รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนา
กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ประจำงวดที่ ๕

โครงการห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่สำหรับตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ สำหรับการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

คำนำ

การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม (วทน.) เป็นรากฐาน และเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะนำประเทศไทยไปสู่ประเทศที่พัฒนาแล้ว ได้อย่างมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน สร้างเศรษฐกิจฐานนวัตกรรมให้เป็นหัวใจของการพัฒนาประเทศเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 และขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศภายใต้แนวทาง “ประเทศไทย 4.0” ของรัฐบาล เทคโนโลยีดิจิทัลถือเป็นส่วนหนึ่งของการขับเคลื่อนไทยแลนด์ 4.0 และด้วยวิวัฒนาการด้านเทคโนโลยีมีพัฒนาการที่ก้าวหน้าและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีด้านการสื่อสารประเภทใหม่ เป็นอีกหนึ่งปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น เทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 5 (5G), อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoTs), ยานยนต์อัตโนมัติ, การแพทย์สมัยใหม่, ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI), อุตสาหกรรมอัจฉริยะ เป็นต้น เพื่อเป็นการสนับสนุน ส่งเสริม และอำนวยความสะดวกให้ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรม สำนักงาน กสทช. จึงได้ประกาศฯ หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) โดยเปิดโอกาสให้มีพื้นที่เฉพาะสำหรับทดสอบและพัฒนานวัตกรรมเป็นการชั่วคราว ซึ่งมีการผ่อนปรนความเข้มงวดของกฎระเบียบ และลดขั้นตอนของการปฏิบัติตามกฎระเบียบให้เหลือเท่าที่จำเป็น เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมทางด้านโทรคมนาคมในประเทศไทย

การพัฒนา และทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ ถึงแม้จะได้รับการผ่อนปรนความเข้มงวดของกฎระเบียบและขั้นตอนการกำกับดูแลบางประการ แต่ยังคงต้องอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงาน กสทช. และการใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะนั้น เป็นการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน (shared use) โดยไม่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวน และที่สำคัญจะต้องไม่ก่อให้เกิดการรบกวนด้านคลื่นความถี่ต่อการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่ที่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวนในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เช่น การรบกวนความถี่ใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น ซึ่งการรบกวนคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้นนั้น อาจทำให้ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมฯ ต้องถูกดำเนินคดีตามกฎหมาย และต้องยุติการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมไปในที่สุด ปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่นี้ เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมด้านคลื่นความถี่ หากปราศจากการป้องกัน และการทดสอบที่ถูกต้องตามมาตรฐานสากล และเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ สำนักงาน กสทช. จึงได้กำหนดให้ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ ต้องจัดทำรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ รายงานให้ทางสำนักงาน กสทช. ทราบ ทุกๆ 3 เดือน ตลอดช่วงระยะเวลาที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานคลื่นความถี่

ปัจจุบัน พบว่า สำนักงาน กสทช. และ ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะในแต่ละพื้นที่ ยังไม่มีขั้นตอนและไม่มีวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ เป็นเหตุให้ ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะในแต่ละพื้นที่ ไม่สามารถส่งรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่อันเป็นผลมาจากการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะได้ อีกทั้ง ยังไม่มีหน่วยงานใดที่มีห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม ที่เป็นกลาง มีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

โครงการห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่สำหรับตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ สำหรับการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) จัดตั้งขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ส่งเสริม และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ ให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนด้านคลื่นความถี่ ด้วยการออกแบบ พัฒนา และจัดทำเอกสารขั้นตอนวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ สอดคล้องกับประกาศหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ และมาตรฐานทางเทคนิคที่ประกาศใช้โดยสำนักงาน กสทช. จัดตั้งห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ที่สามารถทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามที่ได้รับการรับรองคุณภาพ ISO/ IEC 17025 เป็นที่ยอมรับในระดับสากล และดำเนินการทดสอบ จัดทำรายงานผลการรบกวนคลื่นความถี่ให้กับผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ เพื่อรายงานให้ทางสำนักงาน กสทช. ทราบ ให้สอดคล้องตามข้อกำหนดของหลักเกณฑ์การอนุญาตใช้งานคลื่นความถี่เพื่อพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) รวมถึงเป็นห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (Mobile lab) เพื่อให้บริการทดสอบ เฝ้าระวัง ติดตาม และป้องกันปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ เปิดให้บริการแก่ทั้งภาครัฐ และภาคอุตสาหกรรม ที่เปิดให้บริการอย่างต่อเนื่อง และยั่งยืนต่อไปในอนาคต

.....

(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**	6
	2.1 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 1	6
	2.2 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 2	7
	2.3 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 3	7
	2.4 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 4	7
	2.5 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 5	7
	2.6 สถานภาพการดำเนินโครงการรายกิจกรรม	8
	2.7 สรุปปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ	9
	2.8 แผนการดำเนินงานในระยะต่อไป	10
	2.9 รายงานการจัดซื้อครุภัณฑ์ในโครงการ	10
ส่วนที่ 3	**รายงานความก้าวหน้าทางการเงิน**	11
	3.1 รายงานสรุปการใช้จ่ายงบประมาณ	11
	3.2 รายงานสรุปความก้าวหน้าทางการเงิน	11
	ภาคผนวก ก รายงานผลการศึกษามาตรฐานสากล และมาตรฐานของประเทศไทย ที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)	ก-1
	ภาคผนวก ข เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่	ข-1
	ภาคผนวก ค รายงานผลการพัฒนา ปรับปรุงห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ของศูนย์ทดสอบ PTEC พร้อมรองรับการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)	ค-1
	ภาคผนวก ง เอกสารอ้างอิง	ง-1
	ภาคผนวก จ รายงานผลการดำเนินการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)	จ-1

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ชื่อโครงการ (ไทย) :	โครงการห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่สำหรับตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ สำหรับการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)			
ชื่อโครงการ (อังกฤษ) :	Interference testing mobile laboratory for regulatory Sandbox			
สัญญารับทุนเลขที่ :	B4-006/1-61			
หน่วยงาน :	ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม			
ชื่อ – นามสกุล : (หัวหน้าโครงการ)	นายไกรสร อัญชลีวรพันธุ์			
เบอร์ติดต่อ :		**E-Mail:**		
ระยะเวลาดำเนินการ : (เริ่มต้น – สิ้นสุด)	22 มกราคม 2564 ถึง 19 กรกฎาคม 2567	**3 ปี**	**6 เดือน**	**0 วัน**
งบประมาณรวม :			**10,550,552.00**	**บาท**

ส่วนที่ 1 สาระสำคัญของโครงการ (Project Highlight)

เพื่อเป็นการสนับสนุน ส่งเสริม และอำนวยความสะดวกให้ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรม สำนักงาน กสทช. จึงได้ประกาศฯ หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) โดยเปิดโอกาสให้มีพื้นที่เฉพาะสำหรับทดสอบและพัฒนานวัตกรรมเป็นการชั่วคราว ซึ่งมีการผ่อนปรนความเข้มงวดของกฎระเบียบ และลดขั้นตอนของการปฏิบัติตามกฎระเบียบให้เหลือเท่าที่จำเป็น เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมทางด้านโทรคมนาคมในประเทศไทย ถึงแม้จะได้รับการผ่อนปรนความเข้มงวดของกฎระเบียบและขั้นตอนการกำกับดูแลบางประการ แต่ยังคงต้องอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงาน กสทช. และการใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะนั้น จะต้องไม่ก่อให้เกิดการรบกวนด้านคลื่นความถี่ต่อการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่ที่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวนในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เช่น การรบกวนความถี่ใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

ปัจจุบัน สำนักงาน กสทช. และผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ ยังไม่มีขั้นตอนและไม่มีวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ เป็นเหตุให้ ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะในแต่ละพื้นที่ ไม่สามารถส่งรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่อันเป็นผลมาจากการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะได้ อีกทั้งยังไม่มีหน่วยงานใดที่มีห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม ที่เป็นกลาง มีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

โครงการ ห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่สำหรับตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ สำหรับการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) จัดตั้งขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ส่งเสริม และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ ให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนด้านคลื่นความถี่ ด้วยการออกแบบ พัฒนา และจัดทำเอกสารขั้นตอนวิธีการมาตรฐาน เพื่อทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ สอดคล้องกับประกาศหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ และสอดคล้องมาตรฐานทางเทคนิคที่ประกาศใช้โดยสำนักงาน กสทช. และมาตรฐานสากล จัดตั้งห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ที่สามารถทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามที่ได้รับการรับรองคุณภาพ ISO/ IEC 17025 มีความเป็นกลาง น่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล และดำเนินการทดสอบจัดทำรายงานผลการรบกวนคลื่นความถี่ให้กับผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ เพื่อใช้รายงานให้ทางสำนักงาน กสทช. ให้สอดคล้องตามข้อกำหนดของหลักเกณฑ์การอนุญาตใช้งานคลื่นความถี่เพื่อพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) และเมื่อสิ้นสุดโครงการ จะมีห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (Mobile lab) เพื่อการทดสอบ เฝ้าระวัง ติดตาม และป้องกันปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ เปิดให้บริการแก่ทั้งภาครัฐ และภาคอุตสาหกรรม เปิดให้บริการอย่างต่อเนื่อง และยั่งยืน

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อส่งเสริม และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ ให้ทำการพัฒนานวัตกรรมด้านคลื่นความถี่โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนด้านคลื่นความถี่ โดยทำการออกแบบ พัฒนา และจัดทำเอกสารขั้นตอนวิธีการมาตรฐาน เพื่อใช้ทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่สำหรับการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ ให้สอดคล้องกับประกาศหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ และสอดคล้องตามมาตรฐานทางเทคนิคที่ประกาศใช้โดยสำนักงาน กสทช. และมาตรฐานสากล จัดตั้งห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ที่สามารถทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามที่ได้รับการรับรองคุณภาพ ISO/ IEC 17025 มีความเป็นกลาง น่าเชื่อถือ เป็นที่ยอมรับในระดับสากล และดำเนินการทดสอบ จัดทำรายงานผลการรบกวนคลื่นความถี่ให้กับผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่เฉพาะ เพื่อใช้รายงานให้ทางสำนักงาน กสทช. ให้สอดคล้องตามข้อกำหนดของหลักเกณฑ์การอนุญาตใช้งานคลื่นความถี่เพื่อพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) และเมื่อสิ้นสุดโครงการ จะมีห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (Mobile lab) เพื่อการทดสอบ เฝ้าระวัง ติดตาม และป้องกันปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ เปิดให้บริการแก่ทั้งภาครัฐ และภาคอุตสาหกรรม เปิดให้บริการอย่างต่อเนื่อง และยั่งยืน

1.2 เป้าหมาย

1.2.1 มีเอกสารขั้นตอน และวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม สำหรับการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) เป็นมาตรฐานฉบับแรกของประเทศไทย สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยีไร้สายอื่นๆ ได้

1.2.2 มีการทดสอบ และจัดทำรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ให้สำหรับผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมฯ ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) เพื่อส่งมอบให้กับสำนักงาน กสทช.

1.2.3 มีห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (Mobile Lab) สามารถทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามได้รับการรับรองคุณภาพ ISO/ IEC 17025 เป็นแห่งแรกในประเทศไทย รองรับการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่สำหรับพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) และพื้นที่อื่นๆ ได้

1.2.4 มีหน่วยงานกลาง (Third party) ให้บริการตรวจสอบ วิเคราะห์ และช่วยให้คำแนะนำในการแก้ไขการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม เปิดให้บริการแก่ทั้งภาครัฐ และภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง

1.3 ผลผลิตสำคัญ

ลำดับ	ชื่อผลผลิต	หน่วยวัด	ตัวชี้วัด (เชิงคุณภาพ/เชิงคุณภาพ)
1	เอกสารขั้นตอน และวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม สำหรับการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)	1 เล่ม	มีเอกสารเอกสารขั้นตอน และวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามฯ สอดคล้องตามมาตรฐานของ กสทช. และมาตรฐานสากล
2	การทดสอบ และรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่สำหรับผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมฯ ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)	12 เล่ม (3 พื้นที่ /พื้นที่ละ 4 ครั้ง/ ระยะเวลา 1 ปี)	มีการทดสอบ และรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ สอดคล้องตามมาตรฐานของ กสทช. และมาตรฐานสากล
3	ห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (Mobile Lab) สามารถทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม	1 ห้องปฏิบัติการ	มีห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (Mobile Lab) สามารถทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม ได้รับการรับรองคุณภาพ ISO/ IEC 17025
4	ห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (Mobile Lab) เปิดให้บริการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามให้บริการต่อทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน	1 ห้องปฏิบัติการ	มีห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (Mobile Lab) สามารถทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม ที่เป็นหน่วยงานกลาง (Third party) มีความน่าเชื่อถือ เป็นที่ยอมรับในระดับสากล เปิดให้บริการอย่างต่อเนื่อง และยั่งยืน

1.4 แผนปฏิบัติการโครงการ

ลำดับ	กิจกรรมที่สำคัญ	ระยะเวลาการดำเนินกิจกรรม														น้ำหนัก (%)
		ปี 2564				ปี 2565				ปี 2566				ปี 2567		
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	
1	แผนการดำเนินงานโครงการฯ	↔														2
2	รายงานผลการศึกษามาตรฐานประเทศไทยและมาตรฐานสากล ที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)	↔														5
3	เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในโครงการ	↔														3
4	เอกสารขั้นตอน และวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ให้สอดคล้องกับแนวทางการ กำกับดูแลการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)		↔													20
5	ผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในโครงการ		↔													10
6	รายงานผลการพัฒนา ปรับปรุงห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ของศูนย์ทดสอบ PTEC พร้อมรองรับการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)		↔	↔												30
7	การดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)				↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	10
8	รายงานผลการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)				↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	10
9	รายงานผลการการยื่นขอการรับรองระบบคุณภาพ ISO 17025 ของห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ ในหัวข้อการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)				↔	↔	↔	↔	↔	↔						3
10	รายงานสรุป และวิเคราะห์ผลการดำเนินการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)														↔	5

ลำดับ	กิจกรรมที่สำคัญ	ระยะเวลาการดำเนินกิจกรรม														น้ำหนัก (%)
		ปี 2564				ปี 2565				ปี 2566				ปี 2567		
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	
11	รายงานผลการดำเนินโครงการ ฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช.														↔	2
รวม																100 %

ส่วนที่ 2 ความก้าวหน้าในการดำเนินโครงการ

2.1 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 1

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

2.1.1.1 การศึกษามาตรฐานของประเทศไทย และมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องกับ พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

2.1.1.2 เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในโครงการ

2.1.1.3 เอกสารขั้นตอน และวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่สำหรับพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

2.1.1.4 ผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในโครงการ

2.1.1.5 รายงานผลการพัฒนา ปรับปรุงห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ของศูนย์ทดสอบ PTEC พร้อมรองรับการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

2.1.1.6 การดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

2.1.1.7 รายงานผลการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

2.1.1.8 รายงานผลการยื่นขอการรับรองระบบคุณภาพ ISO 17025 ของห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ในหัวข้อการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

2.1.1.9 รายงานสรุป และวิเคราะห์ผลการดำเนินการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

2.1.1.10 รายงานผลการดำเนินฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช.

2.1.2 รายงานผลการศึกษามาตรฐานสากล และมาตรฐานของประเทศไทย ที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) **(รายละเอียดตามภาคผนวก ก)**

2.1.3 เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในโครงการ **(รายละเอียดตามภาคผนวก ข)**

2.2 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 2

2.2.1 เอกสารขั้นตอน และวิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ให้สอดคล้องกับแนวทางการ กำกับดูแลการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) **(รายละเอียดดัง PTEC LB-WI-115 ขั้นตอนการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม)**

2.2.2 ผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในโครงการ **(รายละเอียดดัง ภาคผนวก ข)**

2.3 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 3

2.3.1 รายงานผลการพัฒนา ปรับปรุงห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ของศูนย์ทดสอบ PTEC พร้อมรองรับการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) **(รายละเอียดดัง ภาคผนวก ค)**

2.3.1.1 ผลการจัดซื้อครุภัณฑ์

2.3.1.2 ผลการติดตั้ง และทวนสอบระบบทดสอบ

2.3.1.3 ผลการพัฒนา ปรับปรุงห้องปฏิบัติการทดสอบเคลื่อนที่

2.4 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 4

2.4.1 รายงานผลการดำเนินการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) **(รายละเอียดดัง ภาคผนวก จ)**

2.4.2 รายงานผลการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) **(รายละเอียดดัง ภาคผนวก ฉ)**

2.5 สรุปผลการดำเนินงานประจำงวดที่ 5

2.5.1 รายงานฉบับสมบูรณ์

2.5.2 รายงานสรุป และวิเคราะห์ผลการดำเนินการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

2.5.3 รายงานผลการดำเนินฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช.

2.6 สถานภาพการดำเนินโครงการรายกิจกรรม

กิจกรรม	ระยะเวลา (วัน)	สถานะกิจกรรม/ผลดำเนินงาน			แผนปฏิบัติการ ณ วันลงนามในสัญญา		ความก้าวหน้า โปรดทำเครื่องหมาย (✓)			กรณีล่าช้าหรือเร็วกว่าแผน	
		แล้วเสร็จ	อยู่ระหว่างดำเนินการ	ยังไม่ดำเนินการ	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ล่าช้า	ตามแผน	เร็วกว่าแผน	เริ่มต้น	สิ้นสุด
1. แผนการดำเนินงานโครงการ	60	✓			22 ม.ค. 2564	22 มี.ค. 2564		✓			
2. ศึกษามาตรฐาน	60	✓			22 ม.ค. 2564	22 มี.ค. 2564		✓			
3. เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ Sandbox สำหรับทดสอบ	60	✓			22 ม.ค. 2564	22 มี.ค. 2564		✓			
4. เอกสารขั้นตอนการทดสอบการรบกวนความถี่	60	✓			23 มี.ค. 2564	21 พ.ค. 2564		✓			
5. ผลการคัดเลือกพื้นที่ Sandbox สำหรับทดสอบ	60	✓			23 มี.ค. 2564	21 พ.ค. 2564		✓			
6. การพัฒนา Mobile lab	180	✓			22 พ.ค. 2564	17 พ.ย. 2564		✓			
7. การดำเนินการทดสอบ	360	✓			18 พ.ย. 2565	19 ก.ค. 2567		✓			
8. รายงานผลการทดสอบ	360	✓			18 พ.ย. 2565	19 ก.ค. 2567		✓			
9. รายงานผลการยื่น ISO 17025	70	✓			17 พ.ย. 2564	30 มี.ค. 2565			✓	17 พ.ย. 2564	30 มี.ค. 2565
10. รายงานสรุปผล	70	✓			13 พ.ย. 2566	19 ก.ค. 2567		✓			
11. รายงานฉบับย่อ	70	✓			13 พ.ย. 2566	19 ก.ค. 2567		✓			

2.7 สรุปปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ

ประจำงวดที่ 1

ศูนย์ทดสอบ PTEC ยังไม่พบปัญหาและอุปสรรคในระหว่างการดำเนินงาน

ประจำงวดที่ 2

ศูนย์ทดสอบ PTEC ยังไม่พบปัญหาและอุปสรรคในระหว่างการดำเนินงาน

ประจำงวดที่ 3

ศูนย์ทดสอบ PTEC พบปัญหาการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ในช่วงระยะเวลาการดำเนินงานในงวดที่ 3 ซึ่งส่งผลกระทบให้การดำเนินการจัดซื้อครุภัณฑ์ล่าช้ากว่ากระบวนการปกติ

ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้แก้ไขปัญหานี้โดย ทำการเร่งรัดให้ผู้ขายจัดส่งครุภัณฑ์เครื่องมือวัดให้เร็วกว่ากำหนด และในปัจจุบันศูนย์ทดสอบ PTEC ได้รับการส่งมอบครุภัณฑ์ครบถ้วน

ประจำงวดที่ 4

ศูนย์ทดสอบ PTEC พบปัญหาการดำเนินการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) อันเนื่องมาจาก พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ออกอากาศ ทำให้ไม่สามารถเข้าดำเนินการทดสอบตามแผนที่กำหนดไว้ล่วงหน้าได้

ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้แก้ไขปัญหานี้โดย จัดประชุมหารือร่วมกับ สำนักการอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคม 1 (ปท.1), สำนักงาน กสทช. โดยทำการปรับเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ขึ้นมาใหม่ ตามคำแนะนำของสำนัก ปท.1 และในกรณีที่ พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ออกอากาศภายในช่วงเวลาไตรมาศนั้นๆ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะออกรายงานผลโดยระบุว่าไม่มีการทดลองคลื่นความถี่

2.8 แผนการดำเนินงานในระยะต่อไป

สิ้นสุดโครงการ

2.9 รายงานการจัดซื้อครุภัณฑ์ในโครงการ (ถ้ามี)

2.9.1 ครุภัณฑ์สำหรับการวิจัยและพัฒนาฯ

ลำดับ	รายการจัดซื้อครุภัณฑ์ (สำหรับการวิจัยและพัฒนาฯ)	วัน/เดือน/ปี	ราคารวม VAT (บาท)	เอกสารอ้างอิง
1	สายสัญญาณ	29 เมษายน 2564	99,660.87	รายงานผลการจัดซื้อครุภัณฑ์ (ภาคผนวก ค)
2	สายอากาศสำหรับการตรวจวัดภาคสนามติดตั้งในรถโมบายแลป	1 กันยายน 2564	2,375,079.00	
3	เครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่พร้อม option การวัด 5G	1 กันยายน 2564	5,614,921.00	

2.9.2 ครุภัณฑ์สำหรับการดำเนินโครงการ

ลำดับ	รายการจัดซื้อครุภัณฑ์ (สำหรับการดำเนินโครงการทั่วไป)	วัน/เดือน/ปี	มูลค่า	เอกสารอ้างอิง
-	-	-	-	-

ส่วนที่ 3 รายงานความก้าวหน้าทางการเงิน

3.1 รายงานสรุปการใช้จ่ายงบประมาณ

รายละเอียดค่าใช้จ่ายในโครงการ								
หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณ	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	รวม	คงเหลือ	ร้อยละการเบิกจ่าย
1. ค่าตอบแทนบุคลากร	1,530,000.00	1,530,000.00	-	-	-	1,530,000.00	0.00	100.00
2. ค่าใช้สอย	138,600.00	37,959.28	-	-	-	37,959.28	100,640.72	27.39
3. ค่าวัสดุ	30,000.00	28,908.50	-	-	-	28,908.50	1,091.50	96.36
4. ค่าใช้จ่ายครุภัณฑ์	8,100,000.00	8,089,660.87	-	-	-	8,089,660.87	10,339.13	99.87
5. ค่าบริหารจัดการ	-	-	-	-	-	-	-	-
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	15,000.00	-	-	-	-	0.00	15,000.00	0.00
รวม (ยังไม่รวม Vat 7%)	9,813,600.00	9,686,528.65	-	-	-	9,686,528.65	127,071.35	98.71

3.2 รายงานสรุปความก้าวหน้าทางการเงิน

จำนวนเงินทุนที่ได้รับและจำนวนเงินทุนคงเหลือ						
ประจำงวด	มูลค่าตามสัญญา	วัน/เดือน/ปี ที่ได้รับ	งบประมาณ ที่ได้รับจริง	ค่าใช้จ่าย	คงเหลือ	หมายเหตุ
งวดที่ 1	1,050,055.20	20/09/2021	1,050,055.20	9,686,528.65	-8,636,473.45	
งวดที่ 2	3,150,165.60	21/09/2021	3,150,165.60	-	3,150,165.60	
งวดที่ 3	3,150,165.60	30/09/2022	3,150,165.60	-	3,150,165.60	
งวดที่ 4	2,100,110.40	4/01/2024	2,100,110.40		2,100,110.40	
งวดที่ 5	1,050,055.20				-	
หัก ภาษีมูลค่าเพิ่ม	-686,952.00					
รวม	9,813,600.00		9,450,496.80	9,686,528.65	-236,031.85	บาท

ภาคผนวก ก

รายงานผลการศึกษามาตรฐานประเทศไทย และมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม
ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

Regulatory Sandbox [1, หน้า 2 ถึง 17] ถูกกำหนดขึ้นเพื่อลดต้นทุนทางการกำกับดูแล (regulatory cost) ของผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในช่วงการผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรม ซึ่งเป็นช่วงก่อนการผลิตอุปกรณ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งการใช้คลื่นความถี่มักสร้างผลกระทบในเวลาและวงพื้นที่จำกัด และสามารถบริหารจัดการให้มีการใช้คลื่นความถี่ในเวลาและสถานที่เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนระหว่างระบบได้ นอกจากนี้ แนวทางการกำกับดูแลในพื้นที่ Regulatory Sandbox ยังรองรับธรรมชาติของการวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีใหม่ ซึ่งมักมีการเปลี่ยนแปลงและปรับเปลี่ยนคุณลักษณะทางเทคนิคของอุปกรณ์ จนกว่าจะได้อุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและพร้อมต่อการเข้าสู่การกำกับดูแล ที่บังคับใช้เป็นการทั่วไป

1. การดำเนินการตามประกาศ กสทช.

การพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่ Sandbox กระทำได้ โดยดำเนินการตามประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ มีขั้นตอนหลักจำนวน 3 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้

- การขอความเห็นชอบแนวทางการอนุญาตในพื้นที่ Sandbox (การตั้ง Sandbox)
- การขออนุญาตใช้คลื่นความถี่เพื่อพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่ Sandbox
- การดำเนินการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่ Sandbox

รูปที่ 1ก แสดงตัวอย่างขอบเขตของพื้นที่ Sandbox (ที่มา [1])

2. การกำหนดแนวทางการอนุญาตในพื้นที่ Sandbox

การตั้งพื้นที่ Sandbox มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่และเงื่อนไขของการกำกับดูแลเพื่อสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่ที่เสนอ การพิจารณาแนวทางการอนุญาตในพื้นที่ Sandbox ให้เจ้าของพื้นที่สำรวจความต้องการการประยุกต์ใช้งานเป้าหมาย (targeted applications) และพิจารณาแผนการดำเนินการเบื้องต้นเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่สนับสนุนและดึงดูดการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่ Sandbox โดยข้อเสนอดังกล่าว ต้องมีรายละเอียดอย่างน้อย ดังนี้

- แผนผังของพื้นที่ ซึ่งแสดงพิกัดที่ตั้ง ขนาด และบริเวณโดยรอบ
- คลื่นความถี่ที่ประสงค์จะให้มีการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรม
- รายละเอียดผู้ใช้คลื่นความถี่ที่อาจได้รับผลกระทบจากการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรม ภายในพื้นที่ดังกล่าว
- การประยุกต์ใช้งานหรือนวัตกรรมเป้าหมายในพื้นที่ และเทคโนโลยีที่ประสงค์จะให้มีการพัฒนา และการทดสอบนวัตกรรม
- วัตถุประสงค์และเหตุผลความจำเป็นของการขอให้มีการใช้พื้นที่เพื่อการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรม ซึ่งอาจรวมถึงการทดสอบการทำงานร่วมกันระหว่างระบบ (Interoperability) และการทดสอบการรบกวน
- แผนการดำเนินงานส่งเสริมการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่

สำหรับพื้นที่ ที่จะเสนอให้เป็นพื้นที่ Sandbox เพื่อพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมต้องมีลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้

- พื้นที่เขตส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษตามกฎหมายว่าด้วยเขตพัฒนาพิเศษภาค ตะวันออก (EEC)
- พื้นที่ของสถาบันอุดมศึกษาของรัฐหรือเอกชนตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องที่มีการเรียนการสอนในระดับบัณฑิตศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารหรือสาขาที่เกี่ยวข้อง และสาขาอื่น ที่สนับสนุนการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรมอย่างเชื่อมโยงกันในลักษณะสหวิทยาการ (Interdisciplinary)
- พื้นที่ที่หน่วยงานของรัฐที่มีอำนาจส่งเสริมการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรม หรือกำกับดูแลหรือส่งเสริมการพัฒนาภาคส่วนต่างๆ ของเศรษฐกิจ (Vertical Industries) กำหนดให้เป็นพื้นที่เพื่อการพัฒนาและการทดสอบนวัตกรรม
- พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วย การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- พื้นที่อุทยานวิทยาศาสตร์ตามกฎหมายว่าด้วย การส่งเสริมกิจการอุทยานวิทยาศาสตร์

3. การใช้คลื่นความถี่ และการรบกวนคลื่นความถี่ภายในพื้นที่ Sandbox

การใช้คลื่นความถี่ที่อนุญาตให้ใช้เพื่อพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมภายในพื้นที่ Sandbox เป็นการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน (shared use) โดยไม่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวน และหากการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับอนุญาตก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่ที่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวนในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ผู้ได้รับอนุญาตต้องระงับการใช้คลื่นความถี่ที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นโดยทันที หากการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับอนุญาตก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับอนุญาตรายอื่นในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ ให้ผู้ได้รับการรบกวนแจ้งต่อผู้ประสานงานพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะเพื่อจัดการแก้ไขการรบกวนดังกล่าว

4. การรายงานความคืบหน้าของการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่ Sandbox

ตามประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ได้กำหนดให้ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรม และผู้ประสานงาน Sandbox มีหน้าที่ต้องรายงานความคืบหน้าของการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมทุก 3 เดือน โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมรายงานความคืบหน้าของการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมให้ผู้ประสานงาน Sandbox ทราบทุก 3 เดือน

ขั้นตอนที่ 2 ให้ผู้ประสานงาน Sandbox ดำเนินการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ดังนี้

(1) ความคืบหน้าของการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม ของผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่ Sandbox

(2) สรุปจำนวนเครื่องวิทยุคมนาคม และตำแหน่งที่ตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในพื้นที่ Sandbox ทั้งหมด โดยอ้างอิงข้อมูลจากการแจ้งขอนำเครื่องวิทยุคมนาคมเข้า ออก ตั้งสถานีและย้ายที่ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม ของผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรม

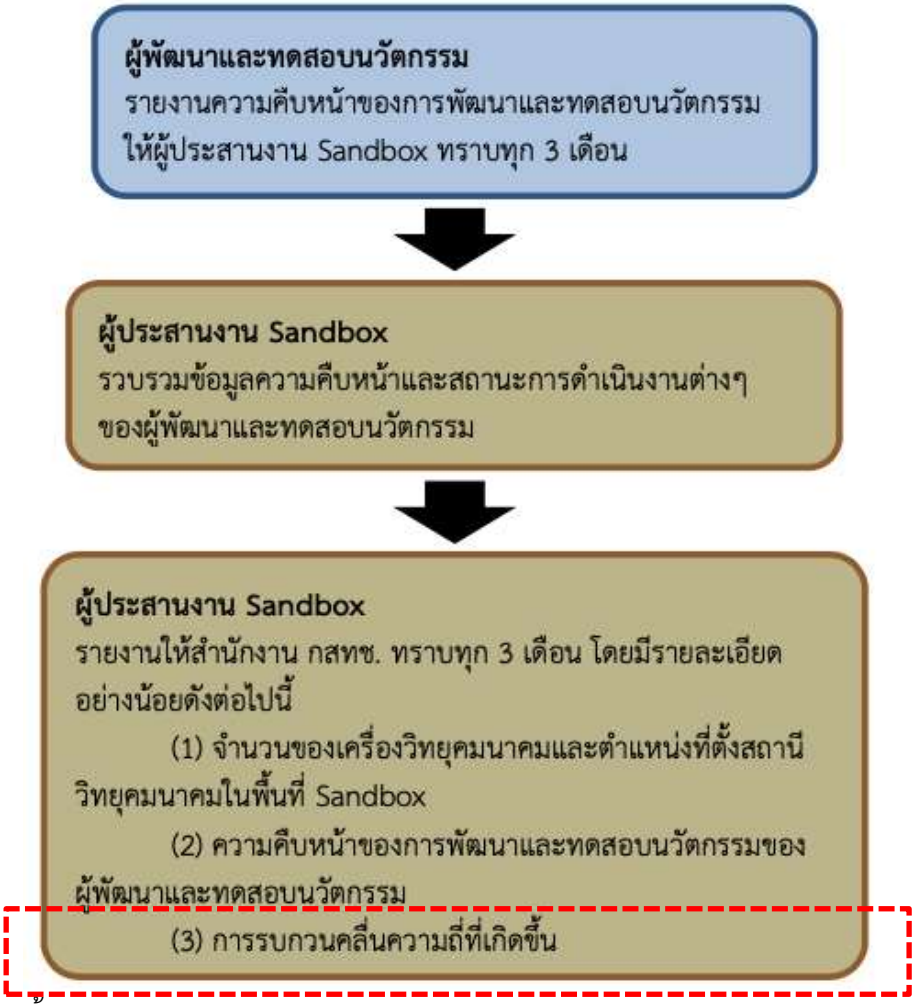
(3) <u>การรบกวนคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้น (ถ้ามี)</u>

ขั้นตอนที่ 3 ให้ผู้ประสานงาน Sandbox รายงานข้อมูลความคืบหน้าและสถานะการดำเนินงานต่างๆ ในพื้นที่ Sandbox ให้สำนักงาน กสทช. ทราบทุก 3 เดือน โดยมีรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้

(1) ความคืบหน้าของการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมของผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรม

(2) จำนวนของเครื่องวิทยุคมนาคมและตำแหน่งที่ตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในพื้นที่ Sandbox

(3) <u>การรบกวนคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้น</u>



รูปที่ 2ก แสดงขั้นตอนการรายงานความคืบหน้าของการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมทุก 3 เดือน (ที่มา [1])

5. การใช้งานคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

นวัตกรรมระบบ 5G อีกหนึ่งเทคโนโลยี ที่เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสมัยใหม่ แต่เนื่องจากระบบ 5G เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่มากในปัจจุบัน การทดลอง ทดสอบก่อนการใช้งานจริงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้พัฒนา แต่การทดลองทดสอบระบบ 5G นั้น ต้องส่งคลื่นความถี่ออกอากาศ และต้องได้รับอนุมัติให้ใช้งานจากทางสำนักงาน กสทช. ก่อน ด้วยเหตุนี้ ทางสำนักงาน กสทช. จึงออกประกาศหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) เพื่อให้ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมระบบ 5G และระบบอื่นๆ สามารถทดสอบและทดลองเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ในพื้นที่จำกัดโดยไม่ขัดต่อกฎหมาย และอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ สำนักงาน กสทช.

รูปที่ 3ก แสดงตัวอย่างพื้นที่ Sandbox ของพื้นที่อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย (ปทุมธานี)

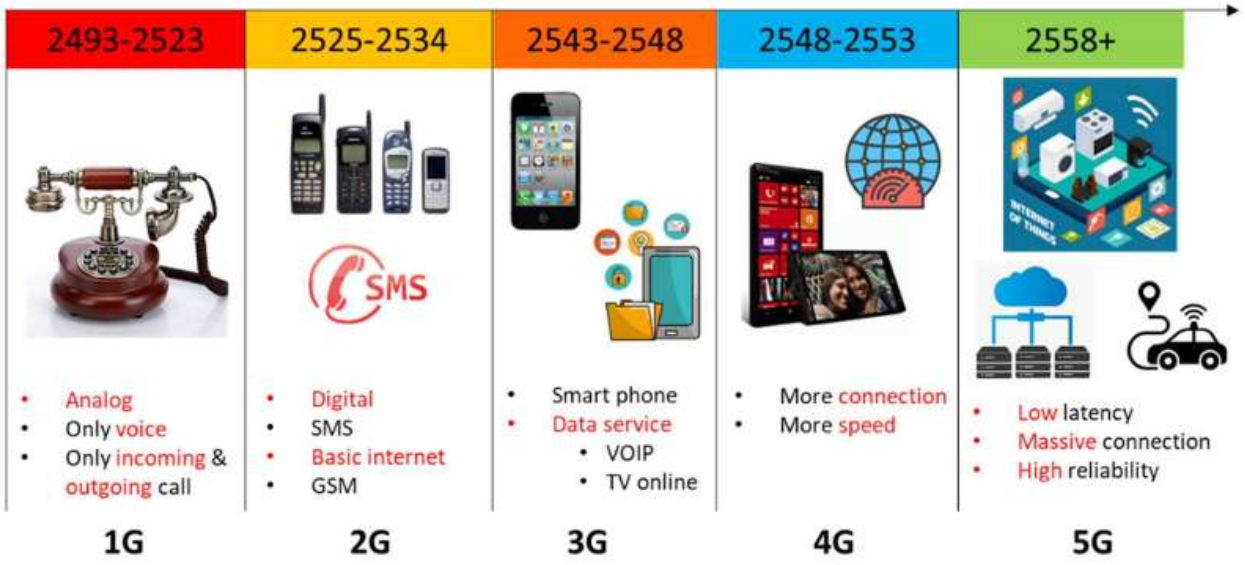
จากรูป 3ก พบว่า พื้นที่อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย (ปทุมธานี) ที่ได้เป็นพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) สำหรับผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมนั้น อยู่ใกล้ชิดกับพื้นที่ชุมชน ไม่ว่าจะเป็น มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัย AIT ซึ่งมีการทดลองทดสอบนวัตกรรมของอาจารย์และนักศึกษา, โรงพยาบาล ซึ่งมีเครื่องมือแพทย์ที่ต้องการความถูกต้องสูง และในอนาคตจะมีโรงซ่อมรถไฟฟ้าความเร็วสูงฯ ซึ่งมีการใช้งานระบบอาณัติสัญญาณที่ใช้คลื่นความถี่ (GSM-R)

ดังนั้น เพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณรบกวนคลื่นความถี่ที่อาจเกิดจากการทดลอง ทดสอบภายในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะฯ ทางสำนักงาน กสทช. จึงได้กำหนดให้ผู้พัฒนาและทดสอบนวัตกรรมต้องจัดทำรายงานผลการรบกวนคลื่นความถี่ให้สำนักงาน กสทช. ทราบทุกๆ 3 เดือน

คลื่นและเทคโนโลยีการสื่อสาร 5G

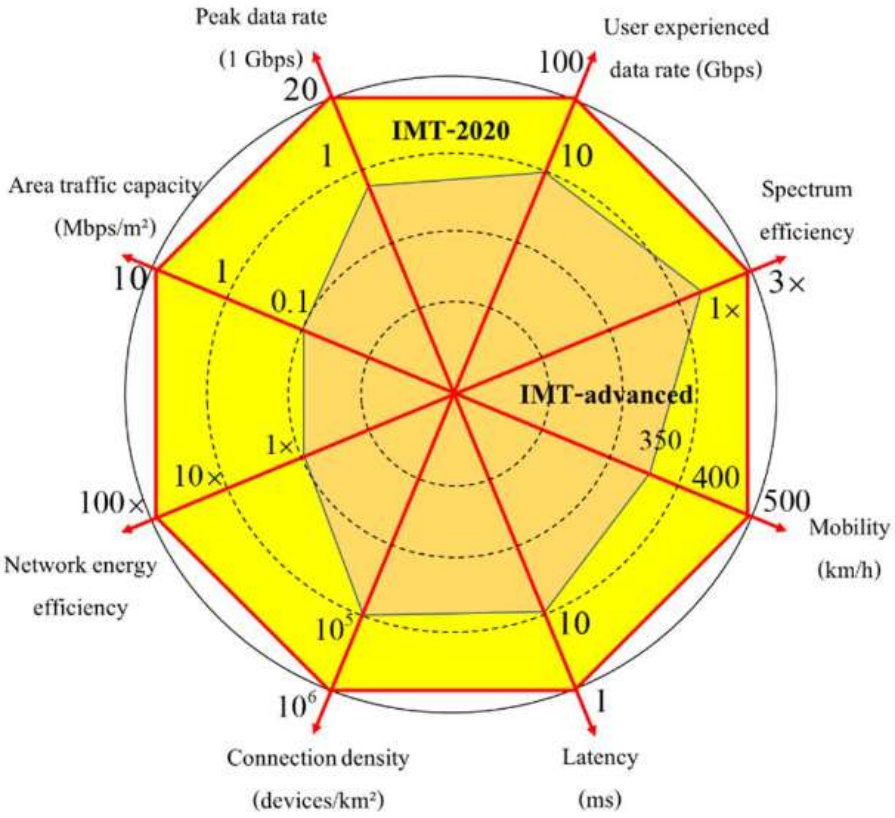
เทคโนโลยีสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคแรก ซึ่งใช้งานระบบแอนาล็อก จนถึงยุคปัจจุบันที่โทรศัพท์กลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของผู้คนส่วนใหญ่ในสังคม การใช้งานอินเตอร์เน็ตเป็นไปด้วยความรวดเร็วและแพร่หลาย อย่างไรก็ตามความต้องการในการเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ 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 [2, หน้า 14 ถึง 16] รวมทั้งมาตรฐานของการสื่อสารในยุค 5G ตามมาตรฐานของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และองค์กรเอกชน 3GPP สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4ก



รูปที่ 4ก 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 5ก แสดงแผนภาพใยแมงมุมของมาตรฐานการสื่อสารในยุคที่ 5 (ที่มา ITU-R M.2083-0)

จากรูปที่ 5ก 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

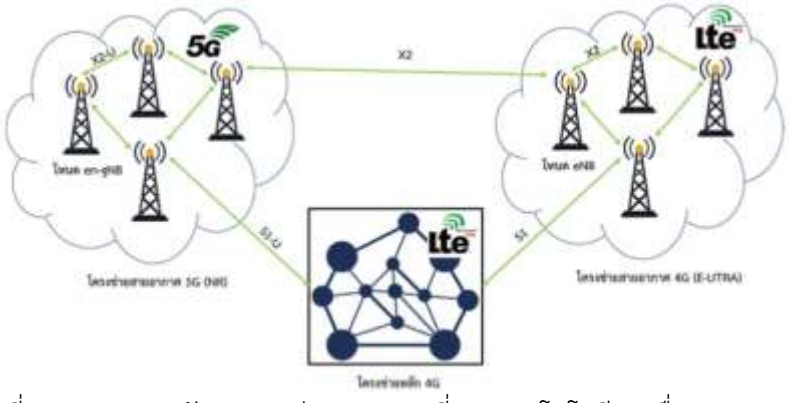
(6) ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโครงข่าย (Network Energy Efficiency) : กำหนดให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 100 เท่าจาก 4G

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

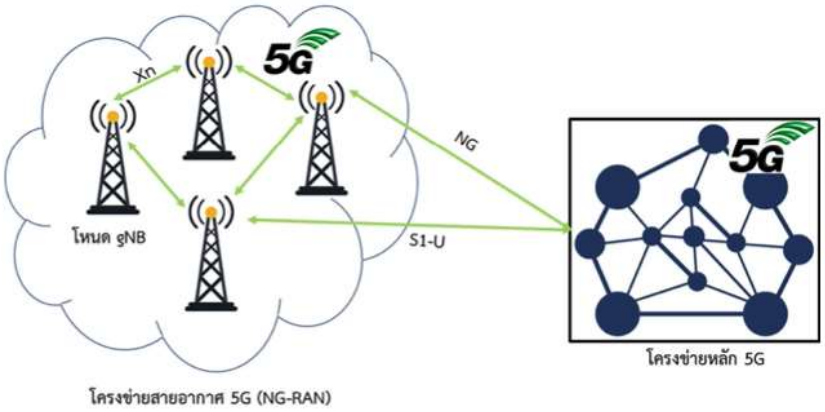
โครงข่ายของการสื่อสาร 5G

คุณสมบัติหลักของ 5G [2, หน้า 48 ถึง 50] คือการใช้คลื่นวิทยุความถี่ใหม่ ซึ่งมีความยืดหยุ่นเพื่อให้รองรับบริการที่ หลากหลาย ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ คือโครงข่ายสายอากาศ 5G คือนอกจากจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลัก (Core Network) ของ 5G แล้วยังต้องสามารถเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลักของ 4G ได้อีกด้วย ดังรูปที่ 6ก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนามของสถาปัตยกรรมร่วม (Non-Standalone: NSA) ในขณะเดียวกันโครงข่ายสายอากาศ 5G ที่เชื่อมต่อเพียงแค่โครงข่ายหลัก 5G จะถูกเรียกว่าสถาปัตยกรรมเดี่ยว (Standalone: SA) ดังรูปที่ 7ก

- สถาปัตยกรรมร่วม (NSA) เกิดขึ้นในระยะแรกของการเปลี่ยนผ่านจากเทคโนโลยี 4G ไปเป็น 5G โดยการนำเอาโครงข่ายสายอากาศ (Radio Access Network: RAN) และคลื่นวิทยุความถี่ใหม่ (NR) ของ 5G ไปใช้ร่วมกับโครงข่ายสายอากาศและโครงข่ายหลักของเทคโนโลยี 4G ดังนั้นจึงสามารถสร้างเทคโนโลยีคลื่นวิทยุความถี่ใหม่โดยที่ยังไม่นำโครงข่ายหลักของ 5G เข้ามาแทนที่ ทำให้รองรับได้เพียงแค่บริการของ 4G เท่านั้น แต่จะมีข้อดีเพิ่มขึ้นมาคือสามารถรองรับปริมาณการเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้เพิ่มขึ้น และมีความหน่วงเวลาลดลงในบางครั้ง สถาปัตยกรรมร่วมรู้จักกันในนาม การเชื่อมต่อควบคู่ E-UTRA และ NR (E-UTRA-NR Dual Connectivity: EN-DC) หรือสถาปัตยกรรมทางเลือกที่ 3
- สถาปัตยกรรมเดี่ยว (SA) เป็นการใช้งานโครงข่ายสายอากาศ และคลื่นวิทยุความถี่ใหม่ของเทคโนโลยี 5G มาใช้งานกับโครงข่ายหลักของ 5G เท่านั้น ทำให้สามารถรองรับบริการของ 5G ในระยะแรกได้



รูปที่ 6ก แสดงสถาปัตยกรรมร่วม (NSA) (ที่มา: เทคโนโลยีการสื่อสารยุค 5G)



รูปที่ 7ก สถาปัตยกรรมเดี่ยว (SA) (ที่มา: เทคโนโลยีการสื่อสารยุค 5G)

เทคโนโลยีที่สนับสนุนความสามารถของการสื่อสาร 5G

เมื่อพิจารณาความสามารถของระบบ 5G ในสามด้านหลัก ๆ [3, หน้า 4] ซึ่งประกอบด้วย eMBB, mMTC และ URLLC จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่รองรับการทางานของระบบ 4G ไม่เพียงพอที่จะรองรับขีดความสามารถของระบบ 5G ได้ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาหาเทคนิคใหม่ ๆ ขึ้น โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีหลักที่น่าสนใจ และมีโอกาสที่จะรองรับขีดความสามารถของระบบ 5G ทั้งสามด้าน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. eMBB

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

1.1. mmWave

วิธีการที่ง่ายที่สุดสำหรับการเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล และเพิ่มความจุของช่องสัญญาณ (channel capacity) คือการใช้ความกว้างของแถบความถี่สำหรับส่งข้อมูลหรือ bandwidth ที่สูงขึ้น ซึ่งในปัจจุบัน คลื่นความถี่ที่เราใช้สำหรับการส่งข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 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

1.2. Massive MIMO

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

1.3. 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

1.4. Shared Spectrum

เทคนิคที่ช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการส่งข้อมูลซึ่งกำลังได้รับความสนใจจากผู้ประกอบกิจการโทรศัพท์เคลื่อนที่คือการใช้งานคลื่นความถี่ย่านที่ต้องได้รับใบอนุญาตสำหรับการใช้คลื่นความถี่ ที่ผู้ประกอบกิจการโทรศัพท์เคลื่อนได้รับจากการประมูลในปัจจุบัน ร่วมกับคลื่นความถี่ที่จัดสรรไว้สำหรับใช้งานเป็นการทั่วไป 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

2. mMTC

เนื่องจากมาตรฐานของระบบ 4G ไม่ได้ถูกสร้างมาเพื่อรองรับการใช้งานของอุปกรณ์จำนวนมาก ได้ ในเบื้องต้นมาตรฐานของ ITU กำหนดให้ระบบ 5G ต้องสามารถรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ได้ในระดับ หลักล้านเครื่องต่อตารางกิโลเมตร ซึ่งจำเป็นต้องมีเทคนิคเข้ามาจัดการข้อมูลที่จะเพิ่มขึ้น

2.1. Cloud Computing

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

3. URLLC

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

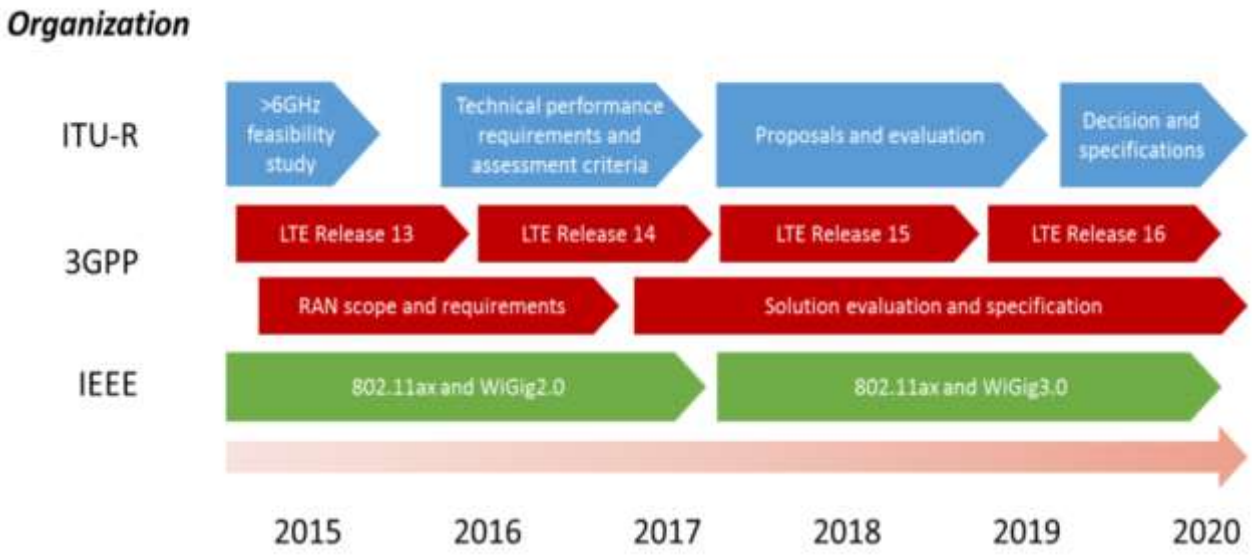
3.1. Fog computing

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

กับอุปกรณ์เสริมที่มีทั้งหน่วยประมวลผลและหน่วยเก็บฐานข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์เสริมเหล่านี้ เราสามารถนำไปใช้งานในบริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์ IoT ต่างๆ ทำให้ไม่ต้องส่งข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ IoT เหล่านี้เป็นระยะทางไกล ซึ่งจะช่วยให้ความหน่วงของการประมวลผลลดลง

มาตรฐานของการสื่อสาร 5G

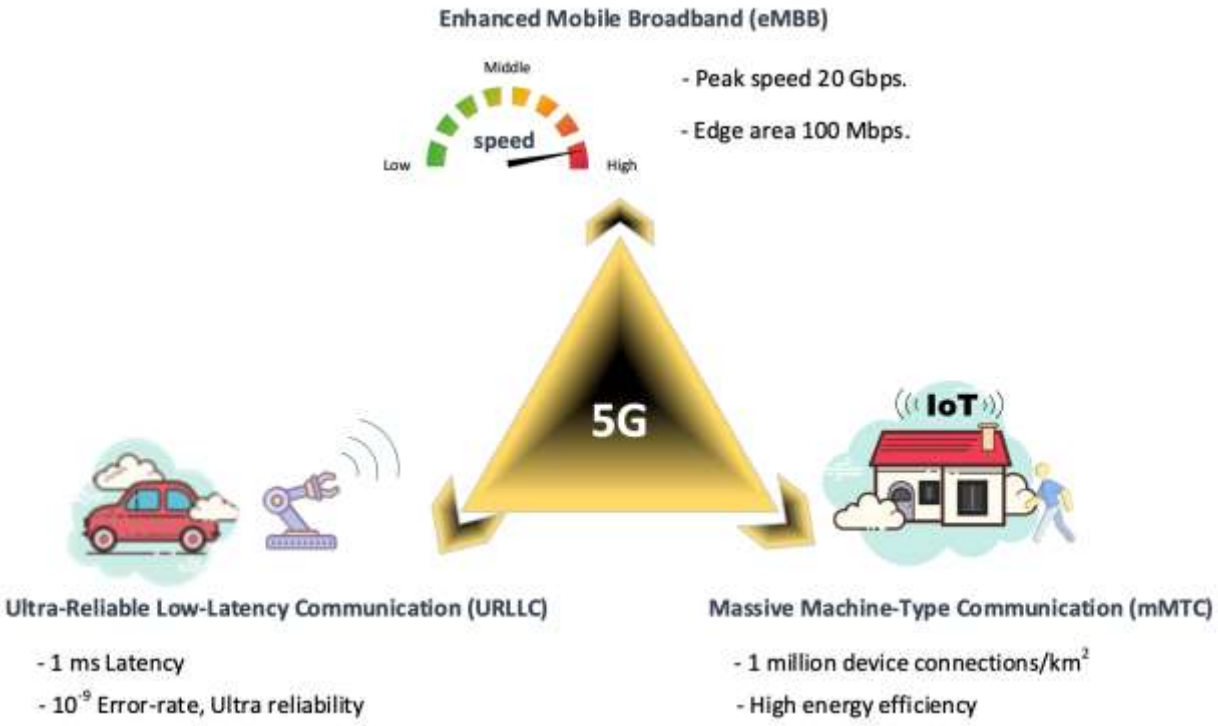
องค์กรระหว่างประเทศ ได้แก่ ITU, 3GPP และ IEEE ได้ทำการศึกษาและกำหนดมาตรฐานของระบบ 5G [3, หน้า 5] ไว้ในเบื้องต้น โดยเฉพาะสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ได้จัดตั้งกลุ่มทำงาน Working Party 5D เพื่อทำการศึกษาการพัฒนาเทคโนโลยี IMT for 2020 and beyond ไม่ว่าจะเป็นในด้านมาตรฐานทางเทคนิค, ความต้องการใช้งานของผู้บริโภค หรือคลื่นความถี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานเทคโนโลยีนี้ รวมไปถึงแนวทางการกำกับดูแล โดยมีผลการศึกษาออกมาเป็นรายงานในประเด็นต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นวิสัยทัศน์ และแนวโน้ม การพัฒนาเทคโนโลยี IMT หรือคลื่นความถี่ที่มีแนวโน้มจะเลือกมาใช้รองรับ 5G โดยกำหนดกรอบเวลาดำเนินงานกำหนดมาตรฐานดังกล่าวให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2562 รายละเอียดปรากฏดังรูปที่ 8ก



รูปที่ 8ก แสดงมาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ สำหรับการสื่อสาร 5G (ที่มา: GSA)

1. มาตรฐาน IMT-2020

IMT-2020 ถูกพัฒนาเพื่อเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเทคโนโลยี 5G [2, หน้า 6 ถึง 7] โดยมาตรฐาน IMT-2020 มีขีดความสามารถในด้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้นจากมาตรฐาน IMT-Advanced (มาตรฐานสำหรับ 4G) ในเบื้องต้น ITU-R ได้สำรวจความต้องการใช้งานระบบ 5G โดยมี 3 ด้านหลัก ๆ ดังนี้



รูปที่ 9ก ผลสำรวจความต้องการใช้งานระบบ 5G จากผู้ใช้งาน (ที่มา ITU-R)

ข้อกำหนดต่าง ๆ ของ IMT-2020 ได้มาจากข้อสรุปการประชุม Mobile world congress ช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2561 ที่เมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน โดยได้มีข้อสรุปว่า ผู้ประกอบการที่สามารถตอบสนองความต้องการผู้ใช้งาน 5G ทั้งสามกลุ่ม (eMBB, mMTC และ URLLC) และสามารถให้บริการตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ได้ จึงจะเรียกได้ว่าเป็นผู้ให้บริการโครงข่าย 5G ที่แท้จริง

- อัตราการดาวน์โหลดและอัปโหลดสูงสุดอยู่ที่ 20 กิกะบิตต่อวินาที และ 10 กิกะบิตต่อวินาที ตามลำดับ
- อัตราการดาวน์โหลดและอัปโหลดต่ำสุดสำหรับการใช้งานจริงตามสภาพแวดล้อมต่าง ๆ 100 เมกะบิตต่อวินาที และ 50 เมกะบิตต่อวินาที ตามลำดับ
- อัตราการดาวน์โหลดและอัปโหลดที่ทำให้การสื่อสารปราศจากความผิดพลาดคือ 30 เมกะบิตต่อวินาที และ 15 เมกะบิตต่อวินาที ตามลำดับ
- ความเร็วการเคลื่อนที่สูงสุดที่ยังคงใช้งานได้คือ 500 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยสามารถรองรับการสื่อสารบนรถไฟความเร็วสูง
- ความหน่วงในระดับต่ำกว่า 1 มิลลิวินาที
- สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 เครื่อง ภายในรัศมี 1 ตารางกิโลเมตร
- สามารถส่งผ่านข้อมูลได้มากกว่าระบบ 4G ดั้งเดิม 100 เท่าต่อหนึ่งหน่วยพลังงาน (สายอากาศ/อุปกรณ์มือถือ/อุปกรณ์ IoT)
- อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร เท่ากับ 10 เมกะบิตต่อวินาที

2. มาตรฐาน 3GPP

องค์กรที่เข้ามาเพื่อพัฒนามาตรฐานทางเทคนิค [2, หน้า 9 ถึงหน้า 10] (Standards Development Organizations: SDOs) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ ITU คือ 3rd Generation Partnership Project หรือ 3GPP ซึ่งเป็นการรวมกลุ่มอุตสาหกรรมโทรคมนาคมที่ประกอบไปด้วย 6 หน่วยงานได้แก่ สมาคมอุตสาหกรรมวิทยุและธุรกิจญี่ปุ่น (ARIB), สหพันธ์เพื่อทางออกอุตสาหกรรมโทรคมนาคมสหรัฐอเมริกา (ATIS), สมาคมมาตรฐานการสื่อสารจีน (CCSA), สถาบันมาตรฐานโทรคมนาคมยุโรป (ETSI), สมาคมเทคโนโลยีโทรคมนาคมเกาหลี (TTA) และคณะกรรมการเทคโนโลยีโทรคมนาคมญี่ปุ่น (TTC) โดยสมาชิกองค์กรทั้ง 6 หน่วยงาน ทำหน้าที่ร่วมกันในการกำหนดและรับรองมาตรฐานรายละเอียดทางเทคนิคเกี่ยวกับเทคโนโลยีระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งกลุ่มรายละเอียดทางเทคนิค TSG (Technical Specification Groups) มีโครงสร้างหรือองค์ประกอบ 4 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มโครงข่ายสายอากาศ TSG-RAN (Radio Access Networks) หรือ RAN มีหน้าที่กำหนดฟังก์ชั่นการเข้าถึงโครงข่าย และการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบต่าง ๆ
- กลุ่มด้านบริการและระบบ TGS-SA (Service & Systems Aspects) หรือ SA มีหน้าที่กำหนดขอบเขตการใช้งาน และให้บริการระบบต่าง ๆ แก่ผู้ใช้งาน
- กลุ่มโครงข่ายหลักและสถานีปลายทาง TSG-CT (Core Network & Terminals) หรือ CN & CT มีหน้าที่ระบุอัลกอริทึมเพื่อเข้าถึงสถานีปลายทาง รวมถึงความสามารถในการเข้าถึงสถานีปลายทางภายใต้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ของสถานีปลายทาง
- กลุ่มโครงข่ายสายอากาศแบบ GSM/EDGE (GSM/EDGE Radio Access Networks) หรือ GERAN มีหน้าที่ในการกำหนดรายละเอียดการเข้าถึงวิทยุ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ RF Layer รวมถึงทดสอบรายละเอียดทุก ๆ ของสถานีฐานและสถานีปลายทางของโครงข่ายสายอากาศ

ปัจจุบัน 3GPP ได้ประกาศมาตรฐานทางเทคนิคด้านคลื่นความถี่ (Radio Frequency Requirement) สำหรับระบบ 5G ออกมาใช้งาน โดยแบ่งออกเป็น มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับสถานีฐาน (Base station) และมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องลูกข่าย (User Equipment)

การศึกษามาตรฐานการทดสอบสถานีฐาน 5G ตามมาตรฐานสากล

องค์กรระหว่างประเทศ ได้แก่ ETSI (European Telecommunication Standards Institute) เป็นองค์กรที่ทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานด้านโทรคมนาคมในยุโรป ร่วมกับองค์กร 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ซึ่งเป็นองค์กรหลักที่มีส่วนสำคัญในการพัฒนามาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ ได้จัดทำมาตรฐานการทดสอบความสอดคล้อง (Conformance test) ทางด้านคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency) สำหรับสถานีฐาน 5G (5G Base station) โดยประกาศใช้เป็นมาตรฐานทางเทคนิคด้านคลื่นความถี่สำหรับสถานีฐาน 5G ได้แก่ มาตรฐาน ETSI TS 38.141 ซึ่งมาตรฐานฉบับนี้ ครอบคลุมถึงการทดสอบทั้งภาคส่ง Transmitter (Tx) และภาครับ Receiver (Rx) ของสถานีฐาน 5G

มาตรฐานทางเทคนิค ETSI TS 38.141 เป็นมาตรฐานที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในระดับสากล และเป็นมาตรฐานอ้างอิงที่ทางสำนักงาน กสทช. ใช้ระบุลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำสำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมสถานีฐาน 5G (5G Base station) โดยมาตรฐานฉบับนี้ ประกอบด้วยข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับการทดสอบความสอดคล้อง (Conformance testing) ของสถานีฐาน 5G ไว้ 2 ส่วน ได้แก่

- ETSI TS 38.141-1: การทดสอบความสอดคล้องผ่านทางสายตัวนำ (Conducted conformance testing)
- ETSI TS 38.141-2: การทดสอบความสอดคล้องผ่านทางอากาศ (Radiated conformance testing)

1. ข้อกำหนดเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสถานีฐาน 5G

1.1. ช่วงความถี่ใช้งานของ 5G

มาตรฐาน ETSI TS 138 104 (3GPP TS 38.104 Release 16) ได้กำหนดช่วงความถี่ใช้งานของ 5G โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงความถี่ มีรายละเอียดดังตารางที่ 1ก

ตารางที่ 1ก แสดงช่วงความถี่ใช้งานของ 5G

การกำหนดช่วงความถี่	ช่วงความถี่ที่สอดคล้อง
FR1	410 MHz – 7125 MHz
FR2	24250 MHz – 52600 MHz

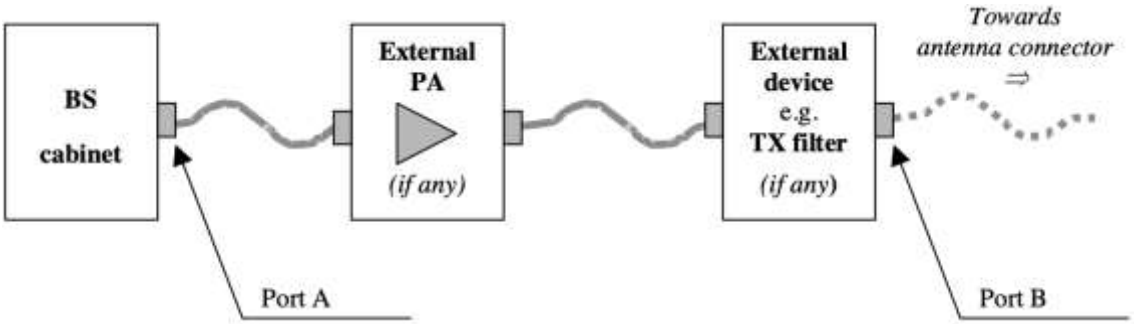
1.2. ข้อกำหนดของจุดอ้างอิงทดสอบสำหรับสถานีฐาน 5G

มาตรฐาน ETSI TS 138 104 V16.7.0 (3GPP TS 38.104 version 16.7.0 Release 16) แบ่งประเภทของสถานีฐาน 5G ออกเป็น 3 ประเภท ตามข้อกำหนดของจุดอ้างอิงทดสอบ คือ จุดอ้างอิงการทดสอบทางสายตัวนำ (Conducted testing) และการทดสอบทางอากาศ (Radiated testing) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1. สถานีฐาน ประเภท 1-C (BS type 1-C)

สถานีฐาน 5G ประเภท 1-C มีจุดอ้างอิงการทดสอบผ่านทางสายตัวนำ (Conducted testing) โดยทำการเชื่อมต่อเพื่อทดสอบที่ช่องต่อสายอากาศ (antenna port) ของสถานีฐาน 5G (รายละเอียดดังรูปที่ 10ก, port A) ในกรณีที่สถานีฐานมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก เช่น เครื่องขยาย (Amplifier), ตัวกรอง

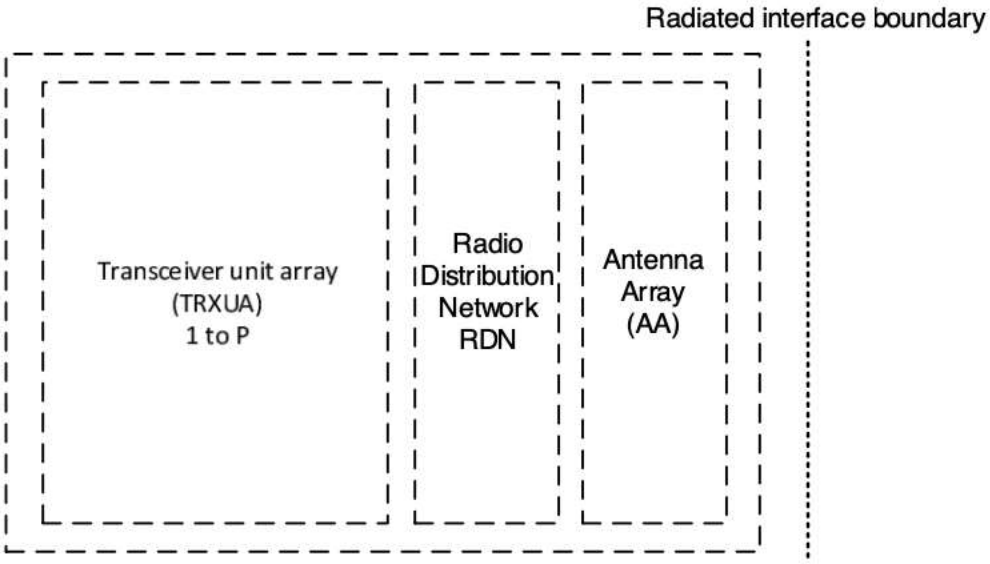
สัญญาณ (Filter) หรือ Combiner ให้ทำการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดที่จุดอ้างอิงท้ายสุดก่อนเชื่อมต่อสายอากาศ (รายละเอียดดังรูปที่ 10ก, port B)



รูปที่ 10ก แสดงจุดอ้างอิงการทดสอบสถานีฐาน 5G ประเภท 1-C (ที่มา: [8])

1.2.2. สถานีฐาน ประเภท 1-O และ 2-O (BS type 1-O and BS type 2-O)

สถานีฐาน 5G ประเภท 1-O และ 2-O มีจุดอ้างอิงการทดสอบผ่านทางอากาศ (Radiated testing) โดยทำการทดสอบคุณลักษณะของคลื่นความถี่ผ่านทางอากาศ (Over The Air, OTA) ที่ส่งผ่านสายอากาศของสถานีฐาน (รายละเอียดดังรูปที่ 11ก)



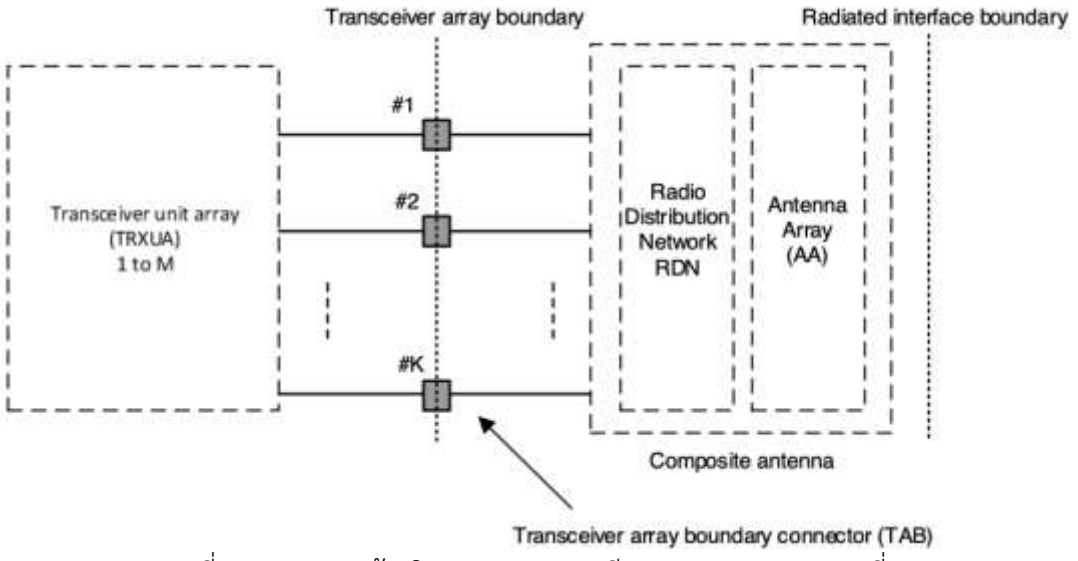
สถานีฐาน 5G ประเภท 1-O คือ ช่วงความถี่ FR1
สถานีฐาน 5G ประเภท 2-O คือ ช่วงความถี่ FR2
Radiated interface boundary สัมพันธ์กับสนามระยะไกล

รูปที่ 11ก แสดงจุดอ้างอิงการทดสอบสถานีฐาน 5G ประเภท 1-O และ 2-O (ที่มา: [8])

1.2.3. สถานีฐาน ประเภท 1-H (BS type 1-H)

สถานีฐาน 5G ประเภท 1-H มีจุดอ้างอิงการทดสอบ 2 จุด คือ จุดอ้างอิงการทดสอบผ่านทางสายตัวนำ (Conducted testing) และจุดอ้างอิงการทดสอบผ่านทางอากาศ (Radiated testing) ซึ่งหมายถึงให้ทำการทดสอบทั้งผ่านทางอากาศและผ่านทางสายตัวนำ โดยการทดสอบคุณลักษณะของคลื่นความถี่ผ่านทางอากาศ (OTA) ให้อ้างอิงตามข้อกำหนดการทดสอบผ่านทางอากาศ (BS type 1-O and BS type 2-

O) ส่วนการทดสอบผ่านทางสายตัวนำให้ทำการเชื่อมต่อการทดสอบที่ช่องต่อ TAB (Transceiver Array Boundary connector) (รายละเอียดดังรูปที่ 12ก)



รูปที่ 12ก แสดงจุดอ้างอิงการทดสอบสถานีฐาน 5G ประเภท 1-H (ที่มา: [8])

1.3. ประเภทของสถานีฐาน 5G

สถานีฐาน 5G แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สถานีฐานประเภทครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณกว้าง (Wide area base station), สถานีฐานประเภทครอบคลุมพื้นที่ขนาดกลาง (Medium range base station) และสถานีฐานประเภทครอบคลุมเฉพาะที่ (Local area base station) ในกรณีที่สถานีฐานเป็นประเภท 1-O และ 2-O สามารถแบ่งประเภทโดยพิจารณาจากระยะทางต่ำสุดในระนาบพื้นดิน (Minimum distance along the ground) ระหว่างสถานีฐาน (BS) กับอุปกรณ์ (UE) และในกรณีที่สถานีฐานเป็นประเภท 1-C และ 1-H สามารถแบ่งประเภทของสถานีฐาน โดยพิจารณาจากค่าความสูญเสียต่ำสุด (Minimum coupling loss) ระหว่างสถานีฐาน (BS) กับอุปกรณ์ (UE) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2ก ประเภทของสถานีฐาน แบ่งตามระยะทางต่ำสุดในระนาบพื้นดินระหว่างสถานีฐาน (BS) กับอุปกรณ์ (UE)

จุดอ้างอิงทดสอบ	ประเภทของสถานีฐาน	ขนาดของเซลล์	ระยะทางต่ำสุด ในระนาบพื้นดิน
ประเภท 1-O และ 2-O	Wide area	Macro cell	35 เมตร
	Medium range	Micro cell	5 เมตร
	Local area	Pico cell	2 เมตร

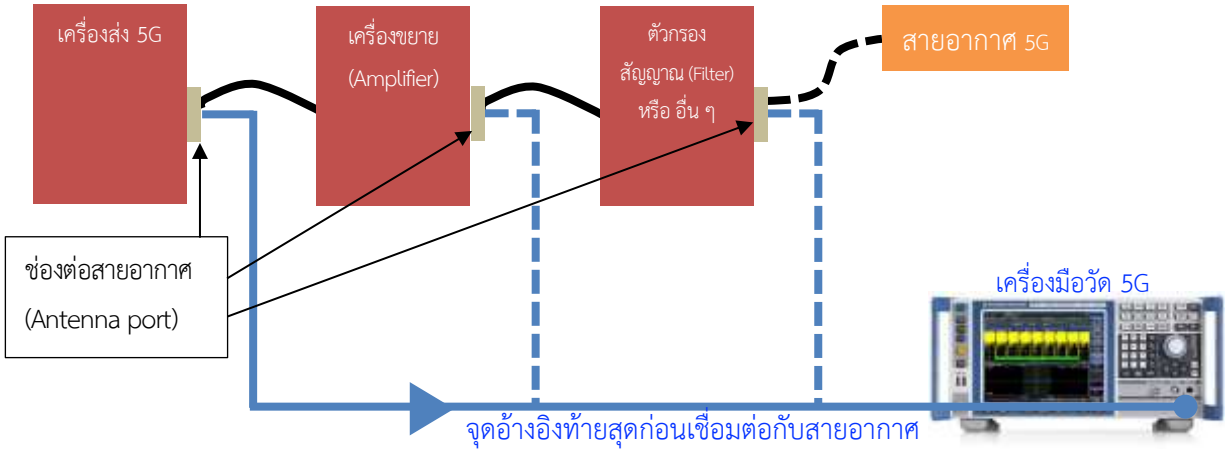
ตารางที่ 3ก ประเภทของสถานีฐาน แบ่งตามค่าความสูญเสียต่ำสุดระหว่างสถานีฐาน (BS) กับอุปกรณ์ (UE)

จุดอ้างอิงทดสอบ	ประเภทของสถานีฐาน	ขนาดของเซลล์	ค่าความสูญเสียต่ำสุด
ประเภท 1-C และ 1-H	Wide area	Macro cell	70 dB
	Medium range	Micro cell	53 dB
	Local area	Pico cell	45 dB

2. การกำหนดองค์ประกอบของการทดสอบสถานีฐาน 5G

2.1. องค์ประกอบการทดสอบทางสายตัวนำ

การทดสอบผ่านทางสายตัวนำ (Conducted testing) เป็นการทดสอบ โดยทำการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดเข้ากับช่องต่อสายอากาศ (antenna port) ของเครื่องส่ง 5G หรือในกรณีที่เครื่องส่ง 5G มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกร่วมด้วย เช่น เครื่องขยาย (Amplifier), ตัวกรองสัญญาณ (Filter) หรือ Combiner ให้ทำการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดที่จุดอ้างอิงท้ายสุดก่อนเชื่อมต่อสายอากาศ (รายละเอียดดังรูปที่ 13ก)

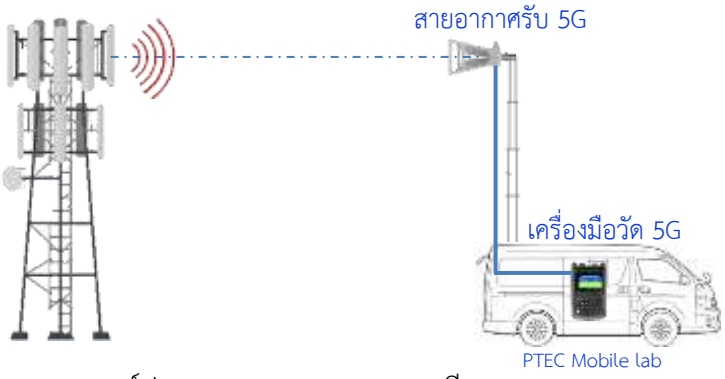


รูปที่ 13ก แสดงองค์ประกอบของการทดสอบสถานีฐาน 5G ทางสายตัวนำ

ในกรณีที่สถานีฐาน 5G มีช่องต่อสายอากาศ (antenna port) จำนวนหลายช่อง หากทางผู้ผลิตสามารถยืนยันได้ว่า กำลังส่งต่อช่อง (power per port) ของเครื่องส่ง มีกำลังส่งเท่า ๆ กัน การทดสอบสามารถทดสอบที่ช่องต่อสายอากาศช่องใดช่องหนึ่งถือว่าเพียงพอ

2.2. องค์ประกอบการทดสอบทางอากาศ

การทดสอบผ่านทางอากาศ (Radiated testing) เป็นการทดสอบ โดยทำการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านสายอากาศของสถานีฐาน 5G ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่เสมือนการใช้งานจริงมากที่สุด สามารถทำได้โดยการเชื่อมต่อสายอากาศรับเข้ากับเครื่องมือวัด และทำการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านสายอากาศของสถานีฐาน 5G ผ่านทางอากาศ โดยให้มีองค์ประกอบสำคัญสำหรับการทดสอบดังรูปที่ 14ก



รูปที่ 14ก แสดงองค์ประกอบของการทดสอบสถานีฐาน 5G ทางอากาศ

3. ข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับสถานีฐาน 5G

มาตรฐาน ETSI TS 38.141-2 V16.7.0 (2021-04) คือ มาตรฐานความสอดคล้องทางเทคนิคของสถานีฐาน 5G สำหรับการทดสอบผ่านทางอากาศ (Over The Air, OTA) ได้กำหนดความสอดคล้องทางเทคนิคสำหรับสถานีฐาน 5G (5G base station transmitter) แบบ Single carrier โดยมีรายละเอียดข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4ก แสดงข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับสถานีฐาน 5G (5G base station transmitter) ตามมาตรฐาน TS 38.141-2 V16.7.0 (2021-04) แบบ Single carrier [9]

ข้อกำหนด	หัวข้อการทดสอบ
6.2	Radiated transmit power
6.3	OTA base station output power
6.4.2	OTA RE power control dynamic range
6.4.3	OTA total power dynamic range
6.5.1	OTA transmitter OFF power
6.5.2	OTA transmitter transient period
6.6.2	OTA frequency error
6.6.3	OTA modulation quality
6.6.4	OTA time alignment error
6.7.2	OTA occupied bandwidth
6.7.3	OTA Adjacent Channel Leakage Power Ratio (ACLR)
6.7.4	OTA operating band unwanted emission
6.7.5.2	General OTA transmitter spurious emission requirement
6.7.5.3	Protection of the BS receiver of own or different BS
6.7.5.4	Additional spurious emission requirements
6.7.5.5	Co-location requirements
6.8	OTA transmitter intermodulation

มาตรฐานการทดสอบสถานีฐาน 5G ในประเทศไทย

ในประเทศไทย สำนักงาน กสทช. ได้ประกาศมาตรฐานมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมสถานีฐาน (กสทช. มท. 1037 – 2563) [4, หน้า 1 ถึงหน้า 5] เพื่อระบุลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำ สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล International Mobile Telecommunications (IMT) ซึ่งใช้เทคโนโลยี IMT-2020 (ระบบ 5G) ประเภทเครื่องวิทยุคมนาคมสถานีฐาน (Base Station) โดยกำหนดให้เครื่องวิทยุคมนาคมสถานีฐานระบบ IMT-2020 (5G base station) ต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานทางเทคนิคด้านคลื่นความถี่ (Radio frequency requirement) ดังต่อไปนี้

1. มาตรฐาน 3GPP

1.1. 3GPP TS 38.104: NR; Base Station (BS) radio transmission and reception

1.2. 3GPP TS 38.141-1: NR; Base Station (BS) conformance testing Part 1: Conducted conformance testing

1.3. 3GPP TS 38.141-2: NR; Base Station (BS) conformance testing Part 2: Radiated conformance testing

1.4. 3GPP TS 37.141 V15.5.0 หรือใหม่กว่า: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; E-UTRA, UTRA and GSM/EDGE; Multi-Standard Radio (MSR) Base Station (BS) conformance testing

1.5. 3GPP TS 37.145-1 V15.2.0 หรือใหม่กว่า: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) conformance testing; Part 1: conducted conformance testing

1.6. 3GPP TS 37.145-2 V15.2.0 หรือใหม่กว่า: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) conformance testing; Part 2: radiated conformance testing

2. มาตรฐาน ETSI

2.1. ETSI TS 138 104: NR; Base Station (BS) radio transmission and reception

2.2. ETSI TS 138 141-1: NR; Base Station (BS) conformance testing Part 1: Conducted conformance testing

2.3. ETSI TS 138 141-2: NR; Base Station (BS) conformance testing Part 2: Radiated conformance testing

2.4. ETSI TS 137 141 V15.5.0 หรือใหม่กว่า: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; E-UTRA, UTRA and GSM/EDGE; Multi-Standard Radio (MSR) Base Station (BS) conformance testing

2.5. ETSI TS 137 145-1 V15.2.0 หรือใหม่กว่า: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) conformance testing; Part 1: conducted conformance testing

2.6. ETSI TS 137 145-2 V15.2.0 หรือใหม่กว่า: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) conformance testing; Part 2: radiated conformance testing

สำนักงาน กสทช. ได้ประกาศ แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunication – IMT) [5] เทียบกับย่านความถี่สากลตามมาตรฐานของ the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) เพื่อใช้งานในประเทศไทยดังนี้

ลำดับที่	ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล	ย่านความถี่ตามประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล	ย่านความถี่สากลตาม The 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
๑.	ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลย่านความถี่ ๗๐๓ - ๗๔๘/๗๕๘ – ๘๐๓ เมกะเฮิรตซ์ ลงวันที่ ๔ มิถุนายน ๒๕๖๒	UL 703 - 748 MHz DL 758 – 803 MHz	Band 28 UL 703-748 MHz DL 758-803 MHz
๒.	ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล ย่านความถี่ ๘๒๔- ๘๓๙/๘๖๙ - ๘๘๔ เมกะเฮิรตซ์ ลงวันที่ ๓ กรกฎาคม ๒๕๖๑	UL 824 - 839 MHz DL 869 - 884 MHz	Band 5 UL 824-849 MHz DL 869-894 MHz
๓.	ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล ย่านความถี่ ๘๘๕ - ๙๑๕/๙๔๐ - ๙๖๐ เมกะเฮิรตซ์ ลงวันที่ ๑๖ กันยายน ๒๕๕๘	UL 895 – 915 MHz DL 940 – 960 MHz	Band 8 UL 880-915 MHz DL 925-960 MHz
๔.	ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล ย่านความถี่ ๑๗๑๐ - ๑๗๘๕/๑๘๐๕ - ๑๘๘๐ เมกะเฮิรตซ์ ลงวันที่ ๒๓ สิงหาคม ๒๕๕๘	UL 1710 – 1785 MHz DL 1805 – 1880 MHz	Band 3 UL 1710-1785 MHz DL 1805-1880 MHz
๕.	ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล ย่านความถี่วิทยุ ๑๙๒๐ - ๑๙๘๐ / ๒๑๑๐ - ๒๑๗๐ เมกะเฮิรตซ์ และย่านความถี่วิทยุ ๒๐๑๐ – ๒๐๒๕ เมกะเฮิรตซ์ ลงวันที่ ๒๔ สิงหาคม ๒๕๕๕	UL 1920 – 1980 MHz DL 2110 – 2170 MHz	Band 1 UL 1920-1980 MHz DL 2110-2170 MHz
		UL/DL 2010 – 2025 MHz *	Band 34 UL/DL 2010-2025 MHz *
๖.	ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล ย่านความถี่ ๒๕๐๐ - ๒๖๙๐ เมกะเฮิรตซ์ ลงวันที่ ๒๔ ธันวาคม ๒๕๖๒	UL/DL 2500 – 2690 MHz	Band 41 UL/DL 2496-2690 MHz
๗.	ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล ย่านความถี่ ๒๔.๒๕ - ๒๗ กิกะเฮิรตซ์ ลงวันที่ ๒๔ ธันวาคม ๒๕๖๒	UL/DL 24.25 – 27 GHz	Band 258 UL/DL 24.25-27.50 GHz

หมายเหตุ * ช่วงความถี่วิทยุ UL/DL 2010 – 2025 MHz สำนักงาน กสทช. จะไม่ให้การรับรองมาตรฐานเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ในย่านความถี่วิทยุนี้ เนื่องจากย่านความถี่วิทยุนี้ไม่มีผู้ให้บริการโครงข่าย และจะทำการตรวจสอบรับรองมาตรฐานเมื่อมีผู้ให้บริการโครงข่ายแล้ว

หัวข้อในการตรวจสอบรับรอง [6] มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมสถานีฐาน ตามมาตรฐาน กสทช. มท. 1037 – 2563 สามารถสรุปได้ดังนี้

	หัวข้อทดสอบ	1-C	1-H	1-O	2-O
3GPP TS 38.141-1	Base station output power	6.2	6.2	-	-
	Adjacent Channel Leakage Power Ratio (ACLR)	6.6.3	6.6.3	-	-
	Operating band unwanted emissions	6.6.4	6.6.4	-	-
	Transmitter spurious emissions	6.6.5	6.6.5	-	-
	Transmitter intermodulation	6.7	6.7	-	-
	Reference sensitivity level	7.2	7.2	-	-
	In-band selectivity and blocking	7.4	7.4	-	-
	Out-of-band blocking	7.5	7.5	-	-
	Receiver spurious emissions	7.6	7.6	-	-
	Receiver intermodulation	7.7	7.7	-	-
3GPP TS 38.141-2	Radiated transmit power	-	6.2	6.2	6.2
	OTA base station output power	-	-	6.3	6.3
	OTA Adjacent Channel Leakage Power Ratio (ACLR)	-	-	6.7.3	6.7.3
	OTA operating band unwanted emissions	-	-	6.7.4	6.7.4
	OTA transmitter spurious emissions	-	-	6.7.5	6.7.5
	OTA transmitter intermodulation	-	-	6.8	-
	OTA sensitivity	-	7.2	7.2	-
	OTA reference sensitivity level	-	-	7.3	7.3
	OTA in-band selectivity and blocking	-	-	7.5	7.5
	OTA out-of-band blocking	-	-	7.6	7.6
	OTA receiver spurious emissions	-	-	7.7	7.7
	OTA receiver intermodulation	-	-	7.8	7.8

รูปที่ 15ก หัวข้อในการตรวจสอบรับรองมาตรฐาน สถานีฐาน 5G (ที่มา : [6])

การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ที่เกิดการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่ Sandbox

สำนักงาน กสทช. ได้อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่การสื่อสาร 5G และคลื่นความถี่อื่นนอกเหนือจากคลื่นความถี่ 5G เช่น Unlicensed IoT, Intelligent Transport Systems (ITS) หรือ IEEE 802.16 (WiMAX) เป็นต้น เพื่อใช้ในการพัฒนา และทดสอบนวัตกรรมภายในพื้นที่ Sandbox ซึ่งเป็นการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน (shared use) โดยไม่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวน และหากการใช้งานคลื่นความถี่ทดลองภายในพื้นที่ Sandbox ก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่ ที่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวนในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง จะต้องระงับการใช้คลื่นความถี่ที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นโดยทันที ประกอบกับ คลื่นความถี่ทดลองที่ได้รับอนุญาตนั้น เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่ผ่านทางอากาศ ซึ่งมีโอกาสก่อให้เกิดการรบกวนด้านคลื่นความถี่ได้ในบริเวณกว้าง และทำการป้องกันได้ยาก

จากรายชื่อพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ[7] ที่ประกาศโดยสำนักงาน กสทช. พบว่า คลื่นความถี่ 5G เป็นช่วงความถี่ที่มีการขออนุญาตทดลองใช้งานในพื้นที่ Sandbox มากที่สุด อีกทั้งในปัจจุบัน ในประเทศไทยยังไม่มีขั้นตอนการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ 5G ด้วยเหตุนี้ ศูนย์ทดสอบ PTEC จึงได้มุ่งเน้นเพื่อทำการศึกษามาตรฐานการทดสอบคลื่นความถี่ 5G เป็นสำคัญ โดยออกแบบขั้นตอน วิธีการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ของคลื่นความถี่ 5G ผ่านทางอากาศ (Over the air) ในสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่เปิดโล่ง (Open area) ซึ่งเสมือนกับการใช้งานคลื่นความถี่ในสถานการณ์จริงมากที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดการรบกวนคลื่นความถี่ภายในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ไปรบกวนการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่ที่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวน (ผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือ) ที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง

จากผลการศึกษา มาตรฐานการทดสอบสถานีฐาน 5G [8], [9] ประกอบกับประสบการณ์การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ที่ศูนย์ทดสอบ PTEC ทำการทดสอบอยู่เดิม ศูนย์ทดสอบ PTEC จึงได้พิจารณาหัวข้อการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ผ่านทางอากาศของคลื่นความถี่ 5G และคลื่นความถี่อื่น ๆ ที่มีการขออนุญาตทดลองใช้งานในพื้นที่ Sandbox โดยเรียบเรียงเป็นหัวข้อการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

1. กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power : e.i.r.p.)

การทดสอบกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังส่งออกอากาศสูงสุดของการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง เทียบกับขีดจำกัดของกำลังส่งสูงสุด (e.i.r.p.) ที่ทางสำนักงาน กสทช. อนุญาตให้ใช้งานภายในพื้นที่ Sandbox หรือเทียบกับกำลังส่งสูงสุด (e.i.r.p.) ของระบบเครื่องส่ง

2. แถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth)

การทดสอบแถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแถบความถี่ครอบครอง ขณะเวลาที่ใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง เทียบกับช่วงความถี่ (Bandwidth) ที่ตั้งค่าไว้เพื่อใช้งาน เพื่อป้องกันการเกิดการรบกวนคลื่นความถี่ทดลองใช้แถบความถี่ครอบครองมากกว่าค่าที่ตั้งไว้

3. การแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง (Transmitter Spurious Emissions)

การทดสอบการแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง (Transmitter Spurious Emissions) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าคลื่นความถี่แปลกปลอมที่เกิดจากเครื่องส่ง ขณะเวลาที่ใช้งานคลื่นความถี่ โดยเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐาน Recommendation ITU-R SM.329-12 (09/2012) : Unwanted emission in the spurious domain [10] เพื่อป้องกันการเกิดการรบกวนคลื่นความถี่ทดลองที่เกิดจากการแพร่แปลกปลอมไปรบกวนคลื่นความถี่โทรศัพท์มือถือที่ได้รับการคุ้มครอง

4. อัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (Signal to Interference plus Noise Ratio)

การทดสอบอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR) เป็นการทดสอบหาค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณ (คลื่นความถี่โทรศัพท์มือถือที่ได้รับการคุ้มครอง) ต่อการรบกวนที่เกิดจากการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง เป็นการทดสอบเพิ่มเติมหลังจากทำการทดสอบหัวข้ออื่น ๆ แล้วเสร็จ เพื่อให้เกิดความมั่นใจเพิ่มมากขึ้น ว่าในขณะที่ใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง จะไม่ก่อให้เกิดการรบกวนคลื่นความถี่โทรศัพท์มือถือในบริเวณพื้นที่ข้างเคียง

การทดสอบหัวข้อนี้ เป็นการสังเกตการรบกวนต่อคลื่นความถี่โทรศัพท์มือถือในบริเวณพื้นที่ข้างเคียง ด้วยการพิจารณา ค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR) ในขณะที่ใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง และในช่วงที่ไม่ได้ใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง ซึ่งจะไม่มีเกณฑ์การตัดสินอ้างอิง

การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภายในห้องปฏิบัติการ

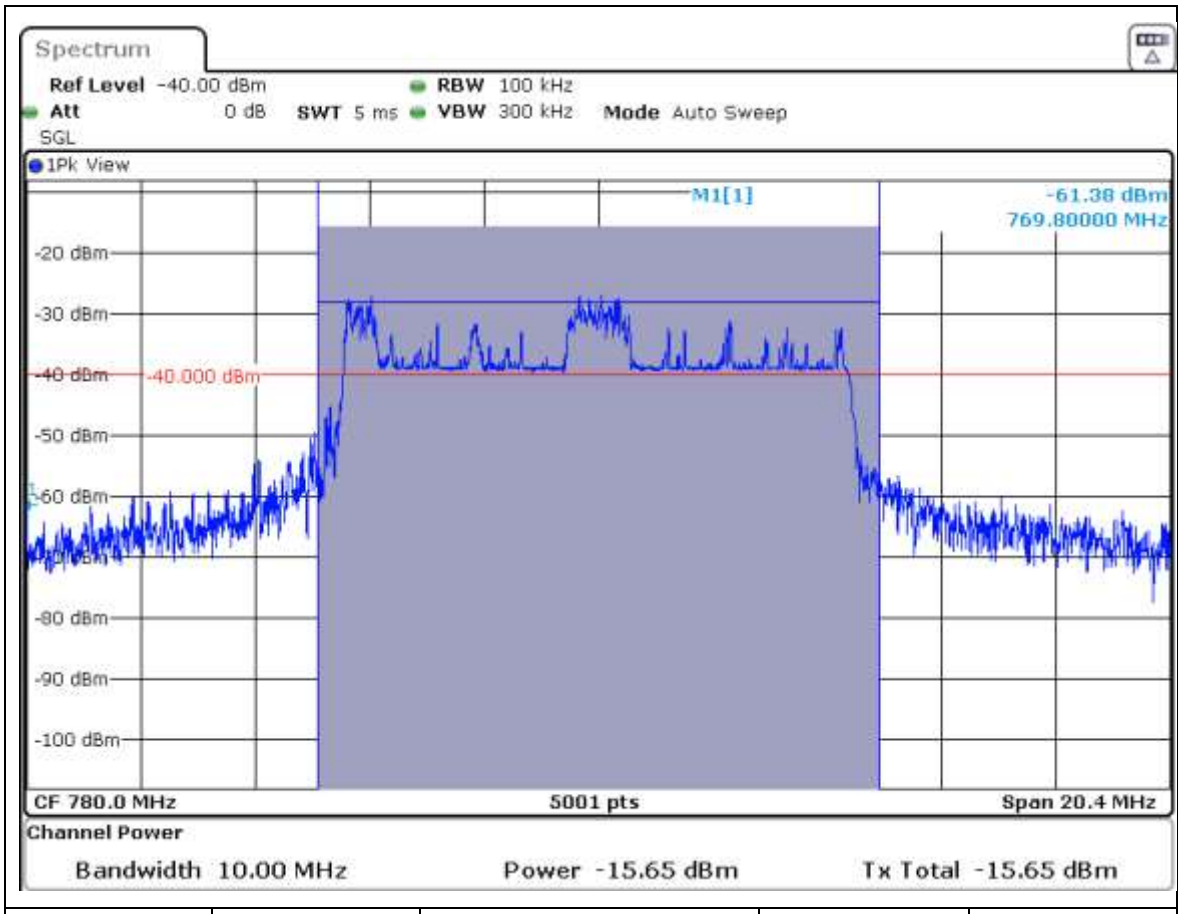
ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้พิจารณาหัวข้อการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ที่เกิดจากการทดลองใช้งานในพื้นที่ Sandbox โดยได้ออกแบบเป็นขั้นตอนการทดสอบการรบกวนคลื่นผ่านทางอากาศ (Over the air) ในสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่เปิดโล่ง (Open area) ซึ่งเสมือนกับการใช้งานคลื่นความถี่ในสถานการณ์จริงมากที่สุด โดยประกอบด้วยการทดสอบทั้งหมด แบ่งออกเป็น 4 หัวข้อทดสอบ คือ กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.), แถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth), การแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง (Transmitter Spurious Emissions) และอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR) โดยทำการแบ่งการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ออกเป็น 2 ส่วนตามเทคโนโลยีการใช้งานคลื่นความถี่ คือ การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ 5G และการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่อื่น ๆ ที่นอกเหนือจาก 5G โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

1. การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ 5G

เพื่อเป็นการป้องกันการรบกวนคลื่นความถี่ที่เกิดจากการทดลองใช้งานคลื่นความถี่ 5G ในพื้นที่ Sandbox นั้น ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ออกแบบหัวข้อการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อการทดสอบ คือ กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.), แถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth), การแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง (Transmitter Spurious Emissions) และอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR) โดยอ้างอิงจากหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ร่วมกับวิธีการทดสอบ และเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้องตามมาตรฐาน ETSI TS 38.141-2 V16.7.0 (2021-04) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ทางสำนักงาน กสทช. ใช้ระบุลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำสำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมสถานีฐาน 5G และมาตรฐาน Recommendation ITU-R SM.329-12 (09/2012) : Unwanted emission in the spurious domain ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล โดยมีรายละเอียดการทดสอบในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.1. กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.) หรือ Radiated transmit power

ในกรณีที่ พื้นที่ Sandbox ได้รับอนุญาตให้ทำการทดลองคลื่นความถี่ 5G โดยมีการจำกัดค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.) ไว้ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะใช้ค่าดังกล่าวนี้เป็นเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้อง เพื่อให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์การอนุญาตฯ ของทางสำนักงาน กสทช. และในกรณีที่พื้นที่ Sandbox ไม่ได้ถูกจำกัดค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.) ไว้ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะใช้วิธีการทดสอบ และเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้องตามข้อกำหนด 6.2 Radiated transmit power ของมาตรฐาน ETSI TS 38.141-2 V16.7.0 (2021-04) เป็นเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้อง โดยมีตัวอย่างของผลการทดสอบที่ทดลองภายในห้องปฏิบัติการฯ ของศูนย์ทดสอบ PTEC ดังรูปที่ 16ก

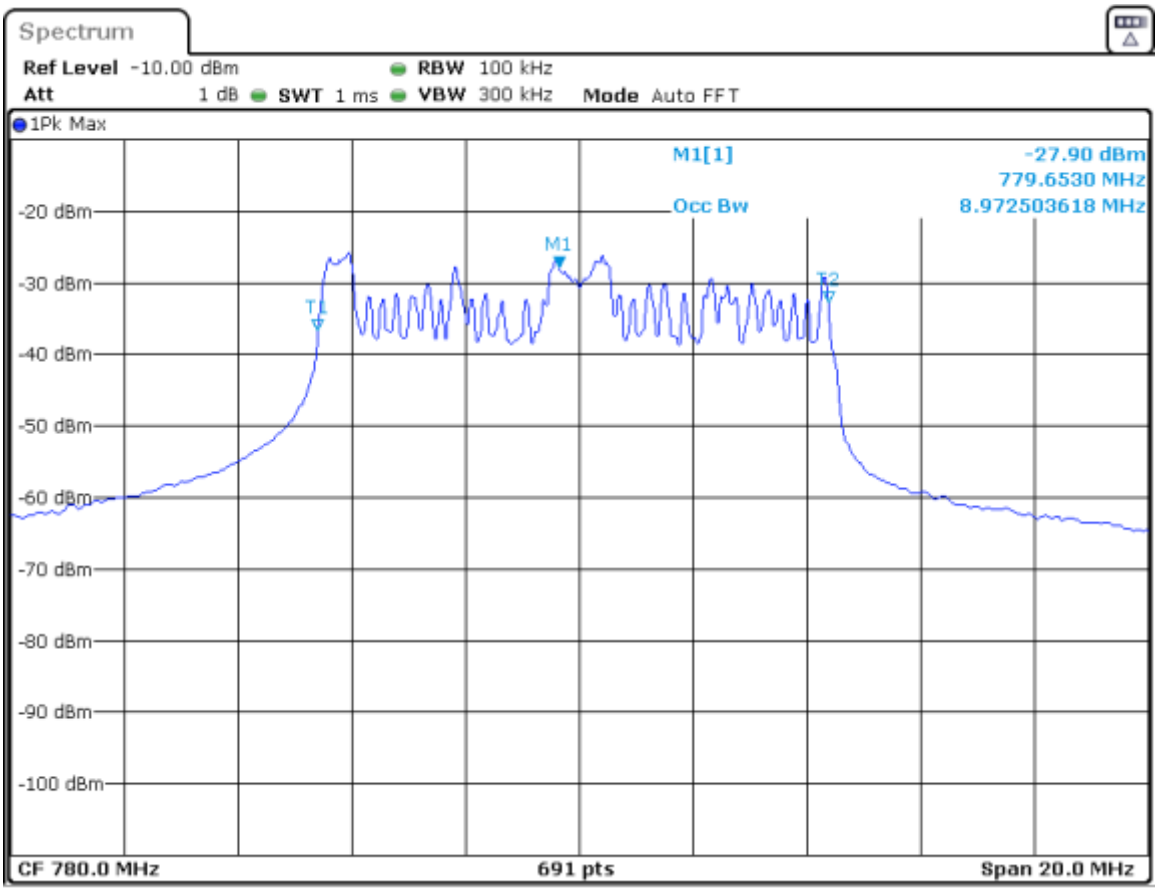


คลื่นความถี่	แนวแกนของคลื่นความถี่ส่ง	กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.)	ขีดจำกัด	ผลการทดสอบ
4G LTE B28	แนวแกนตั้ง	-15.65 dBm	33.00 dBm	ผ่าน

รูปที่ 16ก แสดงกราฟตัวอย่างผลการวัดค่า Radiated transmit power

1.2. แถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth) หรือ OTA occupied bandwidth

พื้นที่ Sandbox ได้รับอนุญาตให้ทำการทดลองคลื่นความถี่ โดยมีการระบุช่วงความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานไว้ชัดเจน แต่เมื่อเวลาที่ใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง มักเป็นการใช้งานเพียงช่วงความถี่แคบตามค่า Bandwidth ที่ตั้งไว้ เช่น ตั้งค่า Bandwidth ของการใช้งานคลื่น 5G ไว้ที่ 10 MHz เมื่อใช้งานจริงคลื่นความถี่ที่ส่งออกมาจะมีแถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth) ที่น้อยกว่าค่า Bandwidth ที่ตั้งไว้ ดังนั้น ศูนย์ทดสอบ PTEC จะใช้ค่า Bandwidth ของการตั้งค่าการใช้งานคลื่น 5G เป็นเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้องของการทดสอบ โดยมีตัวอย่างของผลการทดสอบที่ทดลองภายในห้องปฏิบัติการฯ ของศูนย์ทดสอบ PTEC ดังรูปที่ 17ก

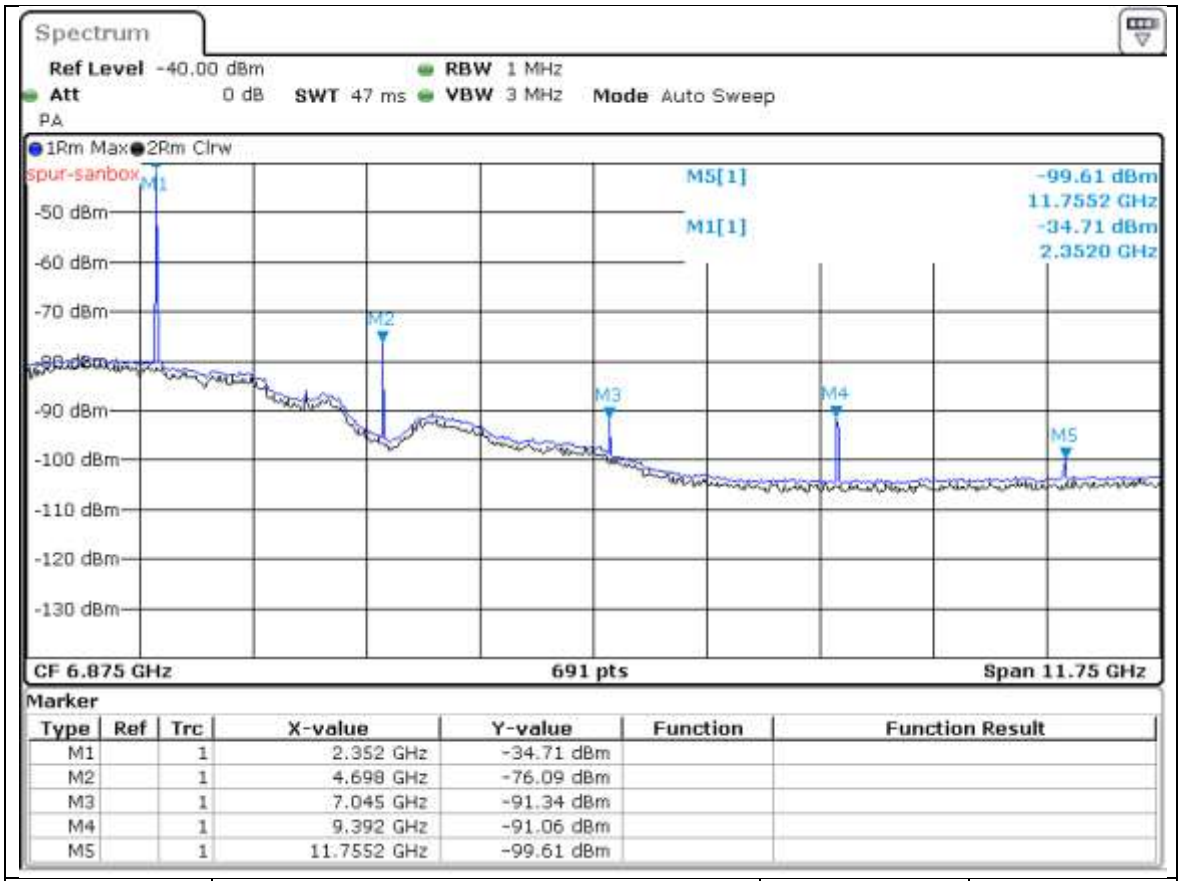


คลื่นความถี่	แนวแกนของคลื่นความถี่ส่ง	แถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth)	ขีดจำกัด	ผลการทดสอบ
4G LTE B28	แนวแกนตั้ง	8.972 MHz	10 MHz	ผ่าน

รูปที่ 17ก แสดงกราฟตัวอย่างผลการวัดค่าแถบความถี่ครอบครอง

1.3. การแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง (Transmitter Spurious Emissions)

โดยปกติแล้ว เมื่อเครื่องส่ง (Transmitter) ทำงานสร้างคลื่นความถี่ใช้งาน เครื่องส่งนั้นจะสร้างคลื่นความถี่แปลกปลอมออกมาด้วยเสมอ และคลื่นความถี่แปลกปลอมนี้ หากมีค่าสูงมากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดการรบกวนต่อคลื่นความถี่อื่นได้ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะใช้เกณฑ์การยอมรับความสอดคล้องตามมาตรฐาน Recommendation ITU-R SM.329-12 (09/2012) : Unwanted emission in the spurious domain ซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับสากล โดยมีตัวอย่างของผลการทดสอบที่ทดลองภายในห้องปฏิบัติการฯ ของศูนย์ทดสอบ PTEC ดังรูปที่ 18ก



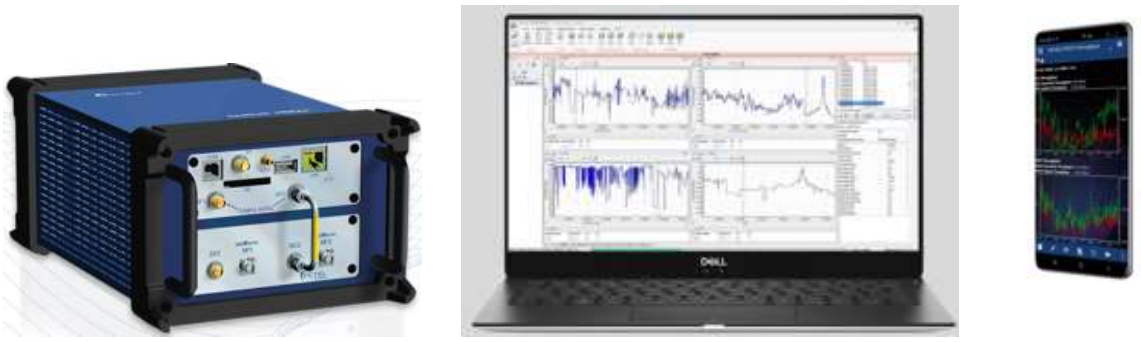
คลื่นความถี่	ความถี่แปลกปลอม		ขีดจำกัด	ผลการทดสอบ
	ความถี่	ความแรงของคลื่น		
4G LTE B28	4698.00 MHz	-76.09 dBm	-30.00 dBm	ผ่าน
	7045.00 MHz	-91.34 dBm	-30.00 dBm	ผ่าน
	9392.00 MHz	-91.06 dBm	-30.00 dBm	ผ่าน

รูปที่ 18ก แสดงกราฟตัวอย่างผลการวัดค่าการแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง

1.4. อัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR)

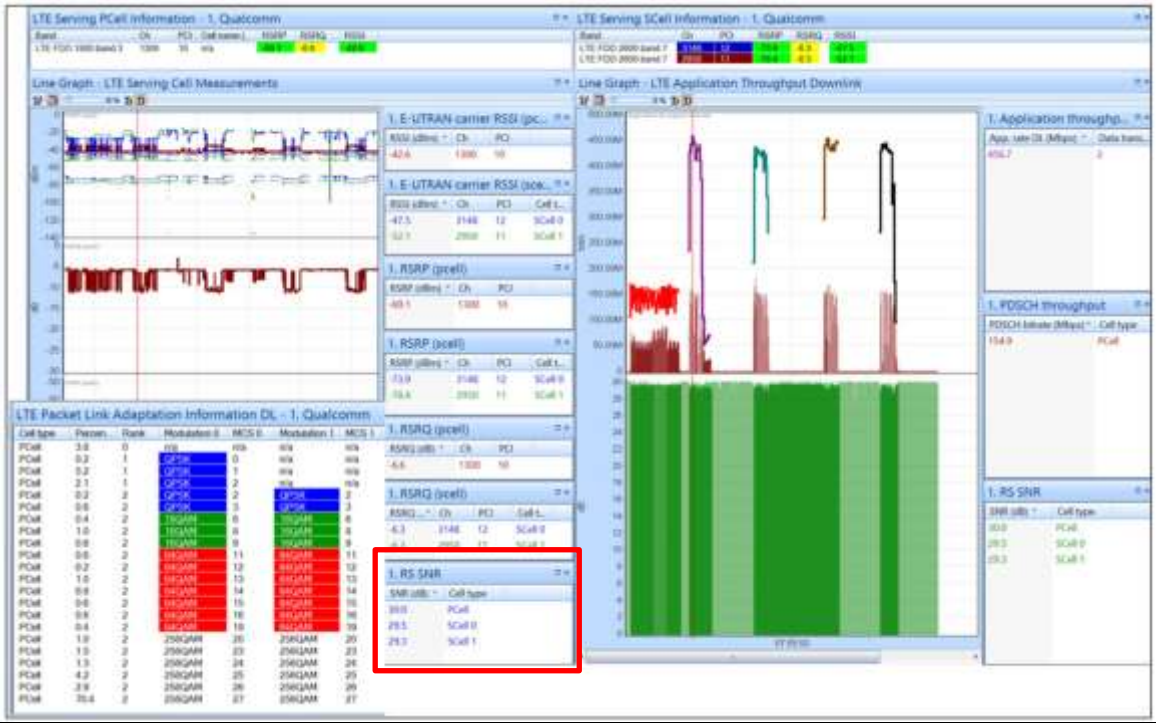
การทดสอบอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR) เป็นการทดสอบหาค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณ (คลื่นความถี่โทรศัพท์มือถือที่ได้รับการคุ้มครอง) ต่อการรบกวนที่เกิดจากการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง โดยทำการวัดเปรียบเทียบค่า SINR ในระหว่างที่ มีการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง (5G ON) และช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง (5G OFF) โดยการทดสอบหัวข้อนี้ เป็นการสังเกตผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง ซึ่งส่งผลต่อคลื่นความถี่หลัก (ความถี่โทรศัพท์มือถือในบริเวณพื้นที่ข้างเคียง) โดยพิจารณาค่า SINR ซึ่งในการทดสอบนี้จะไม่มีเกณฑ์การยอมรับอ้างอิง

ศูนย์ทดสอบ PTEC ออกแบบขั้นตอนการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Nemo Outdoor Drive test system (รายละเอียดดังรูปที่ 19ก) ทำการวัดเปรียบเทียบค่า SINR ในระหว่างมีการทดลองใช้งานคลื่น 5G (5G ON) และไม่ใช้งานคลื่น 5G (5G OFF) โดยมีตัวอย่างของผลการทดสอบดังรูปที่ 20ก



PCTEL รุ่น HBflex | Nemo drive test | Nemo handy test

รูปที่ 19ก Nemo Outdoor Drive test system



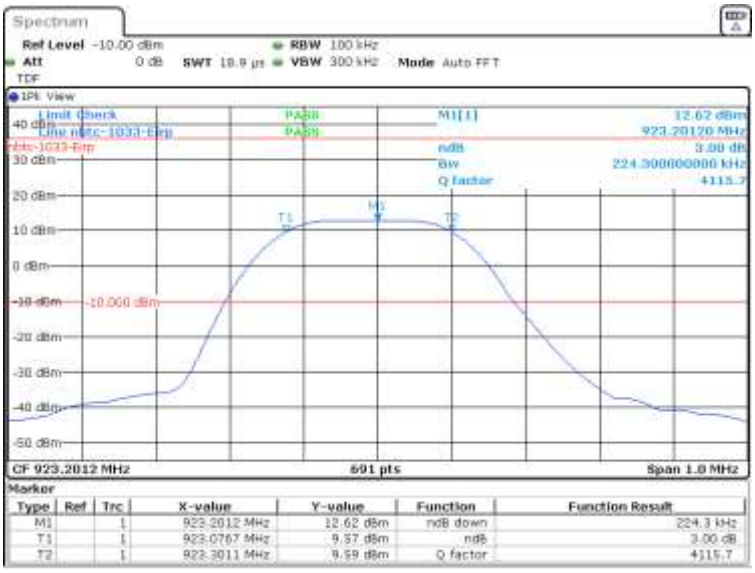
รูปที่ 20ก แสดงตัวอย่างผลการวัดค่า SINR

2. การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่นอกเหนือจาก 5G

สำนักงาน กสทช. ได้อนุญาตให้มีการทดลองใช้งานคลื่นความถี่นอกเหนือจาก 5G ในพื้นที่ Sandbox ซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีการใช้คลื่นความถี่หลายหลายประเภท เช่น Unlicensed IoT, Intelligent Transport Systems (ITS) หรือ IEEE 802.16 (WiMAX) เป็นต้น ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ออกแบบหัวข้อการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อการทดสอบ คือ กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.), แถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth), การแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง (Transmitter Spurious Emissions) และอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR) โดยใช้เกณฑ์การยอมรับความสอดคล้อง อ้างอิงจากหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) และมาตรฐาน Recommendation ITU-R SM.329-12 (09/2012) : Unwanted emission in the spurious domain โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

2.1. กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.)

ในกรณีที่ พื้นที่ Sandbox ได้รับอนุญาตให้ทำการทดลองคลื่นความถี่นอกเหนือจาก 5G โดยมีการจำกัดค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.) ไว้ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะใช้ค่าดังกล่าวนี้เป็นเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้อง และในกรณีที่ไม่ได้ถูกจำกัดค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.) ไว้ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะใช้วิธีการทดสอบ และเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้องตามประกาศมาตรฐานทางเทคนิคเครื่องวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้องเป็นเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้อง โดยมีตัวอย่างของผลการทดสอบที่ทดลองภายในห้องปฏิบัติการฯ ของศูนย์ทดสอบ PTEC ดังรูปที่ 21ก

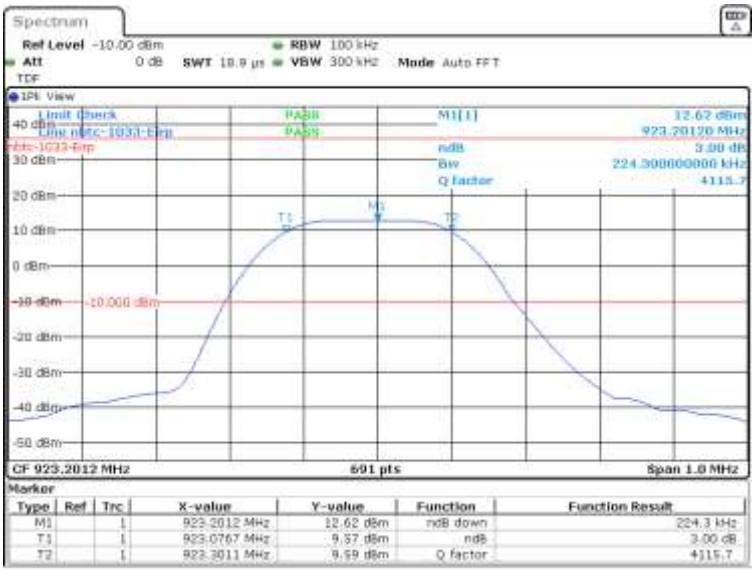


คลื่นความถี่	แนวแกนของคลื่นความถี่ส่ง	กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.)	ขีดจำกัด	ผลการทดสอบ
Unlicensed IoT	แนวแกนตั้ง	12.62 dBm	30.00 dBm	ผ่าน

รูปที่ 21ก แสดงกราฟตัวอย่างผลการวัดค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.)

2.2 แถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth)

พื้นที่ Sandbox ได้รับอนุญาตให้ทำการทดลองคลื่นความถี่ โดยมีการระบุช่วงความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานไว้ชัดเจน แต่เมื่อเวลาที่ใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง มักเป็นการใช้งานเพียงช่วงความถี่แคบตามค่า Bandwidth ที่ตั้งไว้ เช่น ตั้งค่า Bandwidth ของการใช้งานคลื่น Unlicensed IoT ไว้ที่ 1 MHz เมื่อใช้งานจริงคลื่นความถี่ที่ส่งออกมาจะมีแถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth) ที่น้อยกว่าค่า Bandwidth ที่ตั้งไว้ ดังนั้นศูนย์ทดสอบ PTEC จะใช้ค่า Bandwidth ของการตั้งค่าการใช้งานคลื่น Unlicensed IoT เป็นเกณฑ์การยอมรับความสอดคล้องของการทดสอบ โดยมีตัวอย่างของผลการทดสอบที่ทดลองภายในห้องปฏิบัติการฯ ของศูนย์ทดสอบ PTEC ดังรูปที่ 22ก

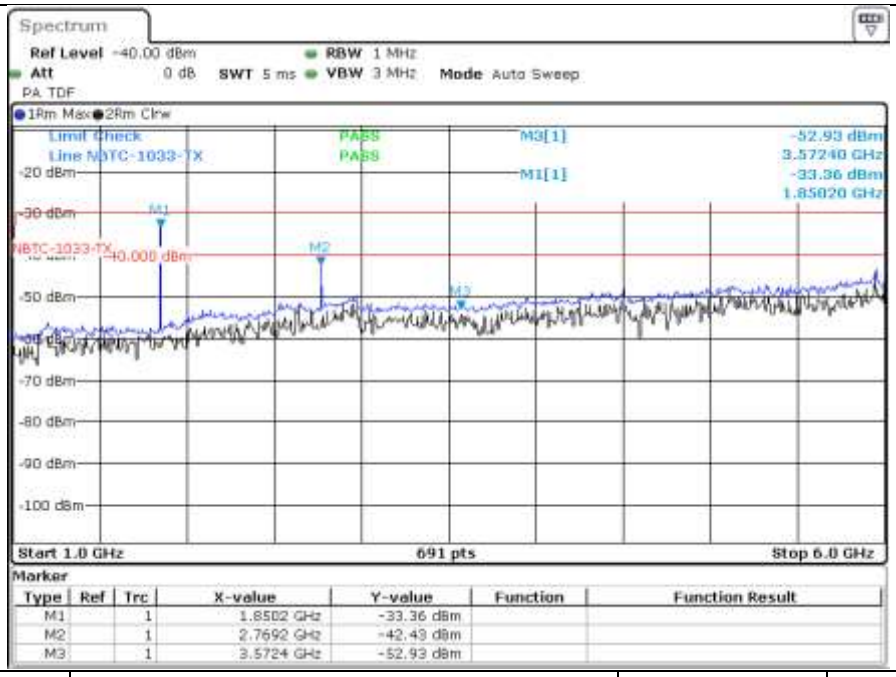


คลื่นความถี่	แนวแกนของคลื่นความถี่ส่ง	แถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth)	ขีดจำกัด	ผลการทดสอบ
Unlicensed IoT	แนวแกนตั้ง	0.224 MHz	1 MHz	ผ่าน

รูปที่ 22ก แสดงกราฟตัวอย่างผลการวัดค่าแถบความถี่ครอบครอง

2.3 การแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง (Transmitter Spurious Emissions)

โดยปกติแล้ว เมื่อเครื่องส่ง (Transmitter) ทำงานสร้างคลื่นความถี่ใช้งาน เครื่องส่งนั้นจะสร้างคลื่นความถี่แปลกปลอมส่งออกมาด้วยเสมอ และคลื่นความถี่แปลกปลอมนี้ หากมีค่าสูงมากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดการรบกวนต่อคลื่นความถี่อื่นได้ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะใช้เกณฑ์การยอมรับความสอดคล้องตามมาตรฐาน Recommendation ITU-R SM.329-12 (09/2012) : Unwanted emission in the spurious domain ซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับสากล โดยมีตัวอย่างของผลการทดสอบที่ทดลองภายในห้องปฏิบัติการฯ ของศูนย์ทดสอบ PTEC ดังรูปที่ 23ก



คลื่นความถี่	ความถี่แปลกปลอม		ขีดจำกัด	ผลการทดสอบ
	ความถี่	ความแรงของคลื่น		
Unlicensed IoT	1850.20 MHz	-33.36 dBm	-30.00 dBm	ผ่าน
	2769.20 MHz	-42.43 dBm	-30.00 dBm	ผ่าน
	3572.40 MHz	-52.93 dBm	-30.00 dBm	ผ่าน

รูปที่ 23ก แสดงกราฟตัวอย่างผลการวัดค่าการแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง

2.4 อัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR)

การทดสอบอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR) เป็นการทดสอบหาค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณ (คลื่นความถี่โทรศัพท์มือถือที่ได้รับการคุ้มครอง) ต่อการรบกวนที่เกิดจากการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง โดยทำการวัดเปรียบเทียบค่า SINR ในระหว่างที่ มีการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง (ON) และช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง (OFF) โดยการทดสอบหัวข้อนี้ เป็นการสังเกตผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง ซึ่งส่งผลต่อคลื่นความถี่หลัก (ความถี่โทรศัพท์มือถือในบริเวณพื้นที่ข้างเคียง) โดยพิจารณาค่า SINR ซึ่งในการทดสอบนี้จะไม่มีเกณฑ์การยอมรับอ้างอิง

ศูนย์ทดสอบ PTEC ออกแบบขั้นตอนการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Nemo Outdoor Drive test system (รายละเอียดดังรูปที่ 19ก) ทำการวัดเปรียบเทียบค่า SINR ในระหว่างมีการทดลองใช้งานคลื่น (ON) และไม่ใช้งานคลื่นทดลอง (OFF) โดยมีตัวอย่างของผลการทดสอบดังรูปที่ 20ก

ภาคผนวก ข
เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ
(Regulatory Sandbox)
สำหรับทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่

โครงการห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่สำหรับตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ฯ จะทำการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) เพื่อทำการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ และจัดทำรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่อันเป็นผลมาจากการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม เพื่อส่งมอบให้ทางสำนักงาน กสทช. เป็นจำนวนรวม 3 พื้นที่ (ทดสอบพื้นที่ละ 4 ครั้ง ภายในระยะเวลา 1 ปี)

สำนักงาน กสทช. เผยแพร่ข้อมูลรายชื่อพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) และข้อมูลความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานสำหรับการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม [7] โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1ข

ตารางที่ 1ข แสดงรายชื่อพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่กำกับดูแล เป็นการเฉพาะ	คลื่นความถี่ที่ ได้รับอนุญาต	พื้นที่กำกับดูแล
1.	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	703-803 MHz 920-925 MHz 3.3-3.8 GHz 5.850-5.925 GHz 24.3-26.8 GHz 27.0-29.5 GHz 57-76 GHz 81-86 GHz	ในส่วนการศึกษา ส่วนราชการ และ การพาณิชย์ของจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
2.	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	24.3-26.8 GHz 26.5-29.5 GHz 2400-2500 MHz	ชั้น 4 ของอาคาร 23 คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชาและ ชั้น 5 ของอาคาร 26 คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
3.	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	703-803 MHz 920-925 MHz 2300-2310 MHz 2370-2400 MHz 3.1-3.3 GHz 3.4-4.2 GHz 5.85-6.6625 GHz 9.5-9.8 GHz 10.95-12.75 GHz 13.75-14.10 GHz	พื้นที่ของ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่กำกับดูแล เป็นการเฉพาะ	คลื่นความถี่ที่ ได้รับอนุญาต	พื้นที่กำกับดูแล
		24.25-26.80 GHz 27.0-27.5 GHz 27.50-29.50 GHz 27.00-30.05 GHz	
4.	บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นอินดัสเตรียลเอสเตท จำกัด (EIE)	703-803 MHz 1750-1785 MHz 1845-1880 MHz 2300-2310 MHz 2370-2400 MHz 24.3-26.8 GHz	อาคารสำนักงานและบริเวณโดยรอบอันเป็นพื้นที่จอดรถ พื้นที่สีเขียว รวมถึงถนนภายในนิคมฯ ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง
5.	บริษัท อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียลเอสเตท (ระยอง) (ESIE)	703-803 MHz 1750-1785 MHz 1845-1880 MHz 2300-2310 MHz 2370-2400 MHz 24.3-26.8 GHz	พลาซ่า 1 , พลาซ่า 2 , อาคาร Office และถนนภายในนิคมฯ อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง
6.	บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียล เอสเตท จำกัด (WHA ESIE1)	703-803 MHz 1750-1785 MHz 1845-1880 MHz 2300-2310 MHz 2370-2400 MHz 24.3-26.8 GHz	พลาซ่า 3 และถนนภายในนิคมฯ อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง
7.	สำนักงานส่งเสริม เศรษฐกิจดิจิทัล (depa)	3400-3600 MHz	สำนักงานใหญ่สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล อาคารลาดพร้าว ฮิลล์ ชั้น G บริเวณ reception, ชั้น 2, ชั้น 3, ชั้น 4, ชั้น 5, ชั้น 7, ชั้น 8 เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่กำกับดูแล เป็นการเฉพาะ	คลื่นความถี่ที่ ได้รับอนุญาต	พื้นที่กำกับดูแล
8.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ	694-703 MHz และ 748-758 MHz 3300-3800 MHz 25.1-25.2 GHz 27-40 GHz	สำนักงานใหญ่ของ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร
9.	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา	4600 - 4900 MHz	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
10.	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	3300 - 3800 MHz 27.50 - 28.35 GHz	มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
11.	โครงการนวัตกรรมระเบียง เศรษฐกิจภาคตะวันออก บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)	410 - 480 MHz 915 - 920 MHz 925 - 928 MHz	บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (โครงการ นวัตกรรมระเบียง เศรษฐกิจภาคตะวันออก) อำเภอวังจันทร์ จังหวัดระยอง

การพิจารณาคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) จำนวน 3 พื้นที่ เพื่อทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในโครงการ จะใช้เกณฑ์การพิจารณา 3 ข้อ ดังต่อไปนี้

1. เป็นพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ ที่ได้รับการอนุญาตจากสำนักงาน กสทช.

พิจารณาเฉพาะ รายชื่อพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ที่ได้รับอนุญาตจากทางสำนักงาน กสทช. ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 11 พื้นที่ ดังตารางที่ 1ข

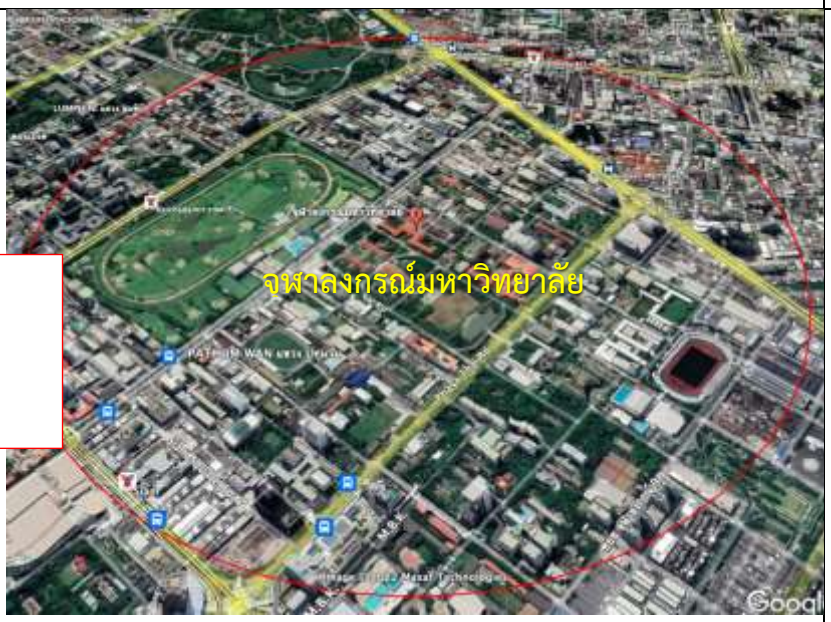
2. พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะฯ ที่มีเครื่องวิทยุคมนาคมติดตั้งอยู่และพร้อมใช้งาน

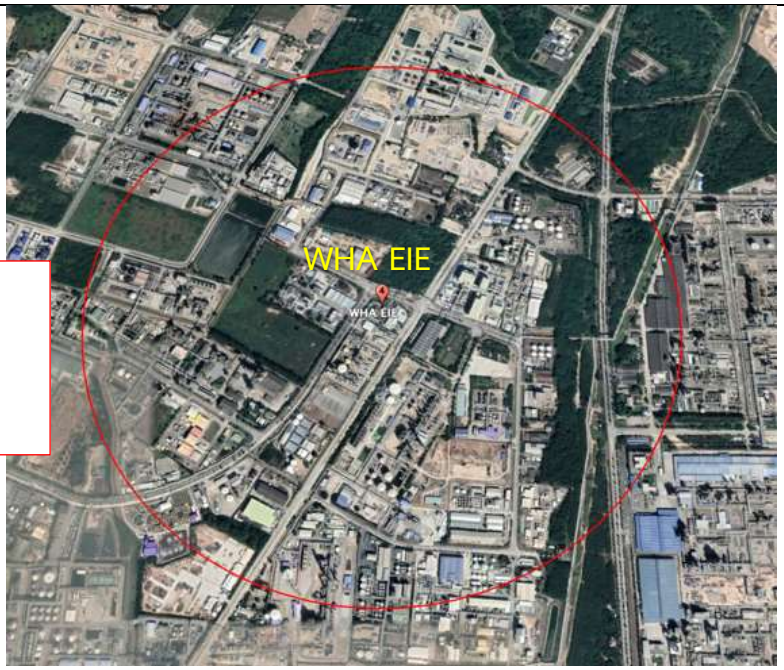
พิจารณา พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ที่มีเครื่องวิทยุคมนาคมติดตั้งอยู่ในปัจจุบันพร้อมใช้งาน (ส่งคลื่นความถี่ทดลองออกอากาศ) ณ ขณะช่วงเวลาที่ศูนย์ทดสอบฯ PTEC ไปดำเนินการทดสอบตามแผนการดำเนินโครงการ ฯ โดยทางศูนย์ทดสอบฯ PTEC จะประสานงานสอบถามไปยังผู้ประสานงานพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) และสำนักการอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคม 1 (ปท.1) อย่างต่อเนื่อง เพื่อสอบถามถึงกำหนดช่วงเวลาของการทดลองคลื่นความถี่ฯ ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

3. โอกาสเกิดการรบกวนคลื่นความถี่ ไปรบกวนการใช้งานคลื่นความถี่ของผู้ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่ที่ได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวน (ผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือ)

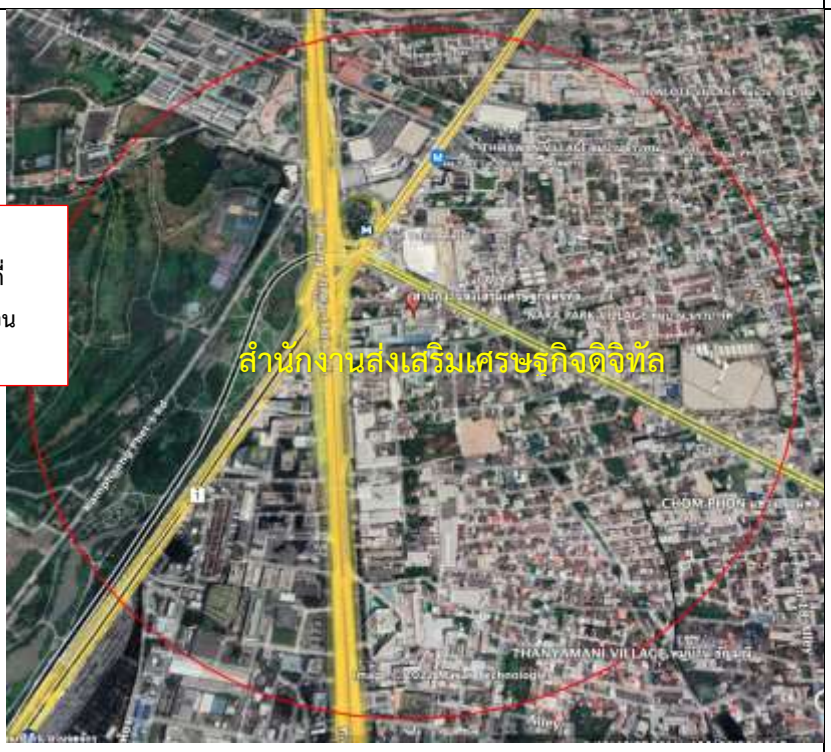
พิจารณาคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) โดยพิจารณาจากพื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้กับชุมชนมีความหนาแน่นของประชากรสูงในรัศมี 1 กิโลเมตร โดยใช้โปรแกรม Google Earth เป็นเครื่องมือช่วยในการพิจารณาความหนาแน่นของประชากร และพิจารณาจากการตั้งอยู่ใกล้กับสถานที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการถูกรบกวนคลื่นความถี่ โดยเลือกจากพื้นที่ Sandbox ที่อยู่ใกล้ชุมชน มีประชากรอาศัยหนาแน่นสูง จะมีโอกาสเกิดการรบกวนคลื่นความถี่มากตามไปด้วย และประกอบกับการพิจารณาการตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้กับสถานที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการถูกรบกวนคลื่นความที่ เช่น โรงพยาบาล มีเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าใช้เพื่อวินิจฉัยโรค ซึ่งหากถูกรบกวนจะทำให้การวินิจฉัยของแพทย์คลาดเคลื่อนได้ เป็นต้น

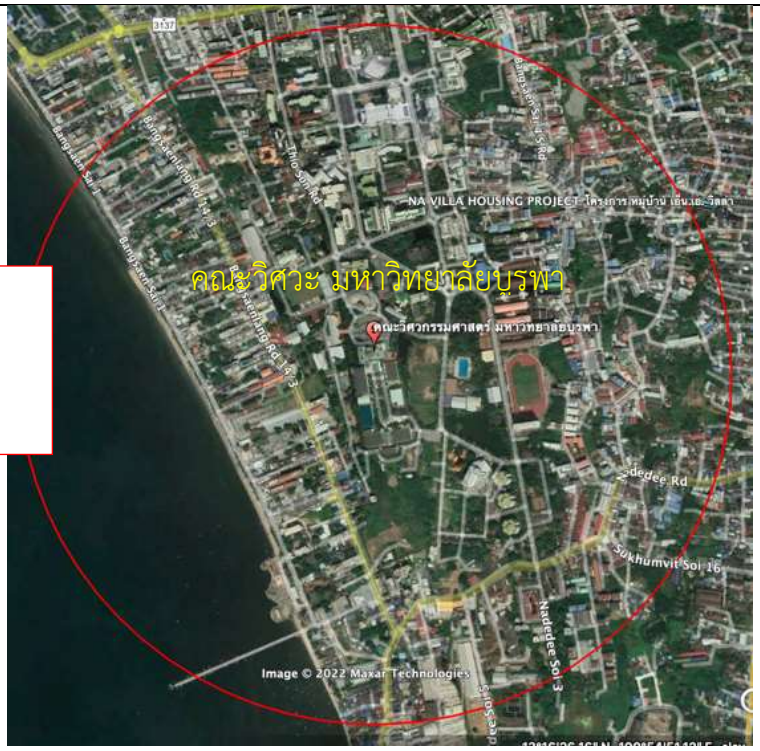
ตารางที่ 2ข สรุปพิกัดพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ ความหนาแน่นของประชากร และช่วงความถี่ทดลอง

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่	ความหนาแน่นของประชากรในรัศมี 1 กม.	ช่วงความถี่
1	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน ความหนาแน่นสูง จำนวนความถี่ใช้งาน = 7 ช่วงความถี่ ใกล้โรงพยาบาล และสถานีรถไฟฟ้า มีการทดลองคลื่นความถี่แล้ว		*703-803 MHz 920-925 MHz 3.3-3.8 GHz 5.850-5.925 GHz 24.3-26.8 GHz 27.0-29.5 GHz 57-76 GHz 81-86 GHz *ความถี่ได้รับสัมปทานไปแล้ว ไม่สามารถใช้งานได้
2	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน ความหนาแน่นสูง จำนวนความถี่ใช้งาน = 2 ช่วงความถี่ ใกล้โรงพยาบาล และโรงกลั่นน้ำมัน ยังไม่มีการทดลองคลื่นความถี่		*24.3-26.8 GHz 26.5-29.5 GHz 2400-2500 MHz *ความถี่ได้รับสัมปทานไปแล้ว ไม่สามารถใช้งานได้

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่	ความหนาแน่นของประชากรในรัศมี 1 กม.	ช่วงความถี่
3	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ **ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน ความหนาแน่นสูง** **จำนวนความถี่ใช้งาน = 9 ช่วงความถี่** **ใกล้โรงพยาบาล** **ยังไม่มีการทดลองคลื่นความถี่**		*703-803 MHz 920-925 MHz 2300-2310 MHz 2370-2400 MHz 3.1-3.3 GHz 3.4-4.2 GHz 5.85-6.6625 GHz 9.5-9.8 GHz 10.95-12.75 GHz 13.75-14.10 GHz *ความถี่ได้รับสัมปทานไปแล้ว ไม่สามารถใช้งานได้
4	บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นอินดัสเตรียล เอสเตท จำกัด (WHA EIE) **ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน ความหนาแน่นสูง** **จำนวนความถี่ใช้งาน = 4 ช่วงความถี่** **ไม่อยู่ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการถูกรบกวน** **ยังไม่มีการทดลองคลื่นความถี่**		*703-803 MHz 1750-1785 MHz 1845-1880 MHz 2300-2310 MHz 2370-2400 MHz *24.3-26.8 GHz *ความถี่ได้รับสัมปทานไปแล้ว ไม่สามารถใช้งานได้

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่	ความหนาแน่นของประชากรในรัศมี 1 กม.	ช่วงความถี่
5	บริษัท อีสเทิร์นซี บอร์ด อินดัสเตรียล เอสเตท (ระยอง) (WHA ESIE) **ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน หนาแน่นต่ำ** **จำนวนความถี่ใช้งาน = 4 ช่วงความถี่** **ไม่อยู่ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการถูกรบกวน** **ยังไม่มีการทดลองคลื่นความถี่**		*703-803 MHz 1750-1785 MHz 1845-1880 MHz 2300-2310 MHz 2370-2400 MHz *24.3-26.8 GHz *ความถี่ได้รับสัมปทานไปแล้ว ไม่สามารถใช้งานได้
6	บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียล เอสเตท จำกัด (WHA ESIE1) **ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน หนาแน่นต่ำ** **จำนวนความถี่ใช้งาน = 4 ช่วงความถี่** **ไม่อยู่ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการถูกรบกวน** **ยังไม่มีการทดลองคลื่นความถี่**		*703-803 MHz 1750-1785 MHz 1845-1880 MHz 2300-2310 MHz 2370-2400 MHz *24.3-26.8 GHz *ความถี่ได้รับสัมปทานไปแล้ว ไม่สามารถใช้งานได้

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่	ความหนาแน่นของประชากรในรัศมี 1 กม.	ช่วงความถี่
7	สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล (depa) **ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน ความหนาแน่นสูง** **จำนวนความถี่ใช้งาน = 1 ช่วงความถี่** **ไม่อยู่ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการถูกรบกวน** **มีการทดลองคลื่นความถี่แล้ว**		3400-3600 MHz
8	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ **ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน ความหนาแน่นสูง** **จำนวนความถี่ใช้งาน = 5 ช่วงความถี่** **ไม่อยู่ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการถูกรบกวน** **ยังไม่มีการทดลองคลื่นความถี่**		694-703 MHz 748-758 MHz 3300-3800 MHz 25.1-25.2 GHz 27-40 GHz

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่	ความหนาแน่นของประชากรในรัศมี 1 กม.	ช่วงความถี่
9	คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน ความหนาแน่นสูง จำนวนความถี่ใช้งาน = 1 ช่วงความถี่ ใกล้โรงพยาบาล มีการทดลองคลื่นความถี่แล้ว		4600 - 4900 MHz
10	มหาวิทยาลัย ขอนแก่น ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน ความหนาแน่นสูง จำนวนความถี่ใช้งาน = 2 ช่วงความถี่ ใกล้โรงพยาบาล ยังไม่มีการทดลองคลื่นความถี่		3300 - 3800 MHz 27.50 - 28.35 GHz

ลำดับ	รายชื่อพื้นที่	ความหนาแน่นของประชากรในรัศมี 1 กม.	ช่วงความถี่
11	โครงการนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) **ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน หนาแน่นต่ำ** **จำนวนความถี่ใช้งาน = 3 ช่วงความถี่** **ไม่อยู่ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการถูกรบกวน** **มีการทดลองคลื่นความถี่แล้ว**		410 - 480 MHz 915 - 920 MHz 925 - 928 MHz

จากการประชุมร่วมกับสำนักงาน กสทช. โดยสำนักการอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคม 1 (ปท. 1) เมื่อวันที่ 16 มกราคม 2566 ที่ผ่านมา ได้รับข้อมูลการทดลองคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ในช่วงปี 2563 จนถึงปัจจุบัน มีรายละเอียดดังต่อนี้

ลำดับ	รายชื่อผู้ที่ได้รับอนุญาตเป็นประสานงาน	หน่วยงานที่ได้รับอนุญาต	ย่านคลื่นความถี่ที่ใช้ทดสอบ	ระยะเวลาทดสอบ
๑.	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	บริษัท อีวีคลัน (ประเทศไทย) จำกัด	๒๖ - ๒๘ GHz	เดือนตุลาคม ๒๕๖๓
		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	๓๕๐๐ MHz ๒๘ GHz	เดือนมิถุนายน ๒๕๖๔ ถึง เดือนกรกฎาคม ๒๕๖๔
		บริษัท อีวีคลัน (ประเทศไทย) จำกัด	๒๘ GHz ๒.๖ GHz ๗๐๐ MHz	เดือนพฤษภาคม ๒๕๖๔ ถึง เดือนมิถุนายน ๒๕๖๕
๒.	สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล	บริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และ บริษัท เวริสิวิชั่น จำกัด	๒๖ GHz ๓๕๐๐ MHz ๒๖๐๐ MHz ๗๐๐ MHz	เดือนกุมภาพันธ์ ๒๕๖๔ ถึง เดือนมีนาคม ๒๕๖๔
		บริษัท เจ็นเซิฟ จำกัด	เทคโนโลยี ๕G Network	เดือนกรกฎาคม ๒๕๖๔ ถึง เดือนกันยายน ๒๕๖๔
		สำนักงาน กสทช. และคณะทีมวิจัย	๒๘ GHz ๓๕๐๐ MHz	เดือนเมษายน ๒๕๖๔ ถึง เดือนพฤษภาคม ๒๕๖๔
		บริษัท กราวิเทคไทย (ไทยแลนด์) จำกัด	เทคโนโลยี ๕G Network	เดือนกรกฎาคม ๒๕๖๔ ถึง ปัจจุบัน
		บริษัท พีบีเอ โรบอทคส์ (ประเทศไทย) จำกัด	เทคโนโลยี ๕G Network	เดือนพฤษภาคม ๒๕๖๔ ถึง ปัจจุบัน
		บริษัท ท็อป เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	เทคโนโลยี ๕G Network	เดือนพฤษภาคม ๒๕๖๔ ถึง ปัจจุบัน
		โรงพยาบาลพญาไท ศรีราชา	เทคโนโลยี ๕G Network	เดือนมกราคม ๒๕๖๔
		โรงพยาบาลพญาไท ศรีราชา และโรงพยาบาลกรุงเทพ ระยอง		เดือนสิงหาคม ๒๕๖๔ ถึง ปัจจุบัน
		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	เทคโนโลยี ๕G Network	เดือนพฤษภาคม ๒๕๖๔ ถึง เดือนพฤศจิกายน ๒๕๖๔
		บริษัท เซนด์เมด จำกัด (มหาชน)	เทคโนโลยี ๕G Network	เดือนธันวาคม ๒๕๖๔ ถึง เดือนสิงหาคม ๒๕๖๕
		บริษัท โคเมน เมดิคอล (ไทยแลนด์) จำกัด	เทคโนโลยี ๕G Network	เดือนธันวาคม ๒๕๖๔ ถึง เดือนสิงหาคม ๒๕๖๕
		บริษัท สยามคูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด	เทคโนโลยี ๕G Network	ไม่ระบุ
๓.	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา	อีอีซี ออโตเมชั่น พาร์ค	เทคโนโลยี ๕G Private Network	เดือนกันยายน ๒๕๖๕ ถึง ปัจจุบัน
๔.	บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) โครงการนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก	บริษัท เอไอแอนด์โรโบติกส์ เวนเจอร์ จำกัด	๒๔๐๐ - ๒๕๐๐ MHz ๓๓๕ - ๓๒๐ MHz ๓๖๕ - ๓๒๘ MHz ๕๗๒๕ - ๕๘๕๐ MHz	เดือนสิงหาคม ๒๕๖๕ ถึง เดือนธันวาคม ๒๕๖๕

จากผลการประชุมร่วมกันระหว่าง ศูนย์ทดสอบฯ PTEC และสำนักการอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคม 1 (ปท. 1) ทางสำนัก ปท. 1 จึงมีความเห็นให้ ศูนย์ทดสอบฯ PTEC พิจารณาเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะฯ ที่มีประวัติการทดลองคลื่นความถี่โดยอ้างอิงจากข้อมูลข้างต้นเป็นหลักก่อน และหากในกรณีที่พื้นที่ดังกล่าวไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ในช่วงเวลาที่ศูนย์ทดสอบ PTEC ต้องไปทดสอบตามแผนการดำเนินงานฯ ให้เลือกพื้นที่สำรองอื่น ที่มีการทดลองคลื่นความถี่ในช่วงเวลานั้นทดแทน เพื่อให้ได้ผลการทดสอบครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

จากหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ประกอบกับข้อมูลการทดลองคลื่นความถี่ฯ และข้อคิดเห็นจาก สำนัก ปท. 1 สามารถนำมาสรุปผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3ข สรุปผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ พื้นที่หลัก

ลำดับ	พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ	การทดลองคลื่นความถี่	โอกาสเกิดการรบกวนความถี่		
			ความหนาแน่นประชากร	ช่วงความถี่ใช้งาน	ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการรบกวน
1	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	5 ช่วงความถี่	ใกล้โรงพยาบาลและสถานีรถไฟฟ้า
2	สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล	มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	1 ช่วงความถี่	ใกล้สถานีรถไฟฟ้า
3	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา	มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	1 ช่วงความถี่	ใกล้โรงพยาบาล
4	โครงการนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก	มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรต่ำ	3 ช่วงความถี่	-

ตารางที่ 4ข แสดงสรุปผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ พื้นที่สำรอง

สำรองลำดับ	พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ	การทดลองคลื่นความถี่	โอกาสเกิดการรบกวนความถี่		
			ความหนาแน่นประชากร	ช่วงความถี่ใช้งาน	ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการรบกวน
1	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	9 ช่วงความถี่	ใกล้โรงพยาบาล
2	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	2 ช่วงความถี่	ใกล้โรงพยาบาลและโรงกลั่นน้ำมัน
3	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	2 ช่วงความถี่	-
4	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	5 ช่วงความถี่	-
5	บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นอินดัสเตรียลเอสเตท จำกัด (WHA EIE)	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	4 ช่วงความถี่	-
6	บริษัท อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียลเอสเตท (ระยอง) (ESIE)	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรต่ำ	4 ช่วงความถี่	-
7	บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียลเอสเตท จำกัด (WHA ESIE1)	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรต่ำ	4 ช่วงความถี่	-

เงื่อนไขการดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ สำหรับพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ

จากข้อมูลการทดลองคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ ในช่วงปี 2563 จนถึงปัจจุบัน ที่ได้รับจากสำนักการอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคม 1 (สำนัก ปท. 1) แสดงให้เห็นว่า มีพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะเพียง 4 พื้นที่เท่านั้นที่มีการทดลองคลื่นความถี่ ประกอบกับ ข้อคิดเห็นที่ทางสำนัก ปท. 1 ได้พิจารณาแล้วเห็นควรให้ ศูนย์ทดสอบ PTEC ดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ โดยพิจารณาจากการทดลองใช้งานคลื่นความถี่จริงในพื้นที่เป็นสำคัญ

ดังนั้น ศูนย์ทดสอบ PTEC จึงได้สรุปแผนการดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ปี 2566 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5ข แสดงแผนการดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่

ไตรมาส	การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่	
	พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (พื้นที่หลัก)	**พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (พื้นที่สำรอง)**
ม.ค. – มี.ค. 66	- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย - สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล - มหาวิทยาลัยบูรพา - โครงการนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก	- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ - มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - มหาวิทยาลัยขอนแก่น - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ - บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นอินดัสเตรียลเอสเตท จำกัด (WHA EIE) - บริษัท อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียลเอสเตท (ระยอง) (ESIE) - บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียล เอสเตท จำกัด (WHA ESIE1)
เม.ย. – มิ.ย. 66		
ก.ค. - ก.ย. 66		
ต.ค. - ธ.ค. 66		

การดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ จะดำเนินการทดสอบในพื้นที่หลักจำนวน 4 พื้นที่ คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล, มหาวิทยาลัยบูรพา และโครงการนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก เพื่อดำเนินการทดสอบก่อนเป็นลำดับแรก โดยจะดำเนินการทดสอบเป็นรายไตรมาส (ทุก 3 เดือน) พื้นที่ละ 1 ครั้งต่อไตรมาส จนครบ 4 ไตรมาสของปี 2566

กรณีที่ พื้นที่หลักจำนวน 4 พื้นที่ไม่มีการทดลองใช้งานคลื่นความถี่ภายในช่วงเวลาไตรมาสนั้นๆ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะพิจารณาดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่สำรองจำนวน 7 พื้นที่ทดแทน

กรณีที่ พื้นที่หลักจำนวน 4 พื้นที่ และพื้นที่สำรองจำนวน 7 พื้นที่ ไม่มีการทดลองใช้งานคลื่นความถี่ภายในช่วงเวลาไตรมาสนั้นๆ ศูนย์ทดสอบ PTEC จะออกรายงานผลการทดสอบโดยระบุว่า ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่

ศูนย์ทดสอบ PTEC จะออกรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่เป็นรายไตรมาส ไตรมาสละ 3 เล่ม (1 เล่มต่อ 1 พื้นที่) รวมเป็นรายงานผลการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ทั้งสิ้น 12 เล่ม

ภาคผนวก ค

รายงานผลการพัฒนา ปรับปรุงห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ของศูนย์ทดสอบ PTEC พร้อมรองรับการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

ผลการจัดซื้อครุภัณฑ์

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

ลำดับ	รายการจัดซื้อครุภัณฑ์	วิธีการจัดซื้อ	เกณฑ์การตัดสิน	ผลการจัดซื้อ (ราคา)
1	ชุดสายสัญญาณ จำนวน 2 เส้น	วิธีสอบราคา	ใช้เกณฑ์ราคาต่ำสุด	99,660.87
2	สายอากาศสำหรับการตรวจวัดภาคสนาม ติดตั้งในรถโมบายแลป	วิธีคัดเลือก	ใช้เกณฑ์ราคาต่ำสุด	2,375,079.00
3	เครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G	วิธีคัดเลือก	ใช้เกณฑ์ราคาต่ำสุด	5,614,921.00

ใช้ระเบียบ พรบ. การจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ ปี 2560

ลำดับ	รายการครุภัณฑ์	คุณลักษณะของครุภัณฑ์
1	เครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G จำนวน 1 ชุด	 • Real-time Spectrum analyzer • Frequency 9 kHz – 50 GHz • 5G NR, Bandwidth 120 MHz • LTE FDD, TDD • Interference analyzer • Channel scanner • Indoor Outdoor mapping/ GPS • EMF measurement • Pre-amplifier/ Tracking generator • Nemo Outdoor Drive test system • Frequency 10 MHz – 6 GHz • 2G, 3G, 4G analyze • Drive test software • Mobile Handy test

ลำดับ	รายการครุภัณฑ์	คุณลักษณะของครุภัณฑ์
2	สายอากาศ สำหรับการตรวจวัดภาคสนาม ติดตั้งในรถโมบายแลป จำนวน 1 ชุด	 • Frequency 4.5 GHz – 50 GHz • Gain 14 dBi • Frequency 30 MHz – 6 GHz • Triaxial Isotropic Antenna
3	ชุดสายสัญญาณ จำนวน 1 ชุด	 • Frequency DC – 50 GHz/ 2.4 mm • Frequency DC – 26.5 GHz/ SMA • Torque wrench 2.4mm/ SMA/ N

ผลการติดตั้ง และทวนสอบระบบทดสอบ

เมื่อศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ดำเนินการจัดซื้อครุภัณฑ์ทั้ง 3 รายการแล้วเสร็จ และเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเครื่องมือวัดฯ จะสามารถให้ค่าความถูกต้องได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และเพื่อให้ผลการทวนสอบเครื่องมือวัดฯ มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และสามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานแห่งชาติ (Traceability) ศูนย์ทดสอบ PTEC จึงได้ดำเนินการส่งเครื่องมือวัดฯ ไปสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025

รายการ	**รายละเอียดเครื่องมือ**	**วิธีการทวนสอบ ความใช้ได้ของเครื่องมือ**	**ผลการทวนสอบ เครื่องมือ**
1	สายสัญญาณ	ใบรายงานผลการสอบเทียบ	ผ่าน
2	เครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G	ใบรายงานผลการสอบเทียบ ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025	ผ่าน
3	สายอากาศ สำหรับการตรวจวัดภาคสนาม ติดตั้งในรถโมบายแลป	ใบรายงานผลการสอบเทียบ ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025	ผ่าน

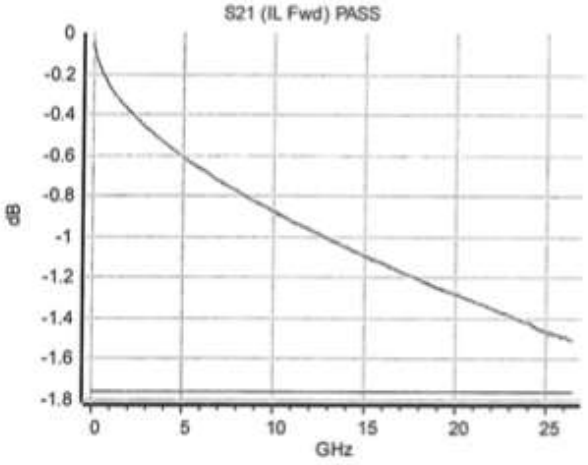
ผลการสอบเทียบสายสัญญาณ

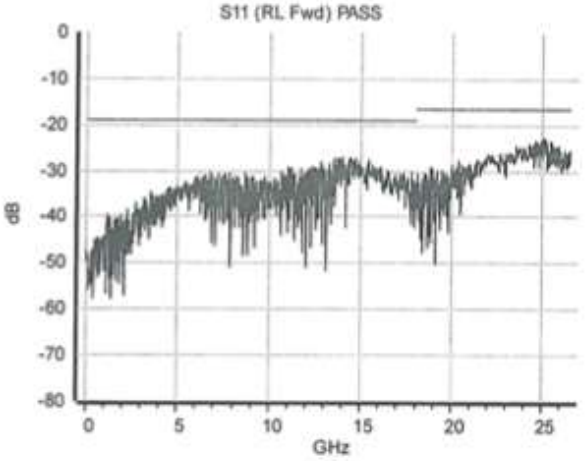
Specific Test Report

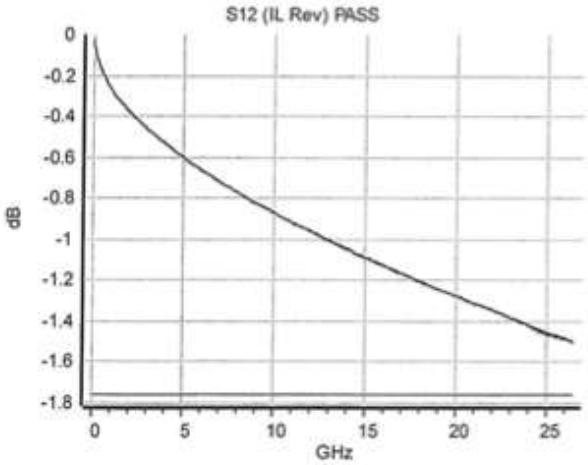
Frequency Range [GHz]	IL min S21 [dB]	IL min S12 [dB]	RL max S11 [dB]	RL max S22 [dB]
0.010 - 2.659	-0.435	-0.433	-38.276	-40.106
2.659 - 5.308	-0.626	-0.621	-33.333	-34.278
5.308 - 7.957	-0.771	-0.767	-30.165	-30.989
7.957 - 10.606	-0.903	-0.901	-30.574	-30.682
10.606 - 13.255	-1.018	-1.014	-27.965	-28.886
13.255 - 15.904	-1.127	-1.124	-26.756	-27.935
15.904 - 18.553	-1.230	-1.230	-29.227	-29.165
18.553 - 21.202	-1.324	-1.320	-27.601	-28.389
21.202 - 23.851	-1.421	-1.416	-24.522	-26.986
23.851 - 26.500	-1.512	-1.511	-22.456	-24.270

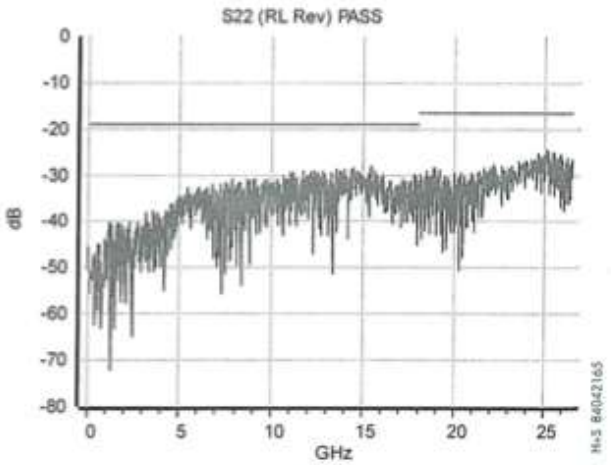
Type:	SF126E/21PC35/11PC35/1000
Sales no.:	10784548
Serial no.:	SN 569752/126E
PA no.:	2589662
Cable length:	1 m
Test length:	1 m
Connector 1:	SF_21_PC35-43
Connector 2:	SF_11_PC35-43
Cable:	SUCOFLEX_126_E
Meas. System:	E8364B,MY43040944,A.07.50.67
Time:	12:21:18 P
Date:	5/28/2021
Inspected by:	Fathillah;5174;
Start Freq.:	0.01000 GHz
Stop Freq.:	26.50000 GHz
Meas Points:	801
Source Power:	-5 dBm
Cal.Kit Port1:	N4691-60004 26.5GHz
Cal.Kit Port2:	N4691-60004 26.5GHz

Remarks: VK: 10784548 Temp. 23°C









info@hubersuhner.com
www.hubersuhner.com

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

ACCREDITED
CALIBRATION LABORATORY

Certificate of Calibration

Customer	:	Electrical and Electronic Products Testing Center (PTEC) 141 Thailand Science Park, Innovation Cluster 2 Tower D, Phahonyothin Rd., Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand
Description of Equipment	:	FieldFox Handheld Microwave Analyzer
Model Number	:	N9952B
Manufacturer	:	Keysight Technologies
Serial Number	:	MY61131025
Control Number	:	---
Receipt Date	:	28-Sep-21
Calibration Date	:	13-Oct-21
Work Order Number	:	E3U211289
Certificate No.	:	E3U211289
Page Number	:	1 of 10

We certify that the above mentioned measuring instrument was calibrated in accordance with our quality control system as the ISO/IEC 17025 : 2017 and all the standard equipments used for calibration were traceable to the International of System Units (SI Units) maintained at the National Institute of Metrology (NIMT), Thailand and/or other associated foreign national standards.

Issued Date	:	14-Oct-21
Calibrated by	:	Mr. Nawachon Songpukdee
Checked by	:	Mr. Yanyong Pithong
Approved by	:	☑ Mr. Yanyong Pithong / Laboratory Manager ☐ Mr. Yanyong Pithong / Act. for Calibration Manager ☐ Mr. Mongkhon Asawaolan / ISO&QA Manager

Approved Signatory

The uncertainties are for a confidence probability of approximately 95%

This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation by the ANSI National Accreditation Board (ANAB), which has assessed the management system of the laboratory and its traceability to recognized national standards and to the units of measurement realized at corresponding national standards laboratory. This certificate may not be reproduced other than in full expect with prior written approval from the laboratory manager.

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289 Page : 2 of 10

Environment Conditions

Ambient Temperature	:	23.2	to	23.2	°C
Ambient Relative Humidity	:	57.5	to	58.1	%rh
Calibration Place	:	Permanent Calibration Laboratory			

Standard Equipment Used

Equip. No.	Equipment Name	Maker / Model	Serial No.	Cert. No.	Due Date
SE-06245	Rubidium Frequency Standard	Sanwei EL / FSR-101	440141	E3U210310	06-Mar-22
SE-99090	Microwave Frequency Counter	HP / 5352B	2826A00368	E3U210523	02-May-22
SE-99106	RF Power Meter	HP / EPM442A	GB37170346	1-10658043254-1	27-Dec-21
SE-14336	Power Sensor: 50Ω, 18GHz, N	Keysight / E4412A	MY55090013	1-14466682480-1	11-May-24
SE-99112	Power Sensor: 50Ω, 100kHz-4.2GHz, N	HP / 8482A	US37291474	181037	17-Dec-21
SE-06241	Power Sensor: 50Ω, 50MHz-50GHz, 2.4mm	Agilent / 8487A	3318A04211	1-14198496911-1-54	18-Mar-24
SE-07264	Termination : 50Ω, 26.5GHz, 3.5mm	Agilent / 902D	50936	E3U200514	01-Jun-22
SE-12315	S-Parameter Network Analyzer	Agilent / 8722ES	MY41006322	E3U210791	24-Jun-22
SE-12316	Calibration Kit, 50GHz, 2.4mm	Agilent / 85056D	3101A00336	1-10098018860-1	11-Jul-23
SE-20488	3.5mm Calibration Kit, 50Ω, 26.5GHz	Agilent / 85052D	MY43250199	1-13405065760-1	01-Nov-21
SE-20445	Power Splitter: 50GHz, 50Ω, 2.4mm	HP / 11667C	02022	E3U210087	17-Jan-22
SE-99122	Fixed Attenuator Set 50Ω, 40GHz, 3.5mm	Wiltron / 41KC-S	91098	E3U211337	14-Sep-22
SE-05183	Synthesized Sweeper	HP / 83640A	3339A00733	E3U210213	10-Feb-22

Uncertainty of Measurement

The uncertainty of measurement evaluation has been carried out by using the methodology in the "Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement (M3003)". These uncertainties are based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor, k=2 corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

Traceability

This certificate is traceable to the International System of Unit (SI Unit) maintained at;

- The United States Naval Observatory (USNO) via the GPS Satellite and National Institute of Metrology (NIMT), Thailand for time and frequency standards.
- National Institute of Metrology (NIMT), Thailand for ac voltage standards (0.22mV to 1100V, 10Hz to 10MHz).
- National Metrology Institute of Malaysia (NMIM), Malaysia through Keysight Technologies (Malaysia) for RF Power Standard, Type N, 50Ω, (-30 to +20) dBm, (100 kHz to 4.2 GHz).
- National Metrology Institute of Malaysia (NMIM), Malaysia through Keysight Technologies (Malaysia) for RF Power Standard, Type N, 50Ω, (-70 to +20) dBm, 10 MHz to 18 GHz.
- National Metrology Institute of Malaysia (NMIM), Malaysia through Keysight Technologies (Malaysia) for RF Power Standard, 2.4mm, 50Ω, (-30 to +20) dBm, 50 MHz to 50 GHz.
- National Institute of Standards and Technology (NIST), USA, through Keysight Technologies (USA) for Reflection and Transmission Coefficient (Magnitude and Phase), via Calibration Kit, Type N, 50Ω, DC to 18 GHz.
- National Institute of Standards and Technology (NIST), USA, through Keysight Technologies (USA) for Reflection and Transmission Coefficient (Magnitude and Phase), via Calibration Kit, 2.4mm, 50Ω, DC to 50 GHz.

Calibration Method

The Unit Under Calibration (UUC) has been calibrated in accordance with the in-house methods of the laboratory as the calibration work instruction no. E-TMF-G-0001-GE, E-COM-G-0001-GE, E-TMF-M-0001-GE, and E-COM-M-0001-GE, and verified its tolerance with the technical specification of FieldFox Handheld Analyzers, Keysight Technologies, model N99XXA Series.

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klonglaung, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2160-5 Fax. +662-529-2133, 529-2166
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289

Calibration Results

The following results were the measurement results applied on the calibrated item and found accurate as show on date and place of calibration only. The results in "As Found" column are the measurement recorded before any adjustment or repair. The results in "As Left" are the equipment reading taken after the necessary repairs and adjustments. In case the equipment does not be adjusted or repaired, the column of "As Left" would be reported wording "Same".

Appearance and Function of Use Inspection: Good

Cable and Antenna Analyzer and Vector Network Analyzer

Test Conditions:
1) The UUC was performed open, short and load measurement by using CalKit of laboratory, the measurement samplings was set to 401 points.
2) CAT MODE, NA MODE

RF Test Port Output Frequency

UUC Setting		Standard Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
Level	Frequency	As Found	As Left	As Found	As Left			
High	50 MHz	49.999997	Same	0.000003	Same	0.000095	0.00000058	Pass
	100 MHz	99.99999	Same	0.00001	Same	0.00019	0.0000058	Pass
	500 MHz	499.99997	Same	0.00003	Same	0.00095	0.0000058	Pass
	1 GHz	0.9999992	Same	0.0000008	Same	0.0000019	0.000000058	Pass
	4 GHz	3.9999998	Same	0.0000002	Same	0.0000076	0.000000058	Pass
	6.5 GHz	6.4999997	Same	0.0000003	Same	0.0000124	0.000000058	Pass
	9 GHz	8.9999996	Same	0.0000004	Same	0.0000171	0.000000059	Pass
	12.4 GHz	12.399999	Same	0.000001	Same	0.000024	0.00000058	Pass
	18 GHz	17.999999	Same	0.000001	Same	0.000034	0.00000058	Pass
	20 GHz	19.999999	Same	0.000001	Same	0.000038	0.00000058	Pass
	26.5 GHz	26.499999	Same	0.000001	Same	0.000050	0.00000058	Pass
	28 GHz	27.999999	Same	0.000001	Same	0.000053	0.00000058	Pass
	32 GHz	31.999998	Same	0.000002	Same	0.000061	0.00000058	Pass
	38 GHz	37.999998	Same	0.000002	Same	0.000072	0.00000058	Pass
	40 GHz	39.999998	Same	0.000002	Same	0.000076	0.00000058	Pass

Units of Standard Reading, UUC Error, Tolerarce and Uncertainty are the same units of UUC Setting.

Output Power Accuracy

UUC Setting		Standard Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
Frequency	Nom. Power	As Found	As Left	As Found	As Left			
0.0003 GHz	-5 dBm	-3.4 dBm	Same	-1.6 dB	Same	n/a	0.15 dB	n/a
0.01 GHz	-1 dBm	1.3 dBm	Same	-2.3 dB	Same	n/a	0.084 dB	n/a
0.05 GHz	5 dBm	5.5 dBm	Same	-0.5 dB	Same	n/a	0.085 dB	n/a
0.1 GHz	5 dBm	5.9 dBm	Same	-0.9 dB	Same	n/a	0.087 dB	n/a
0.5 GHz	5 dBm	5.7 dBm	Same	-0.7 dB	Same	n/a	0.080 dB	n/a
1 GHz	5 dBm	5.5 dBm	Same	-0.5 dB	Same	n/a	0.080 dB	n/a
4 GHz	5 dBm	6.3 dBm	Same	-1.3 dB	Same	n/a	0.18 dB	n/a
6.5 GHz	7 dBm	10.0 dBm	Same	-3.0 dB	Same	n/a	0.10 dB	n/a
9 GHz	7 dBm	9.2 dBm	Same	-2.2 dB	Same	n/a	0.10 dB	n/a
12.4 GHz	7 dBm	8.1 dBm	Same	-1.1 dB	Same	n/a	0.12 dB	n/a
18 GHz	7 dBm	7.5 dBm	Same	-0.5 dB	Same	n/a	0.16 dB	n/a
20 GHz	5 dBm	6.9 dBm	Same	-1.9 dB	Same	n/a	0.17 dB	n/a

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongmueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2160-5 Fax. +662-529-2133, 529-2160
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289

Output Power Accuracy (Cont.)

UUC Setting		Standard Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
Frequency	Nom. Power	As Found	As Left	As Found	As Left			
26.5 GHz	5 dBm	5.9 dBm	Same	-0.9 dB	Same	n/a	0.30 dB	n/a
28 GHz	4 dBm	5.6 dBm	Same	-1.6 dB	Same	n/a	0.37 dB	n/a
32 GHz	4 dBm	4.2 dBm	Same	-0.2 dB	Same	n/a	0.54 dB	n/a
38 GHz	2 dBm	3.4 dBm	Same	-1.4 dB	Same	n/a	0.24 dB	n/a
40 GHz	2 dBm	2.8 dBm	Same	-0.8 dB	Same	n/a	0.37 dB	n/a
44 GHz	-3 dBm	-2.4 dBm	Same	-0.6 dB	Same	n/a	0.22 dB	n/a
50 GHz	-9 dBm	-8.8 dBm	Same	-0.2 dB	Same	n/a	0.94 dB	n/a

Return Loss Measurement with Calibration Kit of Laboratory*

Test Frequency	Standard Value	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
		As Found	As Left	As Found	As Left			
50 MHz	62.56 dB	64.57 dB	Same	2.01 dB	Same	4.00 dB	0.10 dB	Pass
100 MHz	62.24 dB	64.40 dB	Same	2.16 dB	Same	4.00 dB	0.10 dB	Pass
500 MHz	66.43 dB	66.46 dB	Same	0.03 dB	Same	4.00 dB	0.10 dB	Pass
1 GHz	71.21 dB	69.85 dB	Same	-1.36 dB	Same	4.00 dB	0.10 dB	Pass
4 GHz	58.12 dB	56.31 dB	Same	-1.81 dB	Same	4.00 dB	0.10 dB	Pass
6.5 GHz	54.96 dB	54.81 dB	Same	-0.15 dB	Same	8.00 dB	0.21 dB	Pass
9 GHz	49.77 dB	50.72 dB	Same	0.95 dB	Same	8.00 dB	0.21 dB	Pass
12.4 GHz	48.06 dB	47.59 dB	Same	-0.47 dB	Same	8.00 dB	0.21 dB	Pass
18 GHz	45.28 dB	45.34 dB	Same	0.06 dB	Same	8.00 dB	0.21 dB	Pass
20 GHz	44.15 dB	44.42 dB	Same	0.27 dB	Same	8.00 dB	0.21 dB	Pass
26.5 GHz	42.75 dB	41.69 dB	Same	-1.06 dB	Same	10.00 dB	0.21 dB	Pass

VSWR Measurement with Calibration Kit of Laboratory*

Test Frequency	Standard Value	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
		As Found	As Left	As Found	As Left			
50 MHz	1.001	1.001	Same	0.000	Same	n/a	0.024	n/a
100 MHz	1.002	1.001	Same	-0.001	Same	n/a	0.024	n/a
500 MHz	1.001	1.001	Same	0.000	Same	n/a	0.024	n/a
1 GHz	1.001	1.001	Same	0.000	Same	n/a	0.024	n/a
4 GHz	1.002	1.003	Same	0.001	Same	n/a	0.024	n/a
6.5 GHz	1.004	1.004	Same	0.000	Same	n/a	0.049	n/a
9 GHz	1.007	1.006	Same	-0.001	Same	n/a	0.049	n/a
12.4 GHz	1.008	1.008	Same	0.000	Same	n/a	0.049	n/a
18 GHz	1.011	1.011	Same	0.000	Same	n/a	0.049	n/a
20 GHz	1.012	1.012	Same	0.000	Same	n/a	0.049	n/a
26.5 GHz	1.015	1.017	Same	0.002	Same	n/a	0.049	n/a

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.
73/107 Moo 11, Klongmueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2160-5 Fax. +662-529-2133, 529-2166
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289

Cable Loss Measurement with Calibration Kit of Laboratory*

Test Frequency	Standard Value	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
		As Found	As Left	As Found	As Left			
50 MHz	-2.692 dB	-2.675 dB	Same	0.017 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-4.966 dB	-4.918 dB	Same	0.048 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.09 dB	-10.21 dB	Same	-0.12 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.05 dB	-20.07 dB	Same	-0.02 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
100 MHz	-2.688 dB	-2.678 dB	Same	0.010 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-4.973 dB	-4.922 dB	Same	0.051 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.09 dB	-10.21 dB	Same	-0.12 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.06 dB	-20.07 dB	Same	-0.01 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
500 MHz	-2.702 dB	-2.703 dB	Same	-0.001 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-4.967 dB	-4.984 dB	Same	-0.017 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.10 dB	-10.22 dB	Same	-0.12 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.08 dB	-20.10 dB	Same	-0.02 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
1 GHz	-2.715 dB	-2.717 dB	Same	-0.002 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-4.987 dB	-4.985 dB	Same	0.002 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.12 dB	-10.23 dB	Same	-0.11 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.10 dB	-20.12 dB	Same	-0.02 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
4 GHz	-2.746 dB	-2.781 dB	Same	-0.035 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-5.137 dB	-5.167 dB	Same	-0.030 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.16 dB	-10.28 dB	Same	-0.12 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.12 dB	-20.17 dB	Same	-0.05 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
6.5 GHz	-2.792 dB	-2.847 dB	Same	-0.055 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-0.016 dB	-5.360 dB	Same	-5.344 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.23 dB	-10.34 dB	Same	-0.11 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.16 dB	-20.22 dB	Same	-0.06 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
9 GHz	-2.754 dB	-2.901 dB	Same	-0.147 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-5.387 dB	-5.495 dB	Same	-0.108 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.22 dB	-10.35 dB	Same	-0.13 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.09 dB	-20.20 dB	Same	-0.11 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
12.4 GHz	-2.837 dB	-2.987 dB	Same	-0.150 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-5.594 dB	-5.746 dB	Same	-0.152 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.34 dB	-10.56 dB	Same	-0.22 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.04 dB	-20.23 dB	Same	-0.19 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
18 GHz	-2.950 dB	-2.922 dB	Same	0.028 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-5.926 dB	-5.965 dB	Same	-0.039 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.55 dB	-10.78 dB	Same	-0.23 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.06 dB	-20.12 dB	Same	-0.06 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
20 GHz	-2.941 dB	-2.909 dB	Same	0.032 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-5.972 dB	-5.940 dB	Same	0.032 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-10.74 dB	-10.95 dB	Same	-0.21 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.08 dB	-20.16 dB	Same	-0.08 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
26.5 GHz	-3.031 dB	-2.953 dB	Same	0.078 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-6.197 dB	-6.174 dB	Same	0.023 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-12.64 dB	-12.98 dB	Same	-0.34 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a
	-20.15 dB	-19.97 dB	Same	0.18 dB	Same	n/a	0.20 dB	n/a

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.
73/107 Moo 11, Klongmueng, Klonghuang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2166
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289

Spectrum Analyzer Function

Displayed Average Noise Level*

Test Frequency	UUC Setting				UUC Reading		Tolerance	Uncertainty	Judgment
	Span	RBW	Input Att.	VBW	As Found	As Left	(≤)	(±)	
50 MHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-150.2 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
100 MHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-148.8 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
500 MHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-151.0 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
1 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-147.1 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
4 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-146.5 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
7 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-144.2 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
9 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-143.9 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
12 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-143.2 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
18 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-141.5 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
20 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-139.7 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
27 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-141.8 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
28 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-139.8 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
32 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-143.2 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
38 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-141.5 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
40 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-137.2 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
44 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-135.1 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass
50 GHz	1 kHz	1 Hz	0 dB	10 Hz	-126.9 dB	Same	2.0 dB	2.0 dB	Pass

Frequency Readout Accuracy

Test Level: -10 dBm, Log Scale: 10 dB

Test Frequency	UUC Setting		UUC Reading		UUC Error		Tolerance	Uncertainty	Judgment
	Span	RBW	As Found	As Left	As Found	As Left	(±)	(±)	
50 MHz	100 kHz	10 kHz	50.000000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	50.000000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	50.000000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	50.000000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass
100 MHz	100 kHz	10 kHz	100.00000	Same	0.00000	Same	0.00200	0.0000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	100.00000	Same	0.00000	Same	0.00400	0.0000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	100.00000	Same	0.00000	Same	0.02900	0.0000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	100.00000	Same	0.00000	Same	0.28600	0.0000058	Pass
500 MHz	100 kHz	10 kHz	500.00000	Same	0.00000	Same	0.00300	0.0000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	500.00000	Same	0.00000	Same	0.00400	0.0000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	500.00000	Same	0.00000	Same	0.03000	0.0000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	500.00000	Same	0.00000	Same	0.28600	0.0000058	Pass
1 GHz	100 kHz	10 kHz	1.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0020000	0.000000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	1.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0030000	0.000000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	1.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0290000	0.000000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	1.0000000	Same	0.0000000	Same	0.2860000	0.000000058	Pass
4 GHz	100 kHz	10 kHz	4.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0020000	0.000000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	4.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0030000	0.000000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	4.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0290000	0.000000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	4.0000000	Same	0.0000000	Same	0.2860000	0.000000058	Pass
6.5 GHz	100 kHz	10 kHz	6.5000000	Same	0.0000000	Same	0.0020000	0.000000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	6.5000000	Same	0.0000000	Same	0.0030000	0.000000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	6.5000000	Same	0.0000000	Same	0.0290000	0.000000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	6.5000000	Same	0.0000000	Same	0.2860000	0.000000058	Pass
9 GHz	100 kHz	10 kHz	9.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0020000	0.000000059	Pass
	1 MHz	10 kHz	9.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0030000	0.000000059	Pass
	10 MHz	100 kHz	9.0000000	Same	0.0000000	Same	0.0290000	0.000000059	Pass
	100 MHz	1 MHz	9.0000000	Same	0.0000000	Same	0.2860000	0.000000059	Pass

Units of UUC Reading, UUC Error, Tolerance and Uncertainty are the same units of Standard Value.

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.
73/107 Moo 11, Klongnueng, Klonghuang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2160-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289

Frequency Readout Accuracy

Test Level: -10 dBm, Log Scale: 10 dB (Cont.)

Test Frequency	UUC Setting		UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
	Span	RBW	As Found	As Left	As Found	As Left			
12.4 GHz	100 kHz	10 kHz	12.400000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	12.400000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	12.400000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	12.400000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass
18 GHz	100 kHz	10 kHz	18.000000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	18.000000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	18.000000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	18.000000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass
20 GHz	100 kHz	10 kHz	20.000000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	20.000000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	20.000000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	20.000000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass
26.5 GHz	100 kHz	10 kHz	26.500000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	26.500000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	26.500000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	26.500000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass
28 GHz	100 kHz	10 kHz	28.000000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	28.000000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	28.000000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	28.000000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass
32 GHz	100 kHz	10 kHz	32.000000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	32.000000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	32.000000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	32.000000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass
38 GHz	100 kHz	10 kHz	38.000000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	38.000000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	38.000000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	38.000000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass
40 GHz	100 kHz	10 kHz	40.000000	Same	0.000000	Same	0.002000	0.00000058	Pass
	1 MHz	10 kHz	40.000000	Same	0.000000	Same	0.003000	0.00000058	Pass
	10 MHz	100 kHz	40.000000	Same	0.000000	Same	0.029000	0.00000058	Pass
	100 MHz	1 MHz	40.000000	Same	0.000000	Same	0.286000	0.00000058	Pass

Units of UUC Reading, UUC Error, Tolerarce and Uncertainty are the same units of Standard Value.

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongsaeng, Klonghuang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2160-5 Fax. +662-529-2133, 529-2166
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289

Frequency Span Accuracy

Test Level: -10 dBm, Log Scale: 1 dB

Test Frequency	UUC RBW	UUC Span	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
1 GHz	300 Hz	2 kHz	2.000 kHz	Same	0.000 kHz	Same	0.101 kHz	0.0030 kHz	Pass
	1 kHz	5 kHz	5.000 kHz	Same	0.000 kHz	Same	0.333 kHz	0.0030 kHz	Pass
	1 kHz	10 kHz	10.00 kHz	Same	0.00 kHz	Same	0.35 kHz	0.012 kHz	Pass
	1 kHz	20 kHz	20.00 kHz	Same	0.00 kHz	Same	0.37 kHz	0.012 kHz	Pass
	3 kHz	50 kHz	50.00 kHz	Same	0.00 kHz	Same	1.09 kHz	0.012 kHz	Pass
	10 kHz	100 kHz	100.0 kHz	Same	0.0 kHz	Same	3.5 kHz	0.12 kHz	Pass
	30 kHz	200 kHz	200.0 kHz	Same	0.0 kHz	Same	10.1 kHz	0.12 kHz	Pass
	100 kHz	500 kHz	500.0 kHz	Same	0.0 kHz	Same	33.3 kHz	0.12 kHz	Pass
	100 kHz	1 MHz	1.000 MHz	Same	0.000 MHz	Same	0.035 MHz	0.0012 MHz	Pass
	300 kHz	2 MHz	2.000 MHz	Same	0.000 MHz	Same	0.101 MHz	0.0012 MHz	Pass
	1 MHz	5 MHz	5.000 MHz	Same	0.000 MHz	Same	0.333 MHz	0.0012 MHz	Pass
	1 MHz	10 MHz	10.00 MHz	Same	0.00 MHz	Same	0.35 MHz	0.012 MHz	Pass
	1 MHz	20 MHz	20.00 MHz	Same	0.00 MHz	Same	0.37 MHz	0.012 MHz	Pass
	1 MHz	50 MHz	50.00 MHz	Same	0.00 MHz	Same	0.45 MHz	0.012 MHz	Pass
	1 MHz	100 MHz	100.0 MHz	Same	0.0 MHz	Same	0.6 MHz	0.12 MHz	Pass
	3 MHz	200 MHz	200.0 MHz	Same	0.0 MHz	Same	1.5 MHz	0.12 MHz	Pass
	3 MHz	500 MHz	500.0 MHz	Same	0.0 MHz	Same	2.2 MHz	0.12 MHz	Pass
	5 MHz	1 GHz	1.000 GHz	Same	0.000 GHz	Same	0.004 GHz	0.0012 GHz	Pass
	5 MHz	2 GHz	2.000 GHz	Same	0.000 GHz	Same	0.007 GHz	0.0012 GHz	Pass

Resolution Bandwidth (RBW) Accuracy

Test Level: -10 dBm, Log Scale: 1 dB

Test Frequency	UUC Span	UUC RBW	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
50 MHz	500 Hz	100 Hz	101.3 Hz	Same	1.3 Hz	Same	5.0 Hz	0.18 Hz	Pass
	1 kHz	300 Hz	302.5 Hz	Same	2.5 Hz	Same	15.0 Hz	0.18 Hz	Pass
	2 kHz	1 kHz	1.005 kHz	Same	0.005 kHz	Same	0.050 kHz	0.0012 kHz	Pass
	5 kHz	3 kHz	3.012 kHz	Same	0.012 kHz	Same	0.150 kHz	0.0012 kHz	Pass
	20 kHz	10 kHz	10.05 kHz	Same	0.05 kHz	Same	0.50 kHz	0.012 kHz	Pass
	50 kHz	30 kHz	30.12 kHz	Same	0.12 kHz	Same	1.50 kHz	0.012 kHz	Pass
	200 kHz	100 kHz	100.0 kHz	Same	0.0 kHz	Same	5.0 kHz	0.12 kHz	Pass
	500 kHz	300 kHz	302.5 kHz	Same	2.5 kHz	Same	15.0 kHz	0.12 kHz	Pass
	2 MHz	1 MHz	1.005 MHz	Same	0.005 MHz	Same	0.050 MHz	0.0012 MHz	Pass
	5 MHz	3 MHz	3.050 MHz	Same	0.050 MHz	Same	0.150 MHz	0.0012 MHz	Pass

Input Attenuator Accuracy

Test Level: -10 dBm, Log Scale: 1 dB, RBW: 1 kHz

Test Frequency	UUC Span	UUC Attenuator	Standard Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
50 MHz	10 kHz	5 dB	4.99 dB	Same	0.01 dB	Same	n/a	0.15 dB	n/a
		10 dB	Ref	Same	Ref.	Same	n/a	---	---
		15 dB	15.02 dB	Same	-0.02 dB	Same	n/a	0.15 dB	n/a
		20 dB	20.03 dB	Same	-0.03 dB	Same	n/a	0.15 dB	n/a
		25 dB	25.04 dB	Same	-0.04 dB	Same	n/a	0.15 dB	n/a
		30 dB	30.04 dB	Same	-0.04 dB	Same	n/a	0.15 dB	n/a
		35 dB	35.05 dB	Same	-0.05 dB	Same	n/a	0.15 dB	n/a
		40 dB	40.06 dB	Same	-0.06 dB	Same	n/a	0.15 dB	n/a

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongmueng, Klonghuang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2160-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289

Resolution Bandwidth Switching Uncertainty*

Test Level: -10 dBm, Log Scale: 1 dB

Test Frequency	UUC Span	UUC RBW	Standard Reading		UUC Error		Nominal Value	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
50 MHz	10 kHz	1 kHz	-10.13 dB	Same	Ref.	Same	Ref.	---	---
	20 kHz	3 kHz	-10.13 dB	Same	0.00 dB	Same	0.00 dB	0.10 dB	n/a
	50 kHz	10 kHz	-10.13 dB	Same	0.00 dB	Same	0.00 dB	0.10 dB	n/a
	100 kHz	30 kHz	-10.13 dB	Same	0.00 dB	Same	0.00 dB	0.10 dB	n/a
	500 kHz	100 kHz	-10.13 dB	Same	0.00 dB	Same	0.00 dB	0.10 dB	n/a
	2 MHz	300 kHz	-10.13 dB	Same	0.00 dB	Same	0.00 dB	0.10 dB	n/a
	5 MHz	1 MHz	-10.13 dB	Same	0.00 dB	Same	0.00 dB	0.10 dB	n/a
	20 MHz	1 MHz	-10.13 dB	Same	0.00 dB	Same	0.00 dB	0.10 dB	n/a
	50 MHz	1 MHz	-10.13 dB	Same	0.00 dB	Same	0.00 dB	0.10 dB	n/a

Amplitude Measurement Accuracy

RBW: 300 Hz, Log Scale: 10 dB

Test Frequency	UUC Span	Standard Value	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
50 MHz	20 kHz	0.00 dBm	-0.01 dBm	Same	-0.01 dB	Same	0.50 dB	0.24 dB	Pass
		-9.99 dBm	-9.95 dBm	Same	0.04 dB	Same	0.50 dB	0.24 dB	Pass
		-19.99 dBm	-19.95 dBm	Same	0.04 dB	Same	0.50 dB	0.24 dB	Pass
		-29.99 dBm	-29.96 dBm	Same	0.03 dB	Same	0.50 dB	0.24 dB	Pass
		-40.01 dBm	-40.03 dBm	Same	-0.02 dB	Same	0.50 dB	0.24 dB	Pass
		-50.02 dBm	-50.08 dBm	Same	-0.06 dB	Same	0.50 dB	0.24 dB	Pass
		-60.06 dBm	-60.10 dBm	Same	-0.04 dB	Same	0.50 dB	0.24 dB	Pass

Amplitude Frequency Response Measurement Accuracy

RBW: 300 Hz, Log Scale: 10 dB

Test Frequency	UUC Span	Standard Value	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
50 MHz	20 kHz	-9.99 dBm	-9.96 dBm	Same	0.03 dB	Same	1.00 dB	0.15 dB	Pass
100 MHz	20 kHz	-10.01 dBm	-9.99 dBm	Same	0.02 dB	Same	1.00 dB	0.15 dB	Pass
500 MHz	20 kHz	-10.02 dBm	-10.00 dBm	Same	0.02 dB	Same	1.00 dB	0.15 dB	Pass
1 MHz	20 kHz	-9.99 dBm	-9.93 dBm	Same	0.06 dB	Same	1.00 dB	0.15 dB	Pass
4 MHz	20 kHz	-10.00 dBm	-9.90 dBm	Same	0.10 dB	Same	1.00 dB	0.15 dB	Pass
6.5 MHz	20 kHz	-10.00 dBm	-10.10 dBm	Same	-0.10 dB	Same	1.00 dB	0.21 dB	Pass
9 MHz	20 kHz	-10.01 dBm	-10.12 dBm	Same	-0.11 dB	Same	1.00 dB	0.24 dB	Pass
12.4 MHz	20 kHz	-10.00 dBm	-10.17 dBm	Same	-0.17 dB	Same	1.00 dB	0.24 dB	Pass
18 MHz	20 kHz	-9.99 dBm	-10.24 dBm	Same	-0.25 dB	Same	1.00 dB	0.24 dB	Pass
20 MHz	20 kHz	-10.00 dBm	-10.18 dBm	Same	-0.18 dB	Same	1.10 dB	0.28 dB	Pass
26.5 MHz	20 kHz	-10.01 dBm	-10.22 dBm	Same	-0.21 dB	Same	1.10 dB	0.32 dB	Pass
28 MHz	20 kHz	-10.00 dBm	-10.27 dBm	Same	-0.27 dB	Same	1.20 dB	0.32 dB	Pass
32 MHz	20 kHz	-10.06 dBm	-9.93 dBm	Same	0.13 dB	Same	1.20 dB	0.38 dB	Pass
38 MHz	20 kHz	-10.02 dBm	-10.06 dBm	Same	-0.04 dB	Same	2.00 dB	0.42 dB	Pass
40 MHz	20 kHz	-10.02 dBm	-10.08 dBm	Same	-0.06 dB	Same	2.00 dB	0.43 dB	Pass

Notes:

1) Tolerances or specifications report in table above are based on technical specification of FieldFox Handheld Analyzers, Keysight Technologies, model N99XXA Series.
2) Statements of conformity (Judgment) are based on the decision rule described in the last page in this certificate.
3) The function with * indicates that it is not accredited by ANAB.

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ความถี่ พร้อม option การวัด 5G

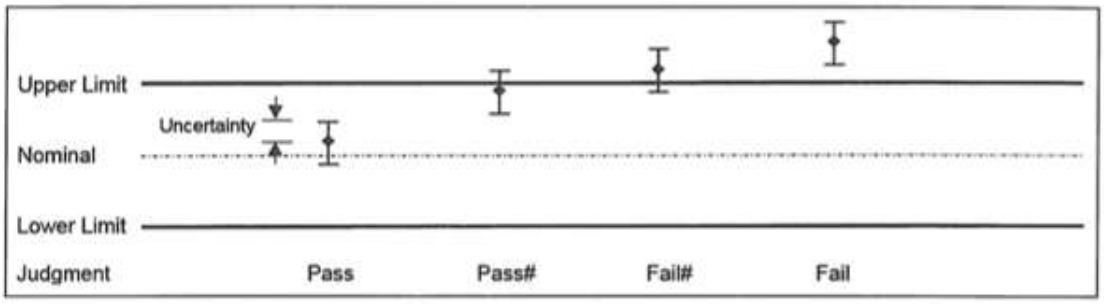
NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongmeng, Klonghuang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E3U211289

Statements of Conformity

The standard decision rule employed for the statements of conformity to each calibration result in this certificate is applied by using ILAC-G8:03/2009; Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification as following Fig. and statements when the measurement uncertainty is taken into account.



- Pass = The measurement result plus the expanded uncertainty with a 95% coverage probability were within the specification limit. Then conformity with the specification is stated.
- Pass# = The measurement result was within the specification limit, but a portion of the expanded uncertainty with a 95% coverage probability was overlapped the specification limit. It is not possible to state conformity using the 95% coverage probability for the expanded uncertainty although the measurement result was below the limit.
- Fail# = The measurement result was out of the specification limit, but a portion of the expanded uncertainty with a 95% coverage probability was in the specification. It is not possible to state non-conformity using the 95% coverage probability for the expanded uncertainty although the measurement result was out of the limit.
- Fail = The measurement result plus the expanded uncertainty with a 95% coverage probability were outside the specification limit. Then non-conformity with the specification is stated.

The measurement results and the statements of conformity with specification only relate to the item calibrated.

When functional verification tests and other inspection without measurement uncertainty are performed, the reported results do not affect these statements of conformity.

-o0o-

ผลการสอบเทียบสายอากาศ

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Federal Institute of Metrology METAS

Certificate of calibration No. 218-02803

Object	**Broadband horn antenna** Erafant SAV-4525031429-2F-U5 S/N 13079-01
Order	Antenna calibration (free field antenna factor)
Applicant	**Electrical and electronic products testing center(PTEC)** 111 Thailand Science Park (TSP), Phahonyothin Road, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand
Represented by	**iRC Technologies Limited** 719, 4th KPN Tower, Rama 9 Rd., 10310 Bangkok
Traceability	The reported measurement values are traceable to national standards and thus to internationally supported realisations of the SI units.
Date of calibration	27.10. to 28.10.2021
Marking	Calibration label METAS 10.2021

3003 Bern-Wabern, 5 November 2021

For the Measurements	Kai-Uwe Lauterbach
Approved by	Dr Frédéric Pythoud, Head of Laboratory Laboratory EMC

CIPM MRA

Mutual recognition

This certificate is consistent with Calibration and Measurement Capabilities (CMCs) that are included in Appendix C of the Mutual Recognition Arrangement (MRA) drawn up by the International Committee for Weights and Measures. Under the MRA, all participating institutes recognize the validity of each other's calibration certificates and measurement reports for the quantities, ranges and measurement uncertainties specified in Appendix C (for details see www.bipm.org).

This document is only valid and reviewable in its electronic form.
Please observe the information given on http://www.metas.ch/ecert

ผลการสอบเทียบสายอากาศ

Certificate of calibration No. 218-02803

Extent of the calibration

Calibration of the free field antenna factor in the frequency range from 4 GHz to 18 GHz in frequency steps of 10 MHz.

Measurement procedure

The measurement was performed in an anechoic chamber according to a modified version of the "Standard Antenna Method" (CISPR 16-1-6). To determine the antenna factor, different reference antennas have been used.

Measurement conditions

Environmental conditions

Temperature: (23.0 ± 2.0) °C
Relative humidity: (45 ± 10) %

Measurement apparatus

Device	Manufacturer	Type	Inventory
Anechoic chamber	Emitec AG	Hybride	4665
Vector Network Analysor	Rohde&Schwarz	ZVM 10 MHz-20 GHz	5349
Type-N Calibration Kit, Option 500	Agilent	85032F	5344
Laser distance meter	Leica Geosystems AG	DISTO classic	5299
Connector Gage Kit	MAURY	Gage Kit N	6422
Reference antenna	Schwarzbeck	BBHA 9120 D	5615
Reference antenna	Schwarzbeck	STLP 9148	5616
Reference antenna	Flann	18240-20	6848 6849
Mast	Schaffner / METAS	CAM 6330A	4615 5435

ผลการสอบเทียบสายอากาศ

Certificate of calibration No. 218-02803

Measurement results

Antenna factor (free field)

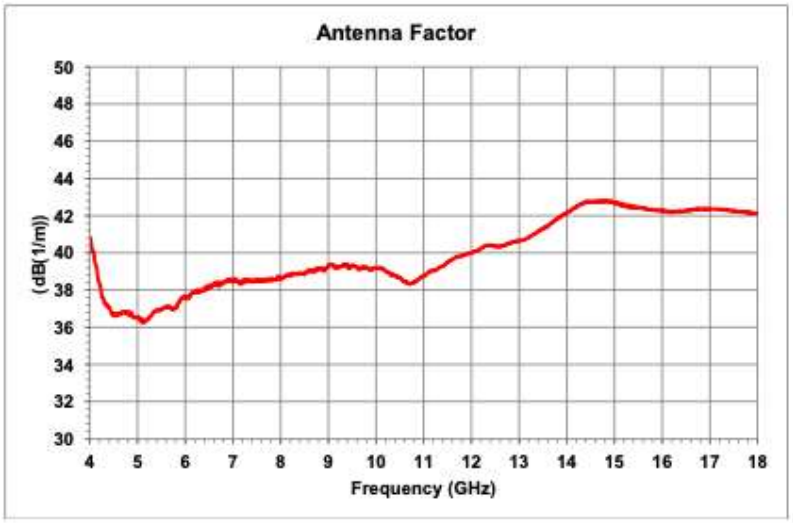
Frequency (GHz)	Antenna Factor (dB(1/m))	Frequency (GHz)	Antenna Factor (dB(1/m))	Frequency (GHz)	Antenna Factor (dB(1/m))	Frequency (GHz)	Antenna Factor (dB(1/m))
4.000	40.82	7.600	38.55	11.200	39.05	14.800	42.79
4.100	39.59	7.700	38.60	11.300	39.14	14.900	42.76
4.200	38.34	7.800	38.61	11.400	39.28	15.000	42.69
4.300	37.37	7.900	38.54	11.500	39.49	15.100	42.67
4.400	37.08	8.000	38.66	11.600	39.64	15.200	42.50
4.500	36.72	8.100	38.73	11.700	39.78	15.300	42.58
4.600	36.72	8.200	38.84	11.800	39.85	15.400	42.42
4.700	36.84	8.300	38.85	11.900	39.93	15.500	42.46
4.800	36.84	8.400	38.92	12.000	40.01	15.600	42.36
4.900	36.53	8.500	38.84	12.100	40.09	15.700	42.36
5.000	36.55	8.600	39.04	12.200	40.24	15.800	42.29
5.100	36.22	8.700	38.97	12.300	40.38	15.900	42.29
5.200	36.39	8.800	39.17	12.400	40.40	16.000	42.25
5.300	36.64	8.900	39.04	12.500	40.35	16.100	42.26
5.400	36.88	9.000	39.35	12.600	40.36	16.200	42.14
5.500	36.94	9.100	39.33	12.700	40.41	16.300	42.24
5.600	37.09	9.200	39.20	12.800	40.53	16.400	42.21
5.700	37.04	9.300	39.37	12.900	40.59	16.500	42.28
5.800	37.09	9.400	39.39	13.000	40.65	16.600	42.25
5.900	37.53	9.500	39.31	13.100	40.68	16.700	42.34
6.000	37.70	9.600	39.19	13.200	40.83	16.800	42.35
6.100	37.71	9.700	39.19	13.300	40.99	16.900	42.36
6.200	37.95	9.800	39.21	13.400	41.16	17.000	42.36
6.300	37.92	9.900	39.07	13.500	41.29	17.100	42.34
6.400	38.08	10.000	39.15	13.600	41.44	17.200	42.35
6.500	38.09	10.100	39.14	13.700	41.63	17.300	42.33
6.600	38.33	10.200	39.00	13.800	41.84	17.400	42.29
6.700	38.18	10.300	38.86	13.900	42.00	17.500	42.26
6.800	38.40	10.400	38.78	14.000	42.15	17.600	42.19
6.900	38.49	10.500	38.67	14.100	42.29	17.700	42.19
7.000	38.46	10.600	38.45	14.200	42.49	17.800	42.18
7.100	38.48	10.700	38.35	14.300	42.61	17.900	42.10
7.200	38.44	10.800	38.46	14.400	42.78	18.000	42.11
7.300	38.57	10.900	38.57	14.500	42.71		
7.400	38.44	11.000	38.74	14.600	42.81		
7.500	38.55	11.100	38.95	14.700	42.75		

Remark: The complete dataset is available in electronic format.

3/6

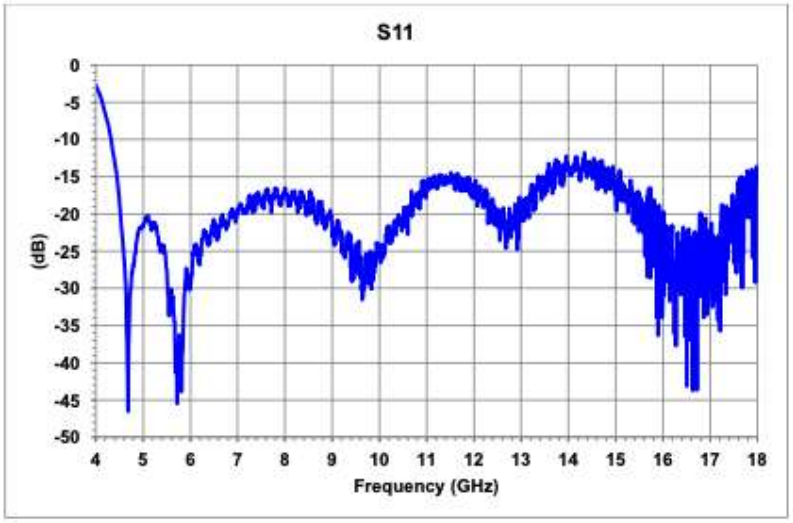
ผลการสอบเทียบสายอากาศ

Certificate of calibration No. 218-02803



Reflection coefficient

To determine the measurement uncertainty of field strength measurements with this antenna, the reflection coefficient (S11) is needed. It is shown in the following figure:



4/6

ผลการสอบเทียบสายอากาศ

Certificate of calibration No. 218-02803

Uncertainty of measurement

The reported uncertainty of measurement is stated as the combined standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k = 2$. The measured value (y) and the associated expanded uncertainty (U) represent the interval ($y \pm U$) which contains the value of the measured quantity with a probability of approximately 95%. The uncertainty was estimated following the guidelines of the ISO (GUM:1995).

The measurement uncertainty contains contributions originating from the measurement standard, from the calibration method, from the environmental conditions and from the object being calibrated. The long-term characteristic of the object being calibrated is not included.

Frequency range	Uncertainty antenna factor (k=2)
4 GHz to 4.13 GHz	1.2 dB
4.13 GHz to 4.26 GHz	1.0 dB
4.26 GHz to 10 GHz	0.85 dB
10 GHz to 16 GHz	1.2 dB
16 GHz to 18 GHz	1.4 dB

ผลการสอบเทียบสายอากาศ

Certificate of calibration No. 218-02803

Application note

Antenna factor

The equation for the determination of the electrical field strength can be written as:

$$E_{(dB(\mu V/m))} = AF_{(dB(1/m))} + M_{(dB(\mu V))}$$

E Electrical field strength

AF Antenna factor

M Measurement reading at the receiver (Spectrum analyser)

Conversion between absolute values and values in dB

	Absolute	In dB
Electric Field Strength	$E_{(V/m)} = 10^{\frac{E_{(dB(\mu V/m))}-120}{20}}$	$E_{(dB(\mu V/m))} = 20 \cdot \log_{10}(E_{(V/m)}) + 120$
Antenna Factor	$AF_{(1/m)} = 10^{\frac{AF_{(dB(1/m))}}{20}}$	$AF_{(dB(1/m))} = 20 \cdot \log_{10}(AF_{(1/m)})$

Reflection coefficient

The equation for the determination of the mismatch between the antenna and the receiver (more specifically the cable) can be written as:

$$u_{\text{Mismatch}} = \frac{|\Gamma_{\text{Antenna}}| \cdot |\Gamma_{\text{Receiver}}|}{\sqrt{2}}$$

u_{Mismatch} Standard uncertainty (k=1, U distribution) of the mismatch in absolute units. For the conversion to dB the following equation can be applied:

$$u_{\text{Mismatch(dB)}} = \frac{20}{\ln(10)} u_{\text{Mismatch}}$$

Γ The reflection coefficient can be transformed from logarithmic to absolute using the following equation:

$$\Gamma_{\text{Absolute}} = 10^{\frac{\Gamma_{dB}}{20}}$$

6/6

ผลการพัฒนา ปรับปรุงห้องปฏิบัติการทดสอบเคลื่อนที่

ศูนย์ทดสอบ PTEC ทำการพัฒนาห้องปฏิบัติการทดสอบเคลื่อนที่ (Mobile Lab) เพื่อใช้ให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) โดยทำการดัดแปลงรถยนต์นั่งเอนกประสงค์ รุ่น TR Transformer II MAXI 2.4 ให้สามารถใช้งานเป็นห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ รองรับการติดตั้งครุภัณฑ์เครื่องมือวัด สามารถใช้งานปฏิบัติการทดสอบสำหรับงานทดสอบภาคสนาม (Field test) ได้สะดวก รวดเร็ว และคล่องตัว พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ประกอบการทดสอบสำหรับงานทดสอบภาคสนามที่สำคัญ ดังนี้

1. เสาติดตั้งสายอากาศแบบยืดหดได้ (Telescopic mast) ใช้งานสำหรับติดตั้งสายอากาศสำหรับทำการวัดสัญญาณ สามารถปรับยืดความยาวของเสาเพื่อทำการทดสอบในระดับความสูงต่างๆ ได้ตั้งแต่ 3 เมตรถึง 7 เมตร
2. ระบบควบคุมการหมุนเสา 360 องศา (Azimuth angle controller) ใช้งานสำหรับควบคุมการหมุนของเสา Telescopic mast สามารถหมุนหาทิศทางของสัญญาณที่ต้องการทดสอบได้แบบอิสระสั่งงานด้วยจอยสติ๊ก ทำให้สามารถแยกแยะแหล่งที่มาของสัญญาณที่ต้องการค้นหาได้ง่ายขึ้น
3. ระบบควบคุมการปรับทิศทางของสายอากาศในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน (Antenna polarization controller) ใช้งานสำหรับควบคุมการปรับทิศทางของสายอากาศ สามารถเปลี่ยนแนวแกนของสายอากาศให้เป็นแนวแกนตั้ง (Vertical polarization) หรือเป็นแนวแกนนอน (Horizontal polarization) ได้โดยสั่งงานผ่านจอยสติ๊ก เพื่อระบุแนวแกน (Polarization) ของสัญญาณที่ต้องการทดสอบได้ง่ายขึ้น ทำให้สามารถแยกแยะแหล่งที่มาของสัญญาณที่ต้องการค้นหาได้ง่ายขึ้น
4. ระบบค้นหาและระบุทิศทางของสัญญาณ (Directional finder) ใช้งานเพื่อการค้นหาและระบุทิศทางของสัญญาณ ที่ให้ความแม่นยำที่สูง สามารถใช้งานทั้งแบบติดตั้งภายในรถโมบายแลป ทำการขับรถไปยังสถานที่เป้าหมายเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณ และสามารถใช้งานแบบสะพายถือ เพื่อเดินค้นหาสัญญาณ ในกรณีที่ไม่สามารถนำรถโมบายแลปเข้าพื้นที่ได้

   หมายเหตุ: ระบบค้นหาและระบุทิศทางของสัญญาณ (Directional finder) เป็นครุภัณฑ์จากโครงการการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่จากสถานีฐานวิทยุชุมชนและสถานีส่งโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุน กทปส. ซึ่งหลังจากดำเนินโครงการดังกล่าวแล้วเสร็จ (ปิดโครงการ) ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้นำครุภัณฑ์ที่ได้รับมอบมาใช้งานต่อยอด เพื่อให้งานทดสอบภาคสนามมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
5. ระบบ Drive test system เป็นระบบการวัดคุณภาพของการสื่อสารของโครงข่ายโทรศัพท์ (Quality of Service) ใช้ในการหาค่าอัตราส่วนกำลังของคลื่นความถี่หลัก (Cellular) ต่อการรบกวนที่เกิดจากการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง (Sandbox) เพื่อประเมินระดับความรุนแรงของการรบกวน

ห้องปฏิบัติการทดสอบเคลื่อนที่ (Mobile Lab)

- ติดตั้งโต๊ะทำงานพื้นไม้บิวท์อินแบบถาวร สำหรับนั่งปฏิบัติงานภายในรถยนต์
- มีระบบไฟฟ้ากระแสสลับภายในรถ สามารถจ่ายไฟให้กับเครื่องมือวัด ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายอินเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ชนิดคลายประจุช้า (Deep Cycle)

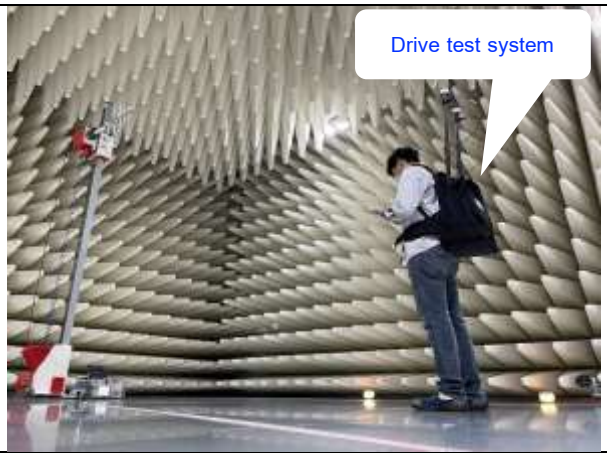
ห้องปฏิบัติการทดสอบเคลื่อนที่ (Mobile Lab)

- ติดตั้งเสา Telescopic mast สามารถยืดความยาวของเสาได้สูงสุด 7 เมตร (จากระดับพื้นดิน)
- มีระบบควบคุมการหมุนของเสา Telescopic mast สามารถหมุนเสาได้ 0-360 องศา อิสระ เพื่อค้นหาทิศทางของแหล่งสัญญาณที่ต้องการทดสอบ
- ระบบควบคุมการปรับทิศทางของสายอากาศ ปรับสายอากาศได้ในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน เพื่อระบุแนวแกนของของสัญญาณที่ต้องการทดสอบ

ระบบค้นหาและระบุทิศทางของสัญญาณ (Direction finder)

- Directional finder ใช้งานเพื่อการค้นหาและระบุทิศทางของสัญญาณที่ต้องการความแม่นยำที่สูง สามารถใช้งานทั้งแบบติดตั้งภายในรถโมบายแลป ทำการขับรถไปยังสถานที่เป้าหมายเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณ และสามารถใช้งานแบบสะพายถือ เพื่อเดินค้นหาสัญญาณ ในกรณีที่ไม่สามารถนำรถโมบายแลปเข้าพื้นที่ได้

Drive test system ระบบการวัดอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SINR)



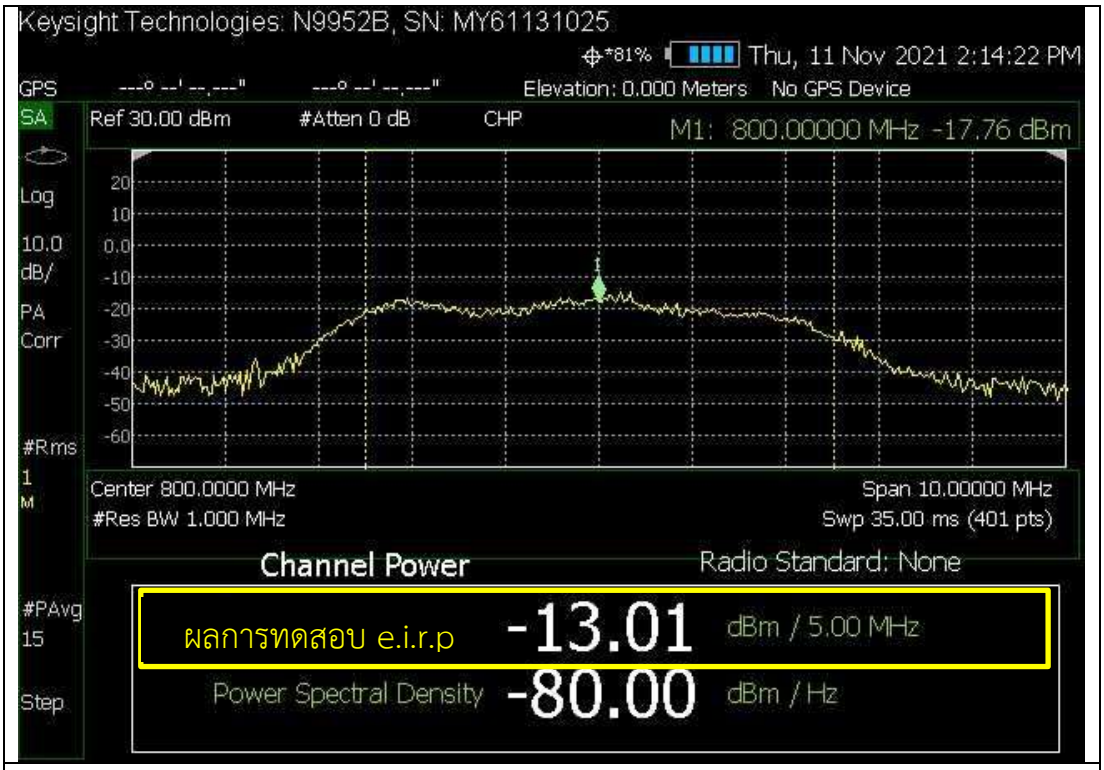
- Drive test system เป็นระบบการวัดคุณภาพของการสื่อสารของโครงข่ายโทรศัพท์ ใช้ในการหาค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณ (คลื่นความถี่โทรศัพท์มือถือที่ได้รับการคุ้มครอง) ต่อการรบกวนที่เกิดจากการใช้งานคลื่นความถี่ทดลอง (Sandbox) เพื่อประเมินระดับความรุนแรงของการรบกวนกัน

ความพร้อมในการให้บริการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรม ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

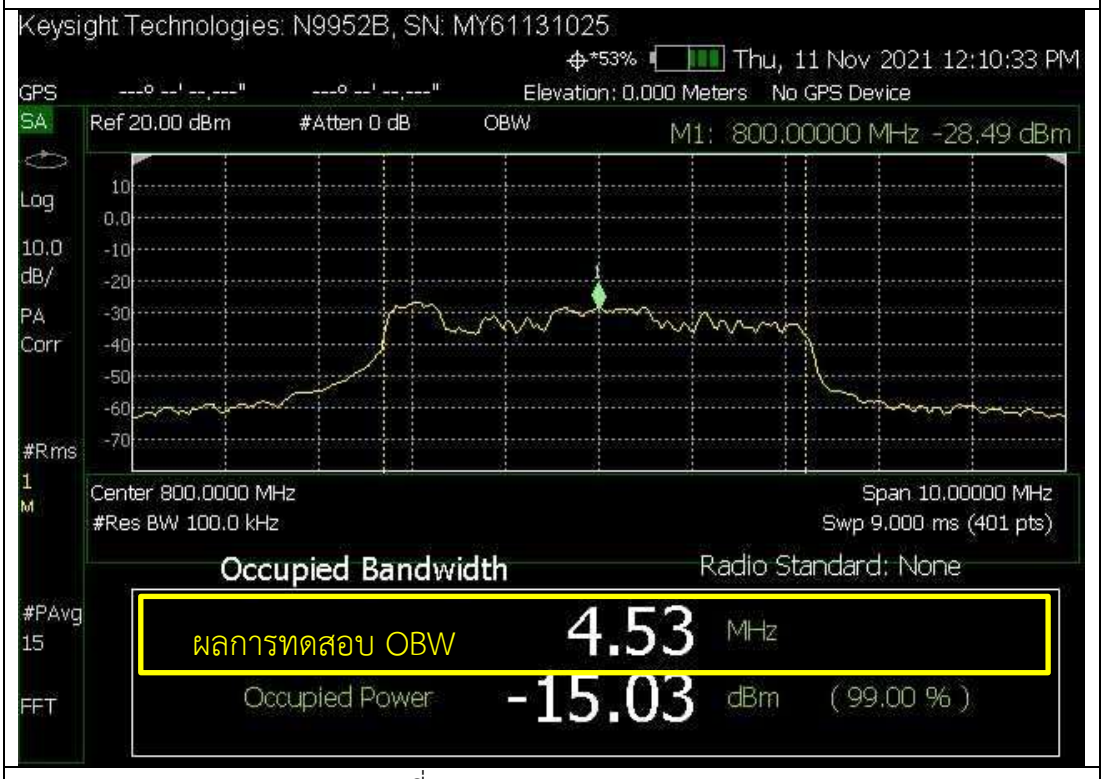
ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้จัดทำเอกสารขั้นตอนสำหรับการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ทดสอบผ่านทางอากาศ (Over the air) ในสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่เปิดโล่ง (Open area) โดยใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบแบบเคลื่อนที่ (Mobile lab) สำหรับการดำเนินการทดสอบ

ก่อนเริ่มดำเนินให้บริการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามฯ ณ สถานที่จริง ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ทดลองความพร้อมในขั้นสุดท้าย โดยทำการจำลองพื้นที่ Sandbox ขึ้น ภายในห้องปิดกั้นคลื่นขนาดใหญ่ของ PTEC (10m Semi-Anechoic chamber) และทดลองใช้รถโมบายแลปทำการทดสอบตามเอกสารขั้นตอนสำหรับการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนามในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ที่ออกแบบไว้

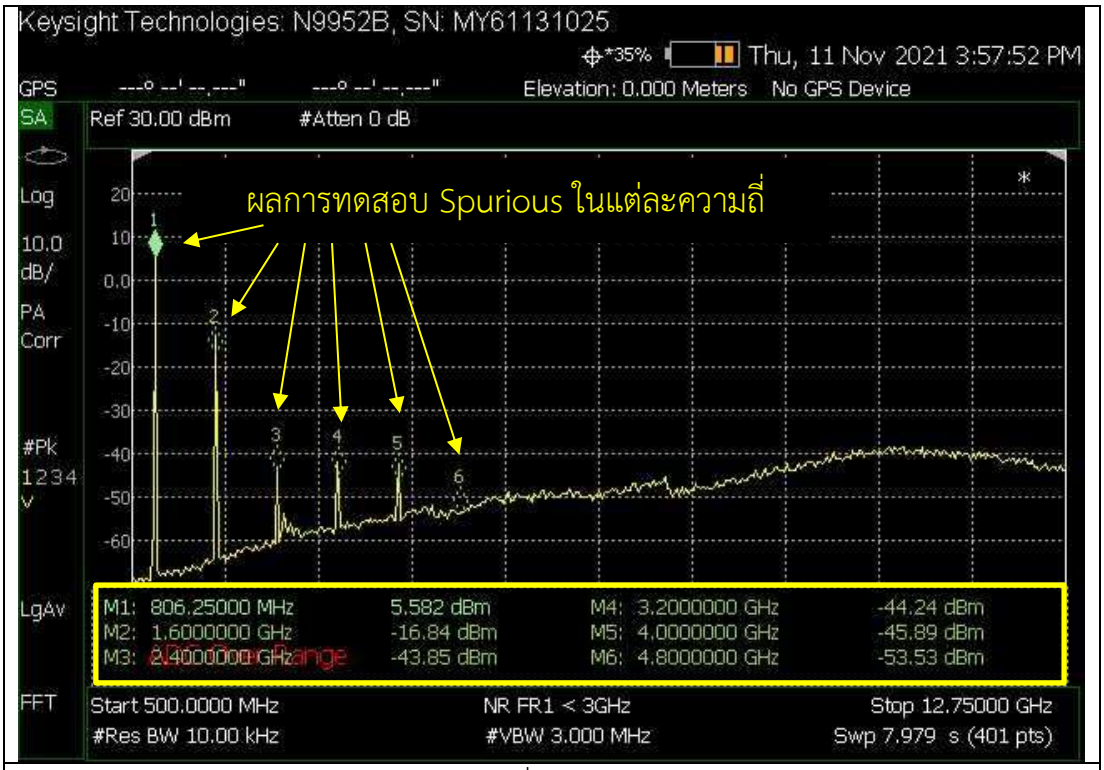
รูปแสดงพื้นที่ Sandbox จำลอง เพื่อการทวนสอบการให้บริการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ภาคสนาม



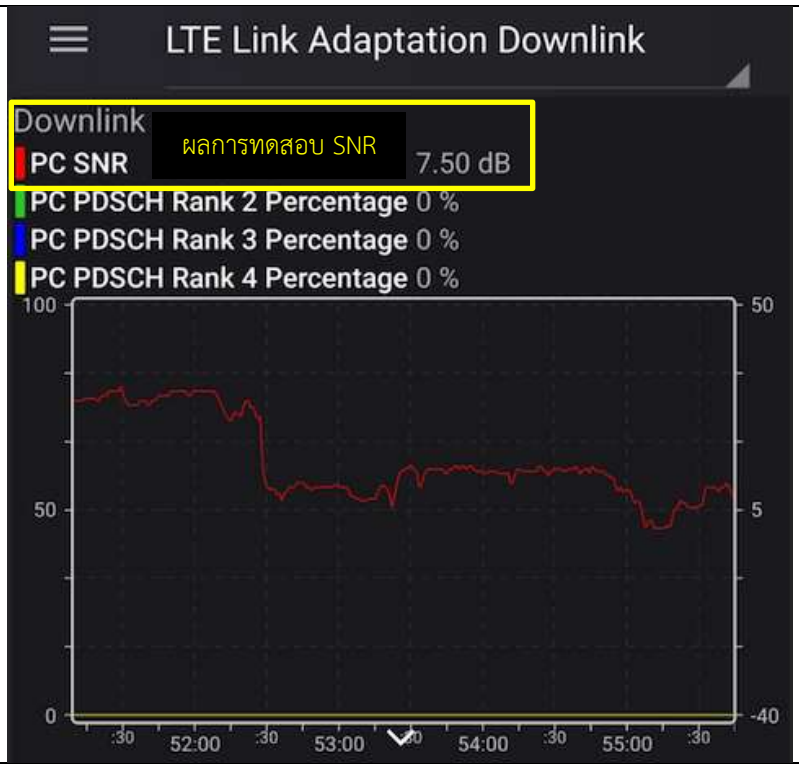
รูปแสดงผลการทดสอบกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.)



รูปแสดงผลแถบความถี่ครอบครอง (Occupied bandwidth : OBW)



รูปแสดงผลการแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่ง (Transmitter Spurious Emissions)



รูปแสดงผลอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อการรบกวน (SNR)

จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ศูนย์ทดสอบ PTEC มีความพร้อมสมบูรณ์แล้วในการให้บริการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ณ สถานที่จริง

ภาคผนวก ง
เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงาน กสทช., คู่มือการปฏิบัติตามประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เพื่อการพัฒนาและทดสอบนวัตกรรมในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

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

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

[4] สำนักงาน กสทช., มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมสถานีฐาน ตามมาตรฐาน กสทช. มท. 1037 – 2563

[5] สำนักงาน กสทช., ประกาศสำนักงาน กสทช. เรื่อง แนวทางการพิจารณาทางด้านความถี่วิทยุสำหรับการตรวจสอบรับรองมาตรฐานเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunication – IMT), 26 ตุลาคม 2563

[6] สำนักงาน กสทช., ประชุมกลุ่มย่อย (ร่าง)ประกาศ กสทช. เรื่องมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล International Mobile Telecommunications (IMT) ซึ่งใช้เทคโนโลยี IMT-2020, 11 กันยายน 2562

[7] สำนักงาน กสทช., รายชื่อพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ, 6 มกราคม 2563

[8] ETSI TS 138 104 V16.7.0 (2021-04) 5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38.104 version 16.7.0 Release 16)

[9] ETSI TS 138 141-2 V16.7.0 (2021-04) 5G; NR; Base Station (BS) conformance testing Part 2: Radiated conformance testing (3GPP TS 38.141-2 version 16.7.0 Release 16)

[10] Recommendation ITU-R SM.329-12 (09/2012): Unwanted emission in the spurious domain

ภาคผนวก จ

รายงานผลการดำเนินการให้บริการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox)

จากหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ประกอบกับข้อมูลการทดลองคลื่นความถี่ฯ และข้อคิดเห็นจาก สำนัก ปท.1 สามารถนำมาสรุปผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 สรุปผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ พื้นที่หลัก

ลำดับ	พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ	การทดลองคลื่นความถี่	โอกาสเกิดการรบกวนความถี่		
			ความหนาแน่นประชากร	ช่วงความถี่ใช้งาน	ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการรบกวน
1	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	5 ช่วงความถี่	ใกล้โรงพยาบาลและสถานีรถไฟฟ้า
2	สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล	มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	1 ช่วงความถี่	ใกล้สถานีรถไฟฟ้า
3	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา	มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	1 ช่วงความถี่	ใกล้โรงพยาบาล
4	โครงการนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก	มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรต่ำ	3 ช่วงความถี่	-

ตารางที่ 2 แสดงสรุปผลการคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ พื้นที่สำรอง

สำรองลำดับ	พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ	การทดลองคลื่นความถี่	โอกาสเกิดการรบกวนความถี่		
			ความหนาแน่นประชากร	ช่วงความถี่ใช้งาน	ใกล้พื้นที่อ่อนไหวต่อการรบกวน
1	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	9 ช่วงความถี่	ใกล้โรงพยาบาล
2	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	2 ช่วงความถี่	ใกล้โรงพยาบาลและโรงกลั่นน้ำมัน
3	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	2 ช่วงความถี่	-
4	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	5 ช่วงความถี่	-
5	บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นอินดัสเตรียลเอสเตท จำกัด (WHA EIE)	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรสูง	4 ช่วงความถี่	-
6	บริษัท อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียลเอสเตท (ระยอง) (ESIE)	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรต่ำ	4 ช่วงความถี่	-
7	บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียลเอสเตท จำกัด (WHA ESIE1)	ไม่มีการทดลอง	ความหนาแน่นของประชากรต่ำ	4 ช่วงความถี่	-

การดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ สำหรับพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ

จากหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (Regulatory Sandbox) ศูนย์ทดสอบ PTEC ดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ โดยพิจารณาจากการทดลองใช้งานคลื่นความถี่จริงในพื้นที่เป็นสำคัญ ดังนั้น ศูนย์ทดสอบ PTEC จึงได้สรุปแผนการดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงแผนการดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่

ไตรมาส	การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่	
	พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (พื้นที่หลัก)	**พื้นที่กำกับดูแลเป็นการเฉพาะ (พื้นที่สำรอง)**
ม.ค. – มี.ค. 66 เม.ย. – มิ.ย. 66 ก.ค. - ก.ย. 66 ต.ค. - ธ.ค. 66 ม.ค. - ก.ค. 67 (ช่วงขยายเวลาโครงการ)	- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย - สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล - มหาวิทยาลัยบูรพา - โครงการนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (เลือก 3 พื้นที่ โดยเลือกจากพื้นที่หลักก่อน เป็นลำดับแรก)	- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ - มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - มหาวิทยาลัยขอนแก่น - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ - บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นอินดัสเตรียลเอสเตท จำกัด (WHA EIE) - บริษัท อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียลเอสเตท (ระยอง) (ESIE) - บริษัท ดับบลิวเอชเอ อีสเทิร์นซีบอร์ด อินดัสเตรียลเอสเตท จำกัด (WHA ESIE1) (ในกรณีพื้นที่หลัก ไม่ครบ 3 พื้นที่ ให้เลือกจากพื้นที่สำรอง จนครบ 3 พื้นที่ต่อ 1 ไตรมาส)

ตารางที่ 4 แสดงสรุปผล การดำเนินการทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่

ไตรมาส	การทดสอบการรบกวนคลื่นความถี่	หมายเหตุ
ม.ค. – มี.ค. 66	ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ออกอากาศ	พื้นที่หลัก และพื้นที่สำรองอื่น ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ออกอากาศ
เม.ย. – มิ.ย. 66	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	รายงานผล Sandbox 66-001
ก.ค. - ก.ย. 66	ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ออกอากาศ	พื้นที่หลัก และพื้นที่สำรองอื่น ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ออกอากาศ
ต.ค. - ธ.ค. 66	ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ออกอากาศ	พื้นที่หลัก และพื้นที่สำรองอื่น ไม่มีการทดลองคลื่นความถี่ออกอากาศ
ม.ค. - ก.ค. 67 (ช่วงขยายเวลาโครงการ)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล โครงการนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก	รายงานผล Sandbox 67-002 รายงานผล Sandbox 67-003 รายงานผล Sandbox 67-004 รายงานผล Sandbox 67-005 รายงานผล Sandbox 67-006 รายงานผล Sandbox 67-007 รายงานผล Sandbox 67-008 รายงานผล Sandbox 67-009 รายงานผล Sandbox 67-010 รายงานผล Sandbox 67-011 รายงานผล Sandbox 67-012 (ครบ 12 เล่ม)