เกณฑ์ราคาต่ำสุด	๔๓๐,๐๐๐
3	ซอฟต์แวร์สำหรับการวัดสัญญาณ ๕G	วิธีคัดเลือก	ใช้เกณฑ์ราคาต่ำสุด	๔๐๐,๐๐๐

ใช้ระเบียบ พรบ. การจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ ปี 2560

ลำดับ	รายการครุภัณฑ์	คุณลักษณะที่สำคัญของครุภัณฑ์
1	เครื่องมือวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (๔๐ GHz)	 • Frequency 9 kHz – 43.5 GHz • EMF Measurement • Real time analyzer • 100 MHz Analysis bandwidth • Coverage mapping • GPS Receiver • Vision monitor • Pre-amplifier • Accredited calibration ISO17025
2	สายอากาศไอโซทรอปริก (๔๐ GHz)	 • Frequency 20 MHz – 40 GHz • Isotropic probe • Field strength 1200 V/m • Accredited calibration ISO17025
3	ซอฟต์แวร์สำหรับการวัดสัญญาณ ๕G	 • 5G NR measurement • LTE FDD/ TDD measurement • 5G Beam ID displaying

ลำดับ	รายการครุภัณฑ์	คุณลักษณะที่สำคัญของครุภัณฑ์
		  • Cell ID • EIRP/ SS-RSRP/ SINR • Channel power

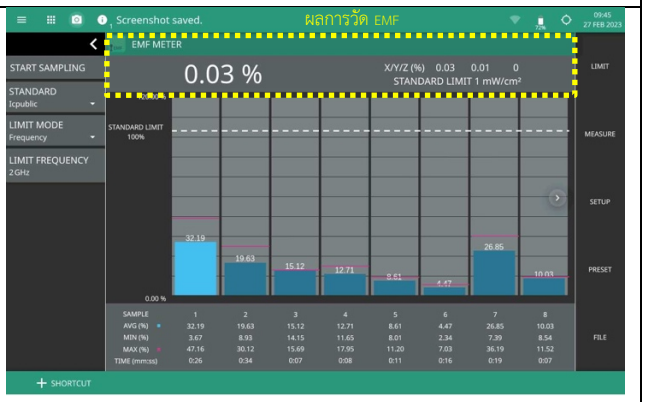
2. ผลการสอบเทียบครุภัณฑ์

ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ดำเนินการจัดซื้อครุภัณฑ์ทั้ง 3 รายการแล้วเสร็จ และเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าครุภัณฑ์เครื่องมือวัดฯ ดังกล่าว จะสามารถให้ค่าความถูกต้องได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และเพื่อให้ผลการทวนสอบเครื่องมือวัดฯ มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ เป็นที่ยอมรับในระดับสากล และสามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานแห่งชาติ (Traceability) ได้ตามระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 ศูนย์ทดสอบ PTEC จึงได้ดำเนินการส่งเครื่องมือวัดฯ ไปสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 โดยมีรายละเอียดดังนี้

รายการ	รายละเอียดเครื่องมือ	วิธีการทวนสอบ ความใช้ได้ของเครื่องมือ	ผลการทวนสอบเครื่องมือ จากการสอบเทียบ
1	เครื่องมือวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (๔๐ GHz)	ใบรายงานผลการสอบเทียบ ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025	ผ่าน
2	สายอากาศไอโซทรอปริก (๔๐ GHz)	ใบรายงานผลการสอบเทียบ ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025	ผ่าน

3. ผลการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์

หลังจากศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ครุภัณฑ์เครื่องมือวัดฯ จากผู้ขายและทำการทวนสอบผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดฯ ตามขั้นตอนระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 แล้ว ศูนย์ทดสอบ PTEC จึงได้ทำการทวนสอบการใช้งานเครื่องมือวัดฯ โดยเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2566 ที่ผ่านมา ทางศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ประสานงานกับ AIS 5G PLAY GROUND & 5G GARAGE ซึ่งเป็นศูนย์ 5G R&D ตั้งอยู่ที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเข้าไปทดลอง ทดสอบการใช้งานเครื่องมือวัดฯ ตามวัตถุประสงค์โครงการ โดยมีรายละเอียดการทดสอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

ลำดับ	การทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์	ผลการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์
1	สามารถทำการตรวจวัด EMF ด้วย Isotropic probe ตามมาตรฐาน ICNIRP 2020 ได้	
2	สามารถถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ 5G และแสดงค่า 5G Beam ID, Cell ID ของสถานีฐานที่ต้องการทดสอบได้	

รูปแสดงการทวนสอบการใช้งานครุภัณฑ์ ที่ AIS 5G PLAY GROUND & 5G GARAGE ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
ผลการจัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้ การตรวจวัด การแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม ๕G

จาก ผลการศึกษามาตรฐาน และวิธีการตรวจวัด, คู่มือวิธีการตรวจวัดที่ผ่านการทดลองใช้งานจริง และรายงานผลการตรวจวัดที่ครบถ้วนสมบูรณ์ นำข้อมูลทั้งหมดมาเรียบเรียง และจัดทำเป็นหลักสูตรการฝึกอบรมการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีฐานวิทยุคมนาคม 5G สำหรับเปิดให้บริการฝึกอบรม

เป้าหมาย ของกลุ่มบุคลากรในการเผยแพร่ความรู้เป็น บุคลากรด้านโทรคมนาคม ได้แก่ เจ้าหน้าที่ของสำนักงาน กสทช. ทั้งส่วนกลาง และส่วนภูมิภาค, เจ้าหน้าที่ของกองวิศวกรรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (ส่วนงานกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า), กระทรวงการอุดมศึกษาฯ ได้แก่ อาจารย์ และนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ และรวมถึงภาคเอกชน ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีรายละเอียดการให้บริการฝึกอบรมดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1ง แสดงรายละเอียดการให้บริการฝึกอบรมเผแพร่ความรู้ฯ และกลุ่มเป้าหมาย

รายละเอียดการให้บริการฝึกอบรม	**กลุ่มเป้าหมาย**
เปิดให้บริการฝึกอบรมฟรี ไม่มีค่าใช้จ่าย จัดฝึกอบรมครอบคลุมทั้งประเทศ 5 ภูมิภาค คือ กรุงเทพมหานคร, ภาคกลาง, ภาคเหนือ, ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป้าหมาย มีผู้เข้ารับการฝึกอบรมอย่างน้อย 100 คน	เจ้าหน้าที่ของสำนักงาน กสทช. ทั้งส่วนกลาง และภูมิภาค
	กระทรวงสาธารณสุข เจ้าหน้าที่กองวิศวกรรมการแพทย์
	กระทรวงการอุดมศึกษา ฯ, กระทรวงศึกษาธิการ เช่น นักวิจัย อาจารย์ และนักศึกษาจากมหาวิทยาลัย
	ภาคเอกชน ผู้ที่สนใจทั่วไป

ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ดำเนินการจัดทำ “กำหนดการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐาน ๕G” เผยแพร่ และประชาสัมพันธ์ไปยังกลุ่มเป้าหมายต่างๆ โดยมีกำหนดการดังต่อไปนี้

กำหนดการอบรมเชิงปฏิบัติการ

เรื่อง "การตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐาน ๕G"

สถานที่ วันและเวลาจัดอบรม

ภูมิภาค	สถานที่	วันที่	จำนวนผู้เข้าอบรม (คน)
กรุงเทพฯ	โรงแรม Tk. Palace	๑๒ ต.ค. ๖๖	๓๐
ภาคใต้ (สุราษฎร์ธานี)	โรงแรมไดมอนด์ พลาซ่า โฮเต็ล	๙ พ.ย. ๖๖	๓๐
ภาคเหนือ (ลำปาง)	โรงแรม space hotel	๑๔ พ.ย. ๖๖	๓๐
ภาคกลาง (ระยอง)	โรงแรมโกลเด้นซิตี้ ระยอง	๒๑ พย. ๖๖	๓๐
ภาคอีสาน (ขอนแก่น)	โรงแรมอวานีขอนแก่น โฮเทลฯ	๒๘ พย. ๖๖	๓๐

รายละเอียดการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

เวลา ๘.๓๐ – ๙.๐๐ น.	ผู้เข้าอบรมลงทะเบียน
เวลา ๙.๐๐ – ๑๐.๓๐ น.	ความสำคัญ วัตถุประสงค์ของโครงการฯ อันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
เวลา ๑๐.๓๐ – ๑๐.๔๕ น.	พัก รับประทานอาหารว่าง
เวลา ๑๐.๔๕ – ๑๒.๐๐ น.	มาตรฐานการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องมือวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
เวลา ๑๒.๐๐ – ๑๓.๐๐ น.	พัก รับประทานอาหารกลางวัน
เวลา ๑๓.๐๐ – ๑๔.๓๐ น.	การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี 5G ที่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัด EMF คู่มือวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม ๕G
เวลา ๑๔.๓๐ – ๑๔.๔๕ น.	พัก รับประทานอาหารว่าง
เวลา ๑๔.๔๕ – ๑๖.๐๐ น.	การรายงานผลการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสาธิตการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม ๕G ถาม-ตอบ

กสทช.
กทปส.
สวทช NSTDA
PTEC
ELECTRICAL AND ELECTRONIC PRODUCTS TESTING CENTER
5G
FREE
เชิญร่วมการอบรม
การตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
จากสถานีวิทยุคมนาคม 5G
วันพฤหัสบดี ที่ 12 ตุลาคม 2566
ณ ห้องประชุม โรงแรม ทีเค. พาเลซ แอนด์ คอนเวนชั่น, กรุงเทพฯ
สำรองที่นั่งได้ที่
คุณวิรังรอง 0896795992 wirangrong@nstda.or.th
ด่วน รับจำนวนจำกัด !

ผลการจัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้ “การตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐาน 5G” ซึ่งผู้เข้าร่วมการฝึกอบรมจะได้รับความรู้เข้าใจดังรายละเอียดต่อไปนี้

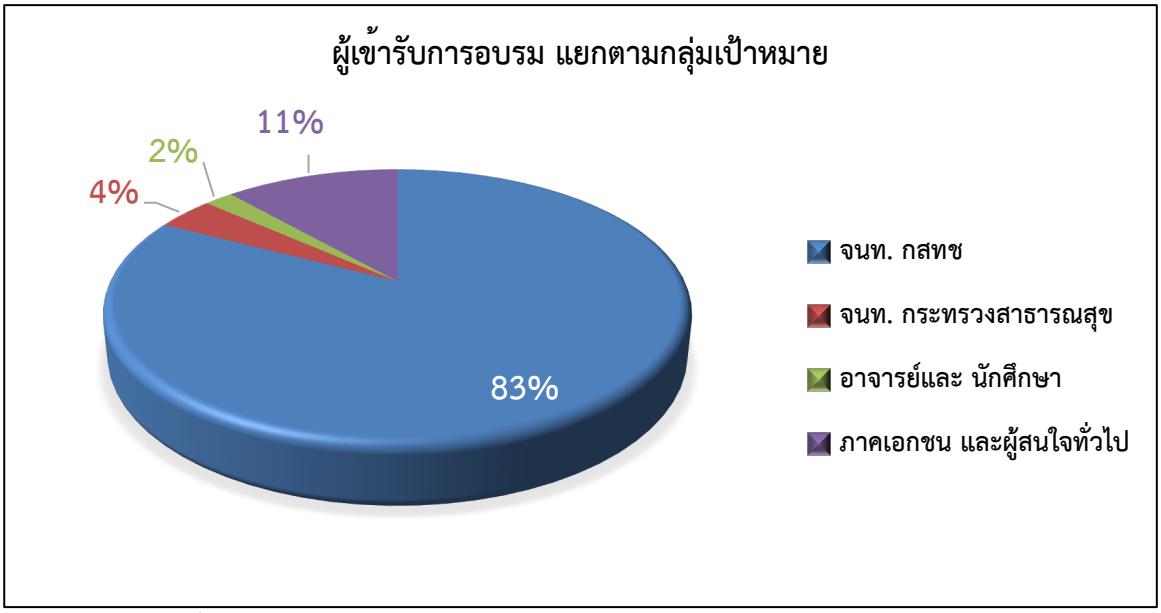
1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ
2. อันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
3. มาตรฐานการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
4. เครื่องมือวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
5. การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี 5G และผลกระทบต่อการตรวจวัด
6. คู่มือวิธีการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐาน 5G
7. การรายงานผลการดำเนินการตรวจวัด
8. การสาธิตการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐาน 5G

การดำเนินการจัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้ “การตรวจวัดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐาน 5G” ภายใต้โครงการนี้ จะดำเนินการจัดให้มีการฝึกอบรมเป็นจำนวน 5 ครั้ง แยกสถานที่อบรมตามภูมิภาคต่างๆ ได้แก่ กรุงเทพมหานคร, ภาคใต้ ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี, ภาคเหนือ ที่จังหวัดลำปาง, ภาคกลาง ที่จังหวัดระยอง, และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่จังหวัดขอนแก่น

ผลจากการดำเนินการจัดฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้ฯ พบว่า **มีผู้สนใจเข้าร่วมรับการฝึกอบรมจากหลายภาคส่วน รวมจำนวนทั้งสิ้น 156 คน (จากเป้าหมาย 100 คน)** โดยสามารถสรุปรายละเอียดผู้เข้าร่วมการฝึกอบรมได้ดังนี้

ตารางที่ 2ง แสดงรายละเอียดและจำนวนผู้เข้าร่วมการฝึกอบรมเผยแพร่ความรู้

กลุ่มเป้าหมาย / ภูมิภาคการอบรมเผยแพร่ความรู้ฯ	กทม.	ภาคใต้	ภาคเหนือ	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	รวมจำนวน (คน)
จนท. กสทช.	29	23	30	17	30	129
จนท. กระทรวงสาธารณสุข	-	-	-	6	-	6
อาจารย์และ นักศึกษา	3	-	-	-	-	3
ภาคเอกชน และผู้สนใจทั่วไป	7	5	-	-	6	18
รวมจำนวน (คน)	39	28	30	23	36	156



รูปที่ 1ง กราฟแสดงรายละเอียดร้อยละของผู้เข้าอบรม แยกตามกลุ่มเป้าหมาย

ตารางที่ 3ง แสดงรูปภาพ และรายชื่อผู้เข้ารับการอบรมเผยแพร่ความรู้ฯ สถานที่ จ. กรุงเทพมหานคร

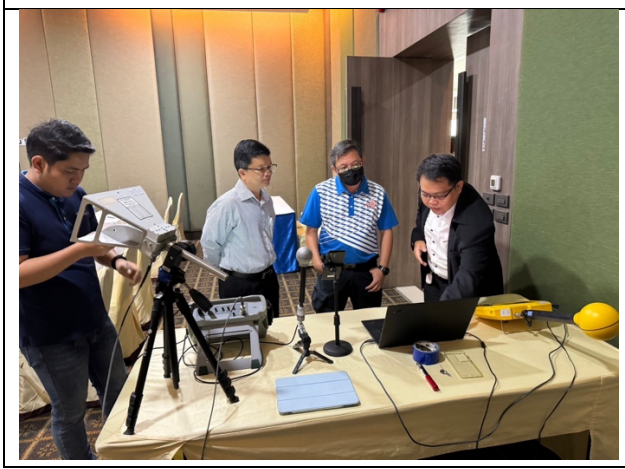
ตารางที่ 4ง แสดงรูปภาพ และรายชื่อผู้เข้ารับการอบรมเผยแพร่ความรู้ฯ สถานที่ ภาคใต้ (จ. สุราษฎร์ธานี)

ตารางที่ 5ง แสดงรูปภาพ และรายชื่อผู้เข้ารับการอบรมเผยแพร่ความรู้ฯ สถานที่ ภาคเหนือ (จ. ลำปาง)

ตารางที่ 6ง แสดงรูปภาพ และรายชื่อผู้เข้ารับการอบรมเผยแพร่ความรู้ฯ สถานที่ ภาคกลาง (จ. ระยอง)

<table>
<tr>
<td>
</td>
<td> </td>
</tr>
<tr>
<td> </td>
<td> </td>
</tr>
</table>

ตารางที่ 7ง แสดงรูปภาพ และรายชื่อผู้เข้ารับการอบรมเผยแพร่ความรู้ฯ สถานที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จ. ขอนแก่น)



ภาคผนวก จ

เอกสารการรับรองระบบคุณภาพ ISO 17025 ในขอบข่าย การตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม

แบบ กมร./สมอ.๒๒
Form NSC/TISI 2

ใบรับรองเลขที่ 22-LB0114
(Certificate No.)

ใบรับรองระบบงาน

(Certificate of Accreditation)

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติการมาตรฐานแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๕๑

(By Virtue of National Standardization Act B.E. 2551 (2008))

เลขาธิการสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

(Secretary-General, Thai Industrial Standards Institute)

ออกใบรับรองฉบับนี้ให้

(Issues this certificate to)

ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
(National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Electrical and Electronic Products Testing Center (PTEC))

ตั้งอยู่เลขที่

(Address)

๑๔๑ อาคารกลุ่มนวัตกรรม ๒ (INC๒) อาคาร D อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

(141 Thailand Science Park Innovation Cluster 2, Tower D Phahonyothin Road, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani)

ได้รับการรับรองความสามารถ

(Certificate of competence)

ตามมาตรฐานเลขที่ มอก. ๑๗๐๒๕ - ๒๕๖๑

(Standard No. TIS 17025-2561 (2018) (ISO/IEC 17025: 2017))

ข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของ ห้องปฏิบัติการทดสอบและห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

(General requirements for the competence of testing and calibration laboratories)

หมายเลขการรับรองที่ ทดสอบ ๐๔๓๒

(Accreditation No. Testing 0432)

โดยมีรายละเอียดสาขาและขอบข่ายที่ได้ใบรับรอง แสดงไว้ใน QR CODE และ www.tisi.go.th

(Details of the scheme and scope of the certificate are shown in QR CODE and www.tisi.go.th)

ออกให้ ณ วันที่ ๓๐ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๕

(Issue date : 30 March B.E. 2565 (2022))

(นายเอกนิติ รมยานนท์)
รองเลขาธิการสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ปฏิบัติราชการแทน
เลขาธิการสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
(Ministry of Industry Thailand, Thai Industrial Standards Institute)

รายละเอียดสาขาและขอบข่ายใบรับรองห้องปฏิบัติการ

(Scope of Accreditation for Testing)

ใบรับรองเลขที่ 22-LB0114

(Certification No. 22-LB0114)

ฉบับที่ 02 (Issue No. 02) ออกให้ตั้งแต่วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 (Valid from 24 February B.E.2565 (2022)) ถึงวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2570 (Until 23 February B.E. 2570 (2027))

สถานภาพห้องปฏิบัติการ (Laboratory status) ☐ ถาวร (Permanent) ☑ นอกสถานที่ (Site) ☐ ชั่วคราว (Temporary) ☐ เคลื่อนที่ (Mobile) ☐ หลายสถานที่ (Multisite)

สาขาการทดสอบ (Field of Testing)	รายการทดสอบ (Parameter)	วิธีทดสอบ (Test Method)
สาขาโทรคมนาคม (Telecom field)		
1. มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล (Technical standard for digital terrestrial television)	- ทุกรายการทดสอบ (Full test)	- กสทช. มส. 4001-2555 (NBTC TS 4001-2555 (2012))
2. เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ถาวร และมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมบริเวณกว้าง (Radiocommunication equipment in fixed location and with broad area of electromagnetic radiation)	- ทุกรายการทดสอบ (Full test)	- กทช. มท. 5001-2550 (NTC TS 5001-2550 (2007))
3. Railway applications- Electromagnetic compatibility Part 2 Emissions of the whole railway system to the outside world	- Full test	- EN 50121-2: 2015 - EN 50121-2: 2017

ภาคผนวก ฉ
เอกสารอ้างอิง

[1] ศิรวิชญ์ กิตติวชิญกุล, เทคโนโลยีการสื่อสารยุค 5G, พิมพ์ครั้งที่ 1, กันยายน 2563

[2] สำนักงาน กสทช., 5G คลื่นและเทคโนโลยี, ปี 2561 ไตรมาส 1

[3] สำนักงาน กสทช. ประกาศกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคม กทช. มท. 5001-2550

[4] GSMA, Explaining the 2020 RF-EMF exposure guidelines published by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), October 2021

[5] ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) ปี2020

[6] ITU-T K Suppl. 32 (10/2022) Case studies of radio frequency electromagnetic field (RF-EMF) assessment.