



รายงานผลการศึกษา

เรื่อง ความเป็นไปได้ในการขยายคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz
เพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ
(สำนักงาน กสทช.)

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

บทสรุปผู้บริหาร (EXECUTIVE SUMMARY)

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 วิธีการศึกษา	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 สถานะการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ของประเทศไทยในปัจจุบัน	3
2.1 คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz	3
2.2 การกำกับดูแลคลื่นความถี่ 920 - 925 MHz ของประเทศไทยในปัจจุบัน	4
2.3 ประเภทของการใช้งานในปัจจุบัน	9
บทที่ 3 การสำรวจแนวทางการกำกับดูแลในต่างประเทศ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง	12
3.1 การกำกับดูแลในต่างประเทศ	12
3.2 การสำรวจเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 4 ผลสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในประเทศไทย	18
4.1 การสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยใช้แบบสำรวจ	18
4.2 การสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยการประชุมกลุ่มย่อย (FOCUS GROUP)	22
บทที่ 5 การวิเคราะห์ทางเทคนิคเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz	24
5.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	24
5.2 วิธีการวิเคราะห์แบบ MONTE CARLO	25
5.3 สถานการณ์ที่เป็นไปได้สำหรับคลื่นความถี่ (SCENARIO)	28
5.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิคของระบบสำหรับการจำลองเชิงตัวเลข	33
5.5 ผลการจำลองการรบกวนและการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการกำกับดูแล	36
บทที่ 6 แนวทางการขยายคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในประเทศไทย	51
แหล่งอ้างอิง	55

บทสรุปผู้บริหาร

(Executive Summary)



เทคโนโลยีดิจิทัลและการสื่อสารที่ได้พัฒนาไปอย่างไม่หยุดยั้ง ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้คลื่นความถี่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในเวลาอันรวดเร็ว หนึ่งในคลื่นความถี่ที่ได้รับความนิยมสูงในการใช้พัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารใหม่ในประเทศไทย คือ คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเทคนิคที่เหมาะสมและมีเทคโนโลยีที่หลากหลายในต่างประเทศที่ถูกพัฒนาให้ใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวนี้ โดย คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้กำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ 920 - 925 MHz ในลักษณะที่อนุญาตให้ใช้เป็นการทั่วไปตามประกาศ กสทช. ที่เกี่ยวข้องในปี พ.ศ. 2560

ด้วยการเติบโตของการใช้งานเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ในคลื่นความถี่ดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) จึงดำเนินการศึกษาแนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ และการกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศเพื่อรองรับการขยายตัวของการใช้งานดังกล่าว รวมถึงศึกษาแนวทางการขยายให้ใช้คลื่นความถี่เพิ่มเติมจาก 920 - 925 MHz โดยพิจารณาจากข้อมูล ความคิดเห็น ความต้องการใช้คลื่นความถี่จากผู้มีส่วนได้เสีย และการใช้ซอฟต์แวร์เพื่อจำลองและวิเคราะห์โอกาสเกิดการรบกวนในสถานการณ์ (Scenario) ที่แตกต่างกัน เพื่อหาช่วงในการขยายคลื่นความถี่และค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงการกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องในอนาคต

จากการศึกษาพบว่า ภายใต้เงื่อนไขทางเทคนิคที่เหมาะสม มีความเป็นไปได้ในการขยายให้ใช้คลื่นความถี่เพิ่มเติม 918 - 920 MHz และ 925 - 928 MHz ในลักษณะที่อนุญาตให้ใช้เป็นการทั่วไป โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อระบบที่เดิมมีการใช้งานอยู่ในคลื่นความถี่ข้างเคียง และไม่ได้รับผลกระทบรุนแรงจากระบบที่ใช้งานเดิมในคลื่นความถี่ข้างเคียงดังกล่าว ในบทสุดท้ายของรายงานนี้ จึงจัดทำเป็นทางเลือกนโยบาย (Policy options) พร้อมทั้งข้อดี ข้อเสีย ของแต่ละแนวทางดังกล่าว เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาปรับปรุงกฎระเบียบของ กสทช. ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ให้เหมาะสมกับการใช้งานในอนาคตต่อไป

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ 920 - 925 MHz ในลักษณะการใช้งานเป็นการทั่วไป โดยให้ผู้ใช้งานเข้าใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน ซึ่งปัจจุบันรองรับการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมหลากหลายประเภท อาทิ เครื่องวิทยุคมนาคมสื่อสารระยะสั้น (Short-Range Radiocommunication Devices: SRD) เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID (Radio Frequency Identification) รวมถึงการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ Internet of Things (IoT)

ด้วยคลื่นความถี่ในย่านดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ ISM (Industrial, Scientific and Medical frequency bands) ในบางภูมิภาค และลักษณะทางเทคนิคหลายประการที่เอื้อต่อการประยุกต์ใช้งานหลากหลายประเภท จึงได้รับความนิยมสูงจากผู้ผลิตเทคโนโลยีใหม่อย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้คลื่นความถี่ดังกล่าวได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องจากผู้ใช้งานและองค์กรในประเทศไทยไปด้วย ซึ่งหากมีการใช้งานอย่างหนาแน่นอาจทำให้คลื่นความถี่ดังกล่าวไม่สามารถรองรับการใช้งานได้อย่างเพียงพอในบางเวลาหรือบางพื้นที่ และการเติบโตของการใช้งานในอนาคตได้

อย่างไรก็ตาม ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันที่สามารถหลีกเลี่ยงและป้องกันการรบกวนได้ดีขึ้น จึงมีความเป็นไปได้ในการลดความกว้างของแถบความถี่ป้องกัน (Guard band) ของคลื่นความถี่ดังกล่าว และทำให้มีปริมาณคลื่นความถี่ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการกำหนดตัวแปรทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องและเงื่อนไขการเข้าใช้คลื่นความถี่อย่างเหมาะสม

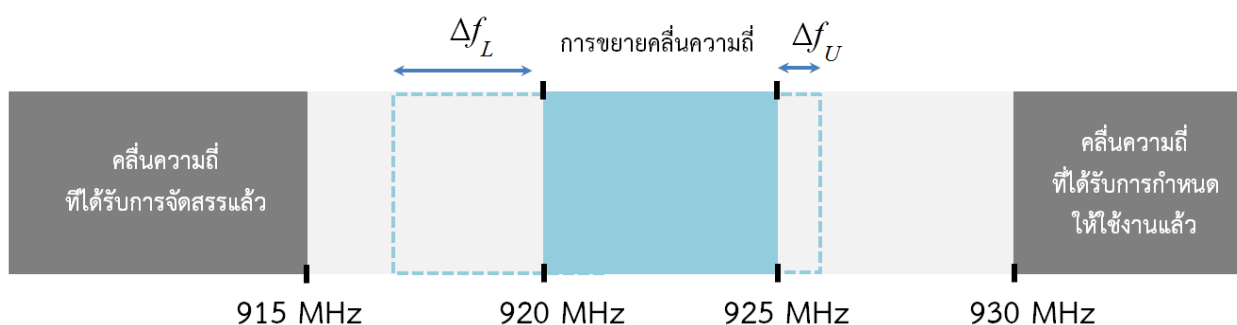
สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) จึงได้ดำเนินการศึกษาสถานะการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในประเทศไทย และความเป็นไปได้ในการขยายคลื่นความถี่ย่านดังกล่าวให้ใช้เป็นการทั่วไป เพื่อให้การใช้คลื่นความถี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรองรับการขยายตัวของเทคโนโลยีสื่อสารใหม่ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

รายงานการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz และคลื่นความถี่ใกล้เคียงที่เกี่ยวข้องของประเทศไทยและต่างประเทศในปัจจุบัน
- 2) ศึกษาความเป็นไปได้ในการขยายการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ให้ใช้เป็นการทั่วไป และข้อจำกัดที่เกี่ยวข้อง
- 3) จัดทำข้อเสนอเพื่อปรับปรุงกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องให้มีการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz เป็นการทั่วไป เพื่อให้การใช้คลื่นความถี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตการศึกษา



รูปที่ 1.1 แผนภาพความถี่ในขอบเขตการพิจารณาปรับปรุงการใช้งานและการขยายเพิ่มเติม เพื่อให้ใช้งานเป็นการทั่วไป

รายงานนี้ ศึกษาความเป็นไปได้และแนวทางการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz และการขยายเพิ่มเติมเพื่อให้ใช้เป็นการทั่วไป โดยมุ่งหาคำตอบให้กับคำถาม (Problem Statement) ในขอบเขตดังต่อไปนี้

- 1) มีความจำเป็นหรือความเป็นไปได้หรือไม่ ในการขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมจากคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz เพื่อให้ใช้งานในลักษณะเป็นการทั่วไป?
- 2) ควรกำหนดให้ขยายคลื่นความถี่ดังกล่าวออกไปจากเดิมที่กำหนดไว้เท่าไร จึงเพียงพอต่อการรองรับความต้องการใช้งานเทคโนโลยีที่แตกต่างหลากหลายในปัจจุบันและอนาคต โดยไม่มีการรบกวนในระดับที่ไม่สามารถใช้งานได้?
- 3) ควรกำหนดแนวทางการกำกับดูแลและตัวแปรทางเทคนิคอย่างไร เพื่อให้สามารถใช้คลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และมีการรบกวนน้อยที่สุด?

1.4 วิธีการศึกษา

- 1) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและกรณีศึกษาในต่างประเทศ
- 2) รวบรวมข้อมูลการตอบแบบสำรวจความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
- 3) วิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรมเพื่อกำหนดทางเลือกและข้อกำหนดทางเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ข้อมูลสถานะและความต้องการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในปัจจุบันและอนาคต
- 2) ข้อมูลแนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีและการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในประเทศไทยและต่างประเทศ
- 3) แนวทางการปรับปรุงคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz พร้อมทั้งเงื่อนไขทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับการใช้งานในอนาคต

บทที่ 2

สถานะการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ของประเทศไทยในปัจจุบัน

2.1 คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz

คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz เป็นคลื่นความถี่ในย่าน UHF (Ultra High Frequency: 300 - 3,000 MHz) และเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ ISM (Industrial, Scientific and Medical frequency bands) ย่าน 915 MHz (ช่วงความถี่ตั้งแต่ 902 - 928 MHz) สำหรับประเทศในภูมิภาคที่ 2 ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) โดยปัจจุบันในประเทศไทยกำหนดให้มีการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ร่วมกันเป็นการทั่วไป และมีคลื่นความถี่ใกล้เคียงที่ต่ำกว่าคือ คลื่นความถี่ย่าน 895 - 915 MHz ซึ่งปัจจุบันถูกกำหนดให้ใช้สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunications: IMT) และคลื่นความถี่ใกล้เคียงที่สูงกว่า คือ 930 - 935 MHz ซึ่งถูกกำหนดให้ใช้สำหรับระบบอาณัติสัญญาณของระบบคมนาคมขนส่งทางราง (GSM-Railway: GSM-R) โดยมีแถบความถี่ป้องกัน (Guard band) ด้านละ 5 MHz เพื่อป้องกันการรบกวนจากการใช้งานระหว่างกิจการ รายละเอียดปรากฏตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz และย่านใกล้เคียงในปัจจุบัน

คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการสื่อสารด้วยเทคโนโลยีที่หลากหลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะการสื่อสารในรูปแบบที่มีการเคลื่อนที่หรือการกระจายตัวของเครื่องลูกข่ายเป็นบริเวณกว้าง และไม่ได้มุ่งเน้นการใช้งานในลักษณะที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมากนัก จึงมีการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารในย่านนี้อย่างแพร่หลาย คลื่นความถี่ย่านดังกล่าวมีคุณสมบัติที่สำคัญต่อระบบสื่อสารไร้สาย ดังนี้

1) คุณสมบัติทางเทคนิคของคลื่นความถี่ส่งผลให้มีพื้นที่ครอบคลุมการใช้งานเป็นบริเวณกว้างเมื่อเทียบกับการใช้งานย่านความถี่ที่สูงกว่า ผู้ให้บริการการเชื่อมต่อโครงข่ายสื่อสารจึงไม่ต้องติดตั้งสถานีฐานมากเกินไป ซึ่งเป็นการประหยัดต้นทุนการให้บริการของผู้ให้บริการและยังช่วยลดผลกระทบที่จะเกิดเป็นภาระแก่ผู้ใช้บริการต่อไป

2) เป็นย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการออกแบบสายอากาศที่ติดตั้งภายในอุปกรณ์เชื่อมต่อให้มีขนาดเล็ก เนื่องจากหลักการออกแบบสายอากาศรับหรือส่งสัญญาณต้องอาศัยความยาวคลื่นเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณา ซึ่งคลื่นความถี่สูงจะมีความยาวคลื่นสั้น ส่วนคลื่นความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นมากกว่า ดังนั้นการใช้คลื่นความถี่ต่ำจึงจำเป็นต้องใช้สายอากาศที่มีความยาวหรือขนาดมากกว่าการใช้คลื่นความถี่สูง และอาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะติดตั้งภายในอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก

3) เป็นย่านความถี่ที่มีการรวมกลุ่มจัดทำมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์และการเชื่อมต่อร่วมกันในระดับสากล ทำให้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานจากผู้ผลิตทั่วโลกสามารถใช้งานร่วมกันได้

4) เป็นย่านความถี่ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยมีกลุ่มผู้ลงทุนและผู้ผลิตอุปกรณ์รายใหญ่รองรับและให้การสนับสนุนเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดทางเลือกในการเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการให้บริการหรือการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ และมีต้นทุนด้านอุปกรณ์ต่ำกว่าการใช้อย่านความถี่ที่มีกลุ่มผู้ผลิตให้การสนับสนุนน้อย

5) เป็นย่านความถี่ที่ถูกกำหนดให้สามารถใช้งานร่วมกันได้เป็นการทั่วไปในประเทศไทย ผู้ใช้งานจึงไม่จำเป็นต้องขอรับการจัดสรรคลื่นความถี่จาก กสทช. ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกและลดต้นทุนการใช้งานทั้งในด้านเวลา ขั้นตอน และค่าใช้จ่าย ยิ่งไปกว่านั้น ผู้ใช้งานสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสมภายใต้เงื่อนไขหรือกฎระเบียบที่ กสทช. กำหนด โดยไม่มีการผูกมัดกับกิจการหรือวัตถุประสงค์ใดวัตถุประสงค์หนึ่งอีกด้วย

จากคุณสมบัติข้างต้นจะเห็นว่า คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz มีความเหมาะสมต่อการใช้งานในหลากหลายรูปแบบ และเนื่องจากคลื่นความถี่เป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะเมื่อประเทศไทยเข้าสู่ยุคที่มีการใช้งานอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อไร้สายอย่างหนาแน่นในย่านความถี่ดังกล่าว จึงต้องมีการศึกษาและพิจารณาแนวทางการกำกับดูแลให้เพียงพอต่อการใช้งานบนย่านความถี่ร่วมกันได้อย่างเหมาะสม

2.2 การกำกับดูแลคลื่นความถี่ 920 - 925 MHz ของประเทศไทยในปัจจุบัน

ในประเทศไทยมีการอนุญาตให้ใช้เครื่องวิทยุคมนาคมในย่านความถี่ 920 - 925 MHz ร่วมกันเป็นการทั่วไป เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้เครื่องวิทยุคมนาคมสื่อสารระยะสั้น (Short-Range Radio-communication Devices: SRD) เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID (Radio Frequency Identification) และเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทสื่อสารข้อมูลอื่น ตามประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน ๙๒๐ - ๙๒๕ เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันโดยไม่ได้รับการคุ้มครองการรบกวน มีกฎระเบียบสำคัญที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.2.1 ประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน ๙๒๐ - ๙๒๕ เมกะเฮิร์ตซ์

ลงประกาศ ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 [1] มีสาระสำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz สำหรับการสื่อสารที่ไม่ใช่ประเภทเสียงพูด (Non-voice communications) เท่านั้น

2) กำหนดหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID (Radio Frequency Identification) ไว้ ดังนี้

2.1) กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) ไม่เกิน 4 W

2.2) RFID ชนิดพาสซีฟทรานสปอนเดอร์หรือพาสซีฟแท็ก (Passive transponder/Passive tag) ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้ทำ มี ใช้ นำเข้า นำออก และค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และใบอนุญาตให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

2.3) RFID ชนิดอ่าน/เขียน (Interrogator/Reader) และ แอคทีฟแท็ก (Active tag) ซึ่งมีกำลังส่งไม่เกิน 50 mW (E.I.R.P.) ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้ทำ มี ใช้ นำเข้า และนำออก

ซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคมและใบอนุญาตให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม แต่ไม่ได้รับยกเว้น ใบอนุญาตให้ค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

2.4) RFID ชนิด อ่าน/เขียน และแอคทีฟแท็ก ซึ่งมีกำลังส่งไม่เกิน 500 mW (E.I.R.P.) ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้มี ใช้ และนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และใบอนุญาตให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

3) กำหนดหลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ใช่ประเภท RFID ไว้ ดังนี้

3.1) กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) ไม่เกิน 4 W

3.2) กำลังส่งไม่เกิน 50 mW (E.I.R.P.) ได้รับยกเว้น ไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้ทำ มี ใช้ นำเข้า และนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคมและใบอนุญาต ให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม แต่ไม่ได้รับยกเว้นใบอนุญาตให้ค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

3.3) กำลังส่งไม่เกิน 500 mW (E.I.R.P.) ได้รับยกเว้น ไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้ มี ใช้ และนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคมและใบอนุญาตให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม แต่ไม่ได้รับยกเว้นใบอนุญาตให้ทำ นำเข้า และค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

4) ต้องมีมาตรฐานทางเทคนิคตามที่ กสทช. กำหนด และจะต้องผ่านการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน ตามประกาศ กสทช. เรื่อง การตรวจสอบและรับรองมาตรฐานของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์

5) ไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน และหากก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้คลื่นความถี่ของข่ายสื่อสารอื่นหรือการใช้คลื่นความถี่อื่นที่ได้รับอนุญาต ผู้ใช้ต้องระงับการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นโดยทันที

2.2.2 ประกาศ กสทช. เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID

ลงประกาศ ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 [2] ระบุมาตรฐานทางเทคนิคเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ (Radio frequency requirements) สำหรับย่าน 920 - 925 MHz ที่สำคัญ ดังนี้

1) กำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจำแนกตามกำลังส่งสูงสุด (Maximum transmit power) ของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID ชนิดอ่าน/เขียน (Interrogator/Reader) และแอคทีฟแท็ก (Active tag) ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เงื่อนไขใบอนุญาตวิทยุคมนาคมของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID

กำลังส่งสูงสุด (Maximum E.I.R.P.)	เงื่อนไข
50 mW	ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้ ทำ มี ใช้ นำเข้า และนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และตั้งสถานีวิทยุคมนาคม
500 mW	ได้รับยกเว้นใบอนุญาตให้ มี ใช้ หรือนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และตั้งสถานีวิทยุคมนาคม
4 W	ต้องได้รับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง

2) กำหนดแนวทางการรับรองมาตรฐานของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แนวทางการรับรองมาตรฐานของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์

กำลังส่งสูงสุด (e.i.r.p.) / ชนิดของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID	ประเภทของการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน
ชนิดทรานสปอนเดอร์หรือชนิดอ่าน/เขียน (Interrogator/Reader) และแอคทีฟแท็ก (Active tag) กำลังส่งไม่เกิน 50 mW	ให้ใช้ SDoC
ชนิดอ่าน/เขียน (Interrogator/Reader) และ แอคทีฟแท็ก (Active tag) กำลังส่งมากกว่า 50 mW แต่ไม่เกิน 4 W	ประเภท ก

2.2.3 ประกาศ กสทช. เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ใช่ประเภท Radio Frequency Identification: RFID ซึ่งใช้คลื่นความถี่ย่าน ๙๒๐ - ๙๒๕ เมกะเฮิรตซ์

ลงประกาศ ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 [3] ให้เป็นไปตามข้อกำหนด ดังนี้

1) ขีดจำกัดการแพร่แปลกปลอมหรือการแพร่นอกย่านความถี่ใช้งาน จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขีดจำกัดการแพร่นอกย่านความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ในภาคส่งและภาครับ

	ขีดจำกัดการแพร่นอกย่านความถี่ใช้งาน (Spurious domain emission limits)	
	มาตรฐาน ETSI EN 300 220-1	มาตรฐาน Code of Federal Regulation (USA)
ภาคส่ง	-36 dBm	200 μ V/m ที่ระยะ 3 เมตร
ภาครับ	-57 dBm	

2) อัตราการครอบครองคลื่นความถี่ทางเวลา (Duty Cycle) ในรอบการทำงาน 1 ชั่วโมง และมีความกว้างของคลื่นความถี่ใช้งานไม่เกิน 500 kHz จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อัตราการครอบครองคลื่นความถี่ทางเวลา (Duty Cycle) ในรอบการทำงาน 1 ชั่วโมง และมีความกว้างของคลื่นความถี่ใช้งานไม่เกิน 500 kHz

กำลังส่งสูงสุด (Maximum E.I.R.P.)	ร้อยละของเวลาครอบครองคลื่นทางความถี่ (Percentage of the cumulative duration of transmissions)
น้อยกว่า 50 mW	1
มากกว่า 50 mW แต่ไม่เกิน 4 W	10

3) การส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่ด้วยการแผ่สเปกตรัม (Frequency Hopping Spread Spectrum: FHSS) จะต้องแสดงความเป็นไปตามมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เงื่อนไขการใช้งานตามมาตรฐานการส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่

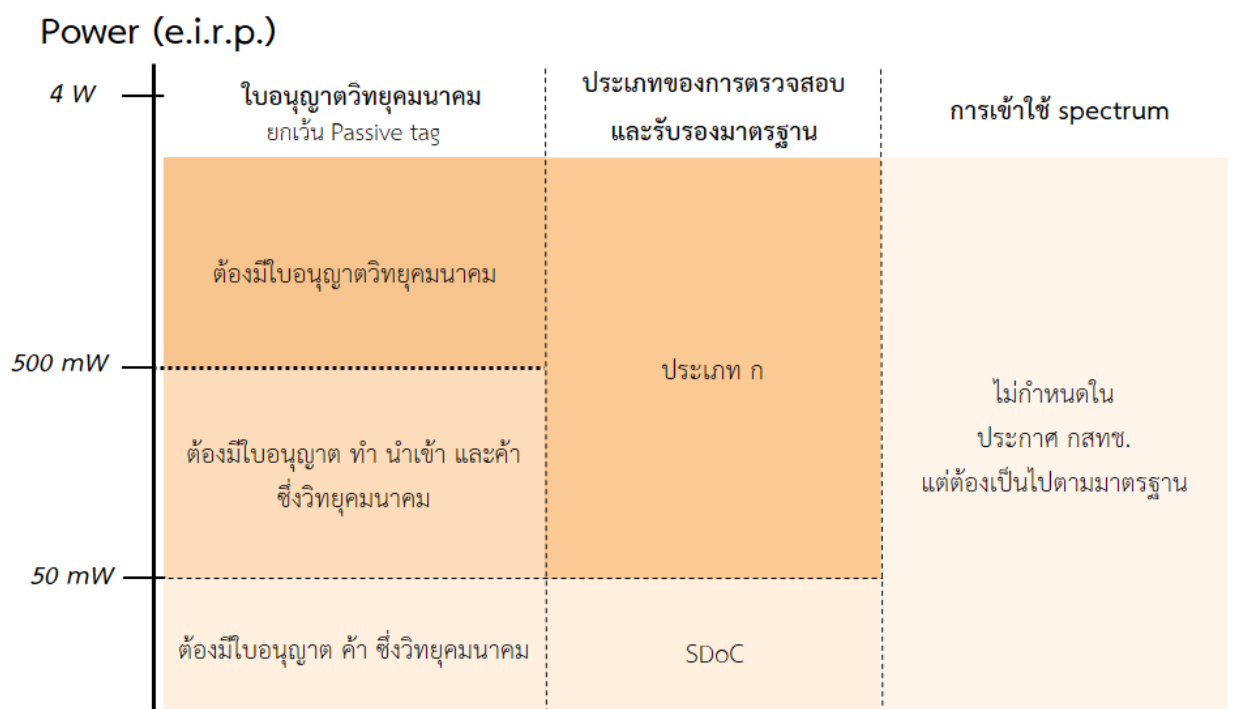
ความกว้างแถบความถี่ของช่องสัญญาณ ที่ 20 dB (20 dB bandwidth of the hopping channel)	จำนวนช่องสัญญาณ (Hopping Number)	เวลาช่องสัญญาณกดยั้ง (Dwell Time)	เงื่อนไขการใช้งาน
น้อยกว่า 250 KHz	≥ 20	0.4 วินาทีภายใน 8 วินาที	ไม่เกิน 10 % ช่วงใช้งานใน 1 ชั่วโมง
มากกว่าหรือเท่ากับ 250 KHz แต่ไม่เกิน 500 KHz	≥ 10	0.4 วินาทีภายใน 4 วินาที	ไม่เกิน 1 % ช่วงใช้งานใน 1 ชั่วโมง

4) การแสดงความสอดคล้องตามมาตรฐานทางเทคนิค ต้องเป็นไปแนวทางที่กำหนดในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แนวทางการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน

กำลังส่งสูงสุด (Maximum E.I.R.P.)	ประเภทของการตรวจสอบ และรับรองมาตรฐาน
ไม่เกิน 50 mW	ให้ใช้ SDoC
มากกว่า 50 mW แต่ไม่เกิน 4 W	ประเภท ก

จากข้อกำหนดที่สำคัญในประกาศฯ ที่เกี่ยวข้องข้างต้น สามารถสรุปหลักเกณฑ์สำหรับการยกเว้นใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง การแสดงความสอดคล้องทางเทคนิค และการเข้าใช้คลื่นความถี่ โดยแบ่งตามกำลังส่งของเครื่องวิทยุคมนาคมได้ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3 ซึ่งแสดงเงื่อนไขการกำกับดูแลดังกล่าวสำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID และที่ไม่ใช่ประเภท RFID ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 หลักเกณฑ์สำหรับการยกเว้นใบอนุญาตวิทยุคมนาคม การแสดงความสอดคล้องทางเทคนิค และการ
เข้าใช้คลื่นความถี่ โดยแบ่งตามค่ากำลังส่ง สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID



รูปที่ 2.3 หลักเกณฑ์สำหรับการยกเว้นใบอนุญาตวิทยุคมนาคม การแสดงความสอดคล้องทางเทคนิค และการ
เข้าใช้คลื่นความถี่ โดยแบ่งตามค่ากำลังส่ง สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ใช่ประเภท RFID

2.3 ประเภทของการใช้งานในปัจจุบัน

การใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ส่วนใหญ่เป็นการใช้งานในลักษณะแถบความถี่แคบ (Narrow Band) และอัตราการส่งข้อมูลต่ำ (Low bit rate) โดยทั่วไปเป็นการใช้งานอุปกรณ์ระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุหรือคลื่นความถี่ เรียกว่า RFID (Radio Frequency Identification) ร่วมกับอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น หรือ SRD (Short-Range Radio-communication Devices) และอุปกรณ์สื่อสารกำลังส่งต่ำแบบวงกว้าง หรือ LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวในหลากหลายรูปแบบเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานจนกลายเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในประเทศไทยปัจจุบัน

2.3.1 Radio Frequency Identification (RFID)

เป็นเทคโนโลยีสื่อสารระยะใกล้ที่ใช้เพื่อระบุความเป็นตัวตนของบุคคลหรือวัตถุต่าง ๆ เช่น บัตรผ่านประตูที่ใช้ระบบรักษาความปลอดภัย ป้ายติดสินค้ากันขโมย เป็นต้น การทำงานของ RFID อาศัยคลื่นความถี่เป็นพาหนะในการส่งข้อมูล มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องอ่าน/เขียน (Reader หรือ Interrogator) และแท็ก (Tag หรือ Transponder) ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการกระตุ้นแท็กด้วยคลื่นความถี่และแท็กจะส่งข้อมูลที่ใช้ในการระบุความเป็นตัวตนไปยังเครื่องอ่าน เพื่อนำไปถอดรหัสข้อมูลระบุตัวตนต่อไป โดยสามารถแบ่งแท็กออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1. พาสซีฟแท็ก (Passive Tag) สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานไฟฟ้าหรือการติดตั้งแบตเตอรี่ภายใน เนื่องจากมีวงจรกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำติดตั้งอยู่ภายใน มีระยะการอ่านข้อมูลตั้งแต่ระดับเซนติเมตรจนถึงระดับเมตร อาจมีอายุการใช้งานนานถึงสิบปี ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน และ 2. แอกทีฟแท็ก (Active Tag) ทำงานโดยอาศัยแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่ภายในแท็ก มีขนาดใหญ่กว่าแท็กชนิดพาสซีฟ มีระยะการอ่านข้อมูลไกลถึงหลักสิบลเมตร มีอายุการใช้งานประมาณ 3 ถึง 5 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ สภาพแวดล้อมและการใช้งาน

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยี RFID ให้มีความสามารถมากขึ้น โดยสามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมากขึ้น ไม่เพียงแค่ข้อมูลการระบุตัวตนเท่านั้น แต่สามารถส่งข้อมูลอื่นร่วมด้วย เช่น บัตรสมาร์ทการ์ดแบบไร้หน้าสัมผัส (Contactless Smart Card) บัตรหักเงินค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Easy Pass) เป็นต้น เทคโนโลยี RFID จึงถูกนำมาใช้อำนวยความสะดวกในการประกอบกิจกรรมทั้งในด้านคมนาคม ความมั่นคง และอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย

2.3.2 Short-Range Radio-communication Devices (SRD)

เครื่องวิทยุคมนาคมสื่อสารระยะสั้นหรือ SRD เป็นอุปกรณ์รับส่งข้อมูลที่มีโอกาสก่อให้เกิดการรบกวนต่อการใช้งานวิทยุคมนาคมอื่นได้น้อย เนื่องจากมีกำลังส่งต่ำและมีระยะการสื่อสารน้อย SRD เป็นชื่อเรียกชนิดของอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้นในภาพรวม ซึ่งไม่รวมถึงอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้นประเภท RFID ตัวอย่างอุปกรณ์ SRD ได้แก่ รีโมตควบคุม กล้องวงจรปิด ระบบบัตรผ่านประตูอัตโนมัติ ระบบบัตรจอดรถเรดาร์รถยนต์ เครื่องตรวจวัด เป็นต้น

2.3.3 Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)

LPWAN คือ การสื่อสารแบบไร้สายที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายซึ่งมีระยะการสื่อสารเป็นวงกว้าง โดยใช้พลังงานต่ำ ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกันได้ระยะไกล เป็นคุณสมบัติที่ออกแบบมาเพื่อตอบสนองการใช้งาน IoT ที่มีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์เป็นจำนวนมากหรือลักษณะการสื่อสารที่เรียกว่า mMTC (Massive Machine Type Communications) ที่อาศัยต้นทุนการผลิต การติดตั้ง และการซ่อมบำรุงต่ำ รวมถึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน LPWAN มีคุณลักษณะเฉพาะที่เด่นชัด ดังนี้

- รูปแบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะไกล
- อัตราการส่งข้อมูลต่ำ
- ใช้พลังงานต่ำ
- ต้นทุนการติดตั้งและซ่อมบำรุงต่ำ
- อายุการใช้งานยาวนาน

2.3.4 Internet of Things (IoT)

IoT คือ แนวคิดที่ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ซึ่งอุปกรณ์ IoT เหล่านี้จะมีความสามารถในการระบุตัวตน การเก็บรวบรวมข้อมูล รวมถึงการนำข้อมูลไปประมวลผลตามวัตถุประสงค์การใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ โดยอุปกรณ์เหล่านี้มีความสามารถในการทำงานร่วมกันตามมาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ ซึ่งความสามารถในการสื่อสารของอุปกรณ์เหล่านี้จะนำไปสู่นวัตกรรมและการประยุกต์ใช้ในรูปแบบใหม่ ๆ อีกมากมาย เช่น การตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้อยู่อาศัยเพื่อส่งสัญญาณเปิดหรือปิดสวิตช์ไฟตามห้องต่าง ๆ การวัดสัญญาณชีพของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุและส่งข้อมูลแจ้งไปยังหน่วยงานทางการแพทย์หรือเรียกรถฉุกเฉิน การตรวจสอบระบบการทำงานของเครื่องจักรในโรงงานอัตโนมัติโดยแจ้งไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อทำการแก้ไข การจัดการระบบจราจรอัจฉริยะเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้สัญจรบนท้องถนน เป็นต้น เป็นการอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการกิจต่าง ๆ ในประเทศทั้งในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ การแพทย์ และอื่น ๆ อีกมากมาย

ตัวอย่างการใช้งาน IoT ซึ่งกำลังอยู่ในช่วงพัฒนาเพื่อใช้ในประเทศไทย มีดังนี้

1) ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid)

ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ คือ ระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมัยใหม่ที่ใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบสื่อสารสองทางเพื่อเก็บข้อมูลมาประมวลผลและควบคุมการผลิต การส่ง และการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งช่วยให้สามารถจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีอุปกรณ์เก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าตามที่อยู่อาศัยและส่งข้อมูลไปคำนวณเพื่อประกอบการตัดสินใจสำหรับการแจกจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเมืองโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยให้การจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ รวมถึงเพิ่มความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมมากยิ่งขึ้น และตอบสนองต่อพฤติกรรมการใช้งานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามมาตรฐานสากล

2) ระบบน้ำประปาอัจฉริยะ (Smart Water)

ระบบน้ำประปาอัจฉริยะ คือ ระบบจัดการประปาสมัยใหม่ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณ ความดัน และคุณภาพของน้ำในระบบส่งน้ำประปา เพื่อส่งข้อมูลและนำไปวิเคราะห์สำหรับการปรับปรุงโครงสร้างของระบบส่งน้ำประปาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3) ระบบมาตรวัดอัจฉริยะ (Smart Meter)

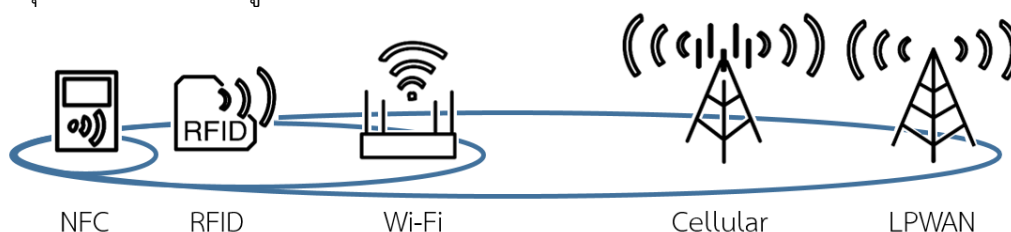
ระบบมาตรวัดอัจฉริยะ คือ ระบบมาตรวัดที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลปริมาณการใช้ งานต่าง ๆ ไปยังหน่วยงานสาธารณูปโภคโดยอัตโนมัติ อาทิ การไฟฟ้า การประปา ซึ่งอาจผนวกเข้ากับระบบ โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะและน้ำประปาอัจฉริยะเพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไปได้ เป็นการลด ค่าใช้จ่ายและทรัพยากรในการส่งผู้ปฏิบัติงานออกไปจดบันทึกปริมาณการใช้สาธารณูปโภคตามที่อยู่อาศัยและ อาคารต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากตัวอย่างข้างต้น เป็นตัวอย่างการใช้งานร่วมกับระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานของประเทศ ซึ่งกระจายไปทั่วทุกพื้นที่อาศัยหรืออาคารต่าง ๆ แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณการใช้งาน IoT ใน อนาคตจะมีโอกาสเพิ่มขึ้นมหาศาล อย่างน้อย 1 หรือ 2 การใช้งานต่อ 1 ครั้วเรือน ยังไม่รวมถึงการใช้งานอื่น ๆ ที่จะเข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิตหรือการประกอบธุรกิจต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การใช้งานใน ลักษณะมหภาคหรือร่วมกับระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานดังกล่าวอาจต้องมีการพิจารณาความเหมาะสมในการ ใช้คลื่นความถี่ร่วมกันหรือแยกออกจากการใช้งานอื่น ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบอาจเกิดขึ้นต่อการใช้งานอื่น ๆ ทั้งนี้ การใช้งาน IoT มีลักษณะการเชื่อมต่อหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบ การสื่อสารระยะสั้นหรือการสื่อสารระยะไกลก็ได้ จึงมีการนำเทคโนโลยี RFID และ LPWAN มาประยุกต์ใช้งาน อยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวมีต้นทุนต่ำและมีคุณลักษณะการใช้งานที่เหมาะสม เพื่อ ตอบสนองต่อการสื่อสารแบบ mMTC (Massive Machine Type Communications) ที่มีการเชื่อมต่อของ อุปกรณ์ปริมาณมากอันเป็นจุดเด่นของแนวคิด IoT

2.3.5 IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow)

เป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นอย่างเป็นทางการในช่วงกลางปี 2017 โดยสถาบันวิชาชีพ วิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (The Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) เพื่อ รองรับการใช้งาน IoT ต่าง ๆ ซึ่งใช้คลื่นความถี่ ISM ในย่าน UHF (920 - 925 MHz สำหรับประเทศไทย) โดยมีคุณสมบัติที่เด่นแตกต่างจากเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่ใช้คลื่นความถี่ย่านเดียวกัน คือ มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่า ซึ่งต้องอาศัยความกว้างแถบความถี่มากกว่าเทคโนโลยีอื่นด้วย แม้ว่าในปัจจุบันยังไม่ค่อยมีการใช้งาน Wi-Fi HaLow ออกมาให้เห็นนัก แต่ปริมาณการใช้งานอาจมีเพิ่มมากขึ้นตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและการ เจริญเติบโตของการประยุกต์และอุตสาหกรรมในอนาคต

โดยสรุปแล้ว การใช้งานในปัจจุบันมีทั้งการใช้งานในลักษณะการสื่อสารระยะใกล้และการสื่อสาร ระยะไกล ซึ่งสามารถเปรียบเทียบระยะการใช้งานระหว่างอุปกรณ์แต่ละประเภทได้ดังรูปที่ 2.4 โดยอุปกรณ์ที่ ใช้งานในคลื่นความถี่ช่วง 920 - 925 MHz ได้แก่ อุปกรณ์สื่อสารระยะใกล้ (SRD) อุปกรณ์ระบุตัวตน (RFID) และอุปกรณ์สื่อสารในวงกว้างโดยใช้พลังงานต่ำ (LPWAN) ทั้งนี้ อุปกรณ์ดังกล่าวล้วนเป็นที่นิยมสำหรับการ นำมาประยุกต์ใช้งาน IoT ตามรูปแบบการใช้งานที่เหมาะสม



รูปที่ 2.4 ระยะการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละประเภท

บทที่ 3

การสำรวจแนวทางการกำกับดูแลในต่างประเทศ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การกำกับดูแลในต่างประเทศ

จากการสำรวจกลุ่มประเทศในภูมิภาคเอเชียและแปซิฟิก พบว่ามีหลายประเทศกำหนดให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IoT ย่านความถี่ UHF ใน ISM Band ซึ่งเป็นย่านที่มีการตกลงกันในระดับสากล ให้ใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เป็นการสาธารณะ โดยในแต่ละประเทศมีการกำหนดช่วงความถี่ที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมในการบริหารคลื่นความถี่สำหรับแต่ละกิจการ รวมถึงการกำหนดเงื่อนไขการใช้งานอุปกรณ์ในย่านความถี่ดังกล่าว เช่น การกำหนดค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) สูงสุด หรือ ค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูล (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.R.P.) สูงสุด เป็นต้น โดยผลสำรวจการกำหนดการใช้คลื่นความถี่สำหรับ IoT ในต่างประเทศมีดังนี้

ประเทศสิงคโปร์ กำหนดให้สามารถใช้งานอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น (SRD) หรือ IoT ในช่วงความถี่ 920 - 925 MHz โดยสามารถใช้อุปกรณ์ที่มีกำลังส่ง (E.R.P.) ไม่เกิน 500 mW ได้โดยไม่ต้องขออนุญาต ซึ่งการใช้งานจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด อาทิ การแพร่แปลกปลอมไม่เกินค่าที่กำหนด และให้ใช้มาตรฐานการวัดตาม FCC Part 15 §15.249 โดยคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร (Federal Communications Commission: FCC) และ ANSI C63.10-2013 โดยสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (American Engineering Standards Committee: ANSI) สำหรับการใช้งานอุปกรณ์ที่มีกำลังส่ง (E.R.P.) สูงกว่า 500 mW แต่ไม่เกิน 2 W สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องขออนุญาตหน่วยงานผู้กำกับดูแล และให้ใช้มาตรฐานการวัดตาม FCC Part 15 §15.249 และ ANSI C63.10- 2013 หรือ EN 300 220-1 หรือ EN 302 208 [4]

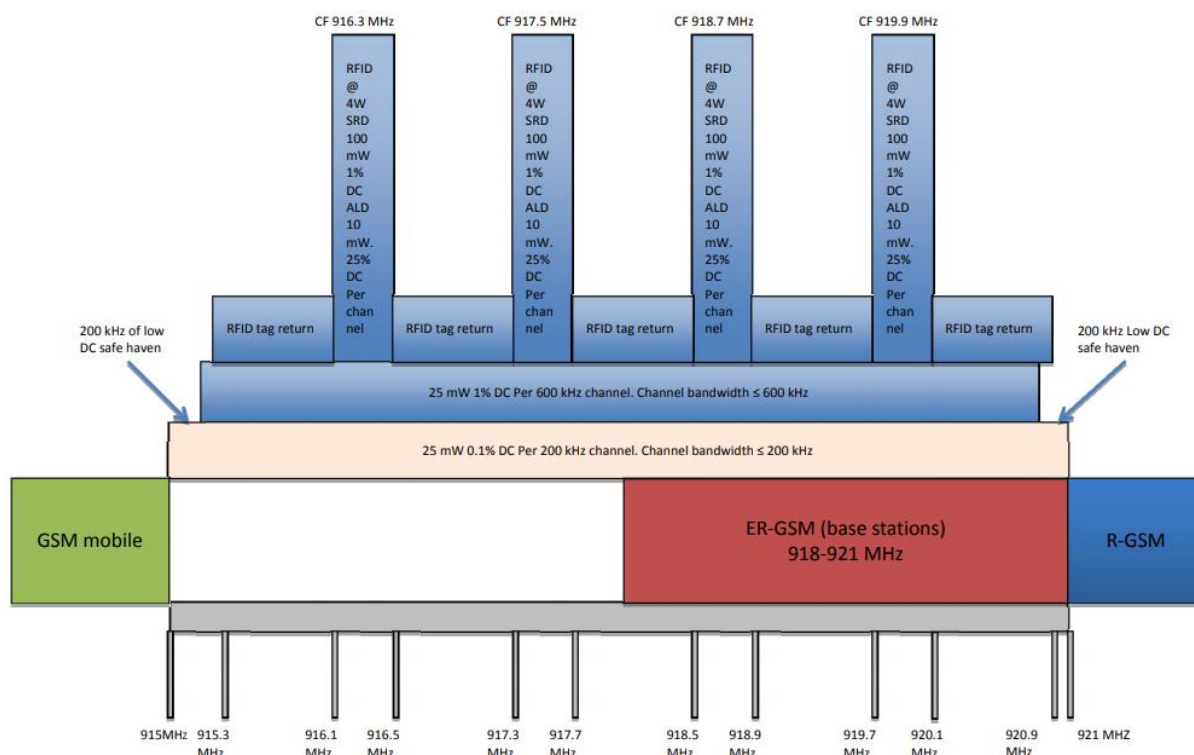
ประเทศฮ่องกง กำหนดให้สามารถใช้งาน IoT ในช่วงความถี่ 920 - 925 MHz และให้เข้าใช้คลื่นความถี่ด้วยวิธี Frequency-hopping spread spectrum (FHSS) ด้วยกำลังส่ง (E.I.R.P.) ไม่เกิน 4 W และมีความกว้างของช่องสัญญาณที่ 20 dB (20 dB bandwidth of the hopping channel) ไม่เกิน 500 kHz โดยอุปกรณ์ที่ใช้งานต้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยจากการแผ่คลื่นต่อสุขภาพมนุษย์ ANSI/IEEE C95.1 “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz” โดยสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (American Engineering Standards Committee: ANSI) หรือโดยสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (The Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) หรือมาตรฐานค่าจำกัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)” โดยคณะกรรมการการระหว่างประเทศด้านการป้องกันรังสีชนิดไม่ก่อไอออน (The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: ICNIRP) [5]

ประเทศญี่ปุ่น กำหนดให้ใช้งานในช่วงความถี่ 920.5 - 923.5 MHz โดยกำหนดค่ากำลังส่ง (E.I.R.P.) ไม่เกิน 250 mW ด้วยการแพร่แปลกปลอมไม่เกิน -29 dBm ที่ความกว้างแถบความถี่อ้างอิง (Reference Bandwidth) 100 kHz และให้ใช้คลื่นความถี่ด้วยเทคนิค Listen Before Talk (LBT) รวมถึงกำหนดระยะเวลาการส่ง (Sending duration) และระยะเวลาพัก (Pause duration) ซึ่งเรียกโดยรวมว่าการควบคุมการส่ง (Sending Control) นอกจากนี้ประเทศญี่ปุ่นยังมีการศึกษาเงื่อนไขทางเทคนิคสำหรับการใช้งานเพิ่มเติม อาทิ

การใช้ Frequency hopping ในช่วงความถี่ 918 - 928 MHz เพื่อขยายความสามารถในการรองรับการใช้งาน IoT ที่เพิ่มขึ้นในอนาคตอีกด้วย [6]

ประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ กำหนดให้ใช้ IoT ในช่วงความถี่ 915 - 928 MHz โดยประเทศออสเตรเลียอนุญาตให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ที่มีกำลังส่ง (E.I.R.P.) ไม่เกิน 3 mW ได้สำหรับอุปกรณ์ทุกประเภท แต่สำหรับอุปกรณ์ประเภท Wi-Fi หรือ RLAN ที่ใช้เทคนิค Frequency Hopping หรือ Digital Modulation ให้ใช้งานด้วยกำลังส่งไม่เกิน 1 W และกำหนดให้ใช้งานอุปกรณ์ประเภท RFID ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 4 W ได้ในช่วงความถี่ 920 - 926 MHz [7] ปัจจุบันประเทศออสเตรเลียกำลังอยู่ระหว่างการศึกษาค้นคว้าความถี่ช่วง 928 - 935 MHz สำหรับขยายช่วงความถี่เพื่อรองรับการใช้งาน IoT ในอนาคต ส่วนประเทศนิวซีแลนด์กำหนดค่ากำลังส่ง (E.I.R.P.) ไม่เกิน 1 W สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้เทคนิค Frequency Hopping หรือ Digital Modulation และไม่เกิน 4 W สำหรับอุปกรณ์ที่มีการแพร่กระจายความถี่ (Unwanted Emissions) ออกไปในช่วง 800 - 915 MHz ไม่เกิน -49 dBm และการแพร่กระจายความถี่ออกไปในช่วง 928 MHz - 1 GHz ไม่เกิน -33 dBm [8]

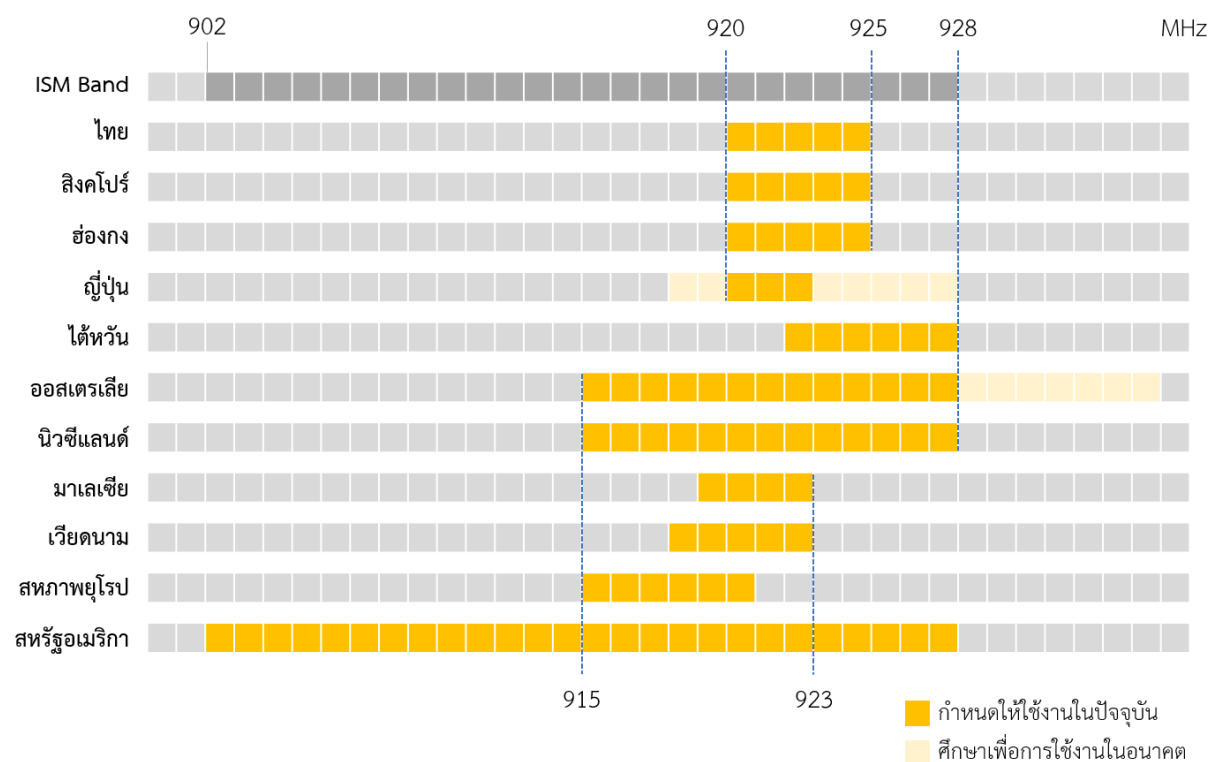
สหภาพยุโรป กำหนดให้ใช้งานในช่วงความถี่ 915 - 921 MHz รวมถึงมีการกำหนดระยะเวลาการครอบครองคลื่นความถี่ (Duty Cycle) และความกว้างแถบความถี่ใช้งาน (Bandwidth) โดยอนุญาตให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ที่มีกำลังส่ง (E.R.P.) ไม่เกิน 25 mW ได้ทุกประเภทในช่วงความถี่ดังกล่าว และอนุญาตให้ใช้งานอุปกรณ์ประเภท RFID ใช้งานที่ความถี่กลาง 916.3 MHz 917.5 MHz และ 918.7 MHz ด้วยกำลังส่งไม่เกิน 4 W ดังแสดงในรูปที่ 3.1 นอกจากนี้ยังกำหนดให้อุปกรณ์ที่มี Adaptive Power Control (APC) และมีความกว้างแถบความถี่ที่สหภาพยุโรปกำหนด สามารถใช้งานในช่วงความถี่ 917.3 - 917.7 MHz และ 918.5 - 918.9 MHz ด้วยกำลังส่งไม่เกิน 500 mW [9]



รูปที่ 3.1 แผนคลื่นความถี่ย่าน 915 - 921 MHz ตาม ECC Report 189 [10]

สหรัฐอเมริกา กำหนดให้ใช้งานเต็มช่วงความถี่ ISM Band คือ 902 - 928 MHz โดยกำหนดให้ใช้เทคนิค FHSS ในการใช้คลื่นความถี่ซึ่งกำหนดตามความกว้างของช่องสัญญาณที่ 20 dB (20 dB bandwidth of the hopping channel) และมีกำลังส่งจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศไม่เกิน 1 W และกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (E.I.R.P.) ของอุปกรณ์ไม่เกิน 4 W รวมถึงมีการควบคุมค่าจำกัดการแพร่ที่ไม่เจตนา (Unintentional radiated emission limits) ในระบบและการแพร่ในรูปแบบต่าง ๆ ตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง [11]

จากข้อมูลการสำรวจข้างต้น สามารถสรุปการใช้คลื่นความถี่สำหรับ IoT ในแต่ละประเทศได้ดังรูปที่ 3.2 และการกำหนดค่ากำลังส่งออกอากาศสูงสุดสำหรับอุปกรณ์ IoT ในช่วงความถี่ดังกล่าว รวมถึงเทคนิคการใช้คลื่นความถี่ในประเทศต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.1



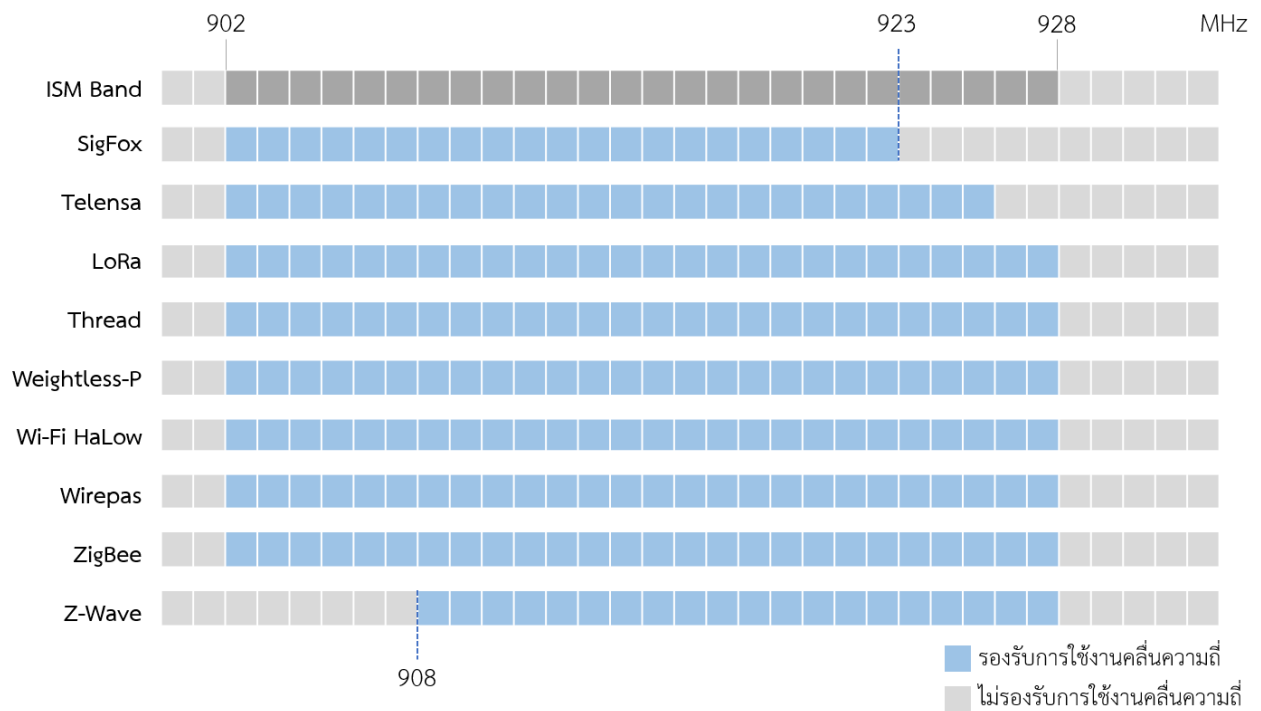
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างช่วงความถี่สำหรับการใช้งาน IoT ในย่าน UHF ในต่างประเทศ

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการกำหนดค่ากำลังส่งออกอากาศสูงสุดและการเข้าใช้คลื่นความถี่สำหรับอุปกรณ์ IoT ในแต่ละประเทศ

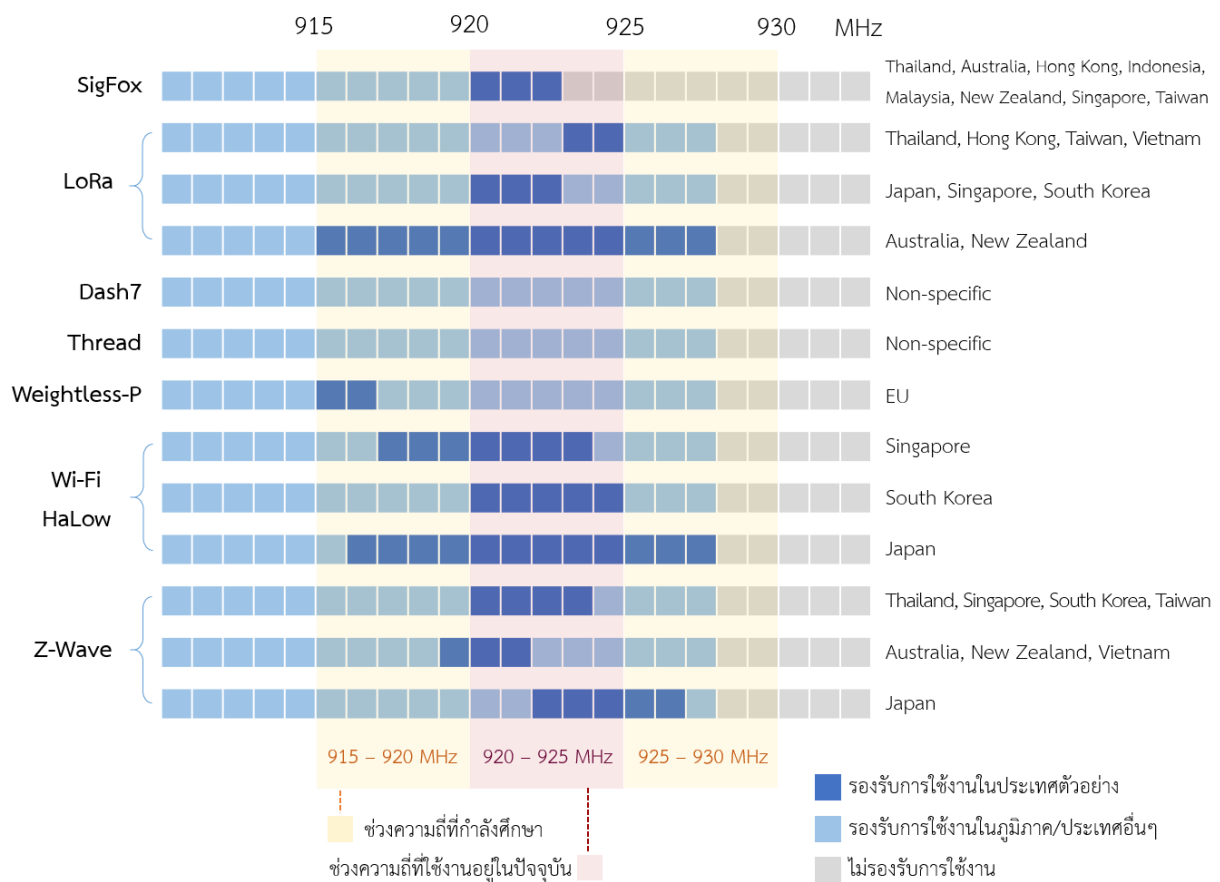
ประเทศ	ช่วงความถี่	ค่าจำกัดกำลังส่ง	การเข้าใช้คลื่นความถี่
ไทย	920 - 925 MHz	4 W. (E.I.R.P.)	FHSS หรือ Duty Cycle
สิงคโปร์	920 - 925 MHz	2 W. (E.R.P.)	FHSS
ฮ่องกง	920 - 925 MHz	4 W. (E.I.R.P.)	FHSS
ญี่ปุ่น	920.5 - 923.5 MHz	250 mW. (E.I.R.P.)	LBT และ Duty Cycle
ไต้หวัน	922 - 928 MHz	1 W. (E.R.P.)	FHSS
ออสเตรเลีย	915 - 928 MHz	1 W. (E.I.R.P.) 4 W. (E.I.R.P.)	FHSS Unwanted emission limit
นิวซีแลนด์	915 - 928 MHz	1 W. (E.I.R.P.)	FHSS หรือ digital modulation
มาเลเซีย	919 - 923 MHz	2 W. (E.R.P.)	FHSS
เวียดนาม	918 - 923 MHz	25 mW. (E.R.P.)	Duty Cycle
สหภาพยุโรป	915 - 921 MHz	25 mW. (E.R.P.) 500 mW. (E.R.P.) 4 W. (E.R.P.)	Duty Cycle และ Bandwidth
สหรัฐอเมริกา	902 - 928 MHz	4 W. (E.I.R.P.)	FHSS และ Duty Cycle

3.2 การสำรวจเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีที่มีการออกแบบสำหรับใช้งาน IoT ในระดับสากล ปัจจุบันให้การรองรับการใช้งานบนคลื่นความถี่ตั้งแต่ 902 - 928 MHz ตามย่านความถี่ ISM สำหรับประเทศในภูมิภาคที่ 2 และ 3 ตามภูมิภาคของ ITU ดังตัวอย่างเทคโนโลยีที่มีการรองรับคลื่นความถี่ดังกล่าวซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2 อย่างไรก็ตามแต่ละเทคโนโลยีมีการกำหนดแผนความถี่ตั้งต้นสำหรับการใช้งานในแต่ละประเทศ โดยปรับให้มีความสอดคล้องกับการกำกับดูแลด้านการใช้คลื่นความถี่สำหรับ IoT ในประเทศนั้น ๆ ซึ่งจากตัวอย่างเทคโนโลยีในรูปที่ 3.3 สามารถแสดงแผนความถี่ตั้งต้นในช่วง 915 - 930 MHz สำหรับการใช้งานในแต่ละประเทศได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างเทคโนโลยีที่ให้การรองรับการใช้คลื่นความถี่ ISM



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างแผนความถี่ตั้งต้นของเทคโนโลยีสำหรับการใช้งานในต่างประเทศ

จากข้อมูลการสำรวจข้างต้น จะเห็นว่ามีหลายเทคโนโลยีที่มีความถี่ตั้งต้นอยู่ในช่วงความถี่ที่กำลังศึกษา (915 - 920 MHz และ 925 - 930 MHz) เช่น LoRa Weightless-P Wi-Fi HaLow และ Z-wave เป็นต้น ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่าการขยายคลื่นความถี่ในช่วงดังกล่าวที่อาจเกิดขึ้นนั้น มีเทคโนโลยีในตลาดสากลให้การรองรับการใช้งานอยู่ อย่างไรก็ตาม ในบางเทคโนโลยีที่มีการนำเข้าไปในแต่ละประเทศอาจมีความสามารถในการปรับหรือตั้งค่าการใช้คลื่นความถี่ให้มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของการกำกับดูแลในประเทศนั้น ๆ ได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ในเทคโนโลยีต่าง ๆ

บทที่ 4

ผลสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในประเทศไทย

ในการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงแนวทางการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ต้องอาศัยการพิจารณาความจำเป็นในการปรับปรุงดังกล่าว ดังนั้นความต้องการและความคิดเห็นต่อการใช้คลื่นความถี่และการปรับปรุงคลื่นความถี่ดังกล่าวจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหรือผู้เกี่ยวข้องจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการศึกษานี้ แม้ว่าปริมาณการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีนวัตกรรมใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 จนกระทั่งประเทศไทยเข้าสู่ยุคที่มีการใช้ IoT อย่างแพร่หลาย การสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวจะช่วยให้การศึกษาเป็นไปในทิศทางที่เหมาะสมและสอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริงในประเทศไทยมากยิ่งขึ้น โดยวิธีที่ใช้ในการสำรวจความคิดเห็นในการศึกษานี้ ได้แก่ การใช้แบบสำรวจความคิดเห็น และการจัดประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในเรื่องดังกล่าว

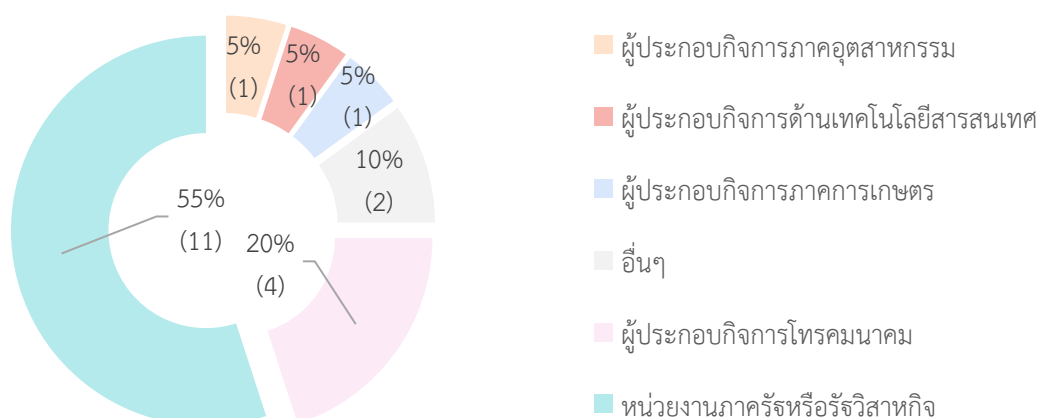
4.1 การสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยใช้แบบสำรวจ

ในการสำรวจความคิดเห็นด้วยแบบสำรวจในการศึกษานี้ ได้มีการส่งแบบสำรวจความคิดเห็นเรื่อง สถานะการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในประเทศไทย และความเป็นไปได้ในการขยายคลื่นความถี่เพื่อใช้เป็นการทั่วไปในอนาคต ไปยัง 56 หน่วยงานซึ่งเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหรือมีโอกาสเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากการปรับปรุงแนวทางการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวในอนาคต ซึ่งสามารถจำแนกหน่วยงานออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ หน่วยงานรัฐและรัฐวิสาหกิจ ผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมแบบที่สองที่มีโครงข่ายและแบบที่สาม ผู้ผลิตอุปกรณ์ สถาบันการศึกษา และสมาคมที่เกี่ยวข้อง โดยมีผลการสำรวจ ดังนี้

4.1.1 หน่วยงานผู้ตอบแบบสำรวจ

มีผู้ตอบแบบสำรวจรวมทั้งสิ้น 20 หน่วยงาน จำแนกออกเป็น หน่วยงานภาครัฐหรือรัฐวิสาหกิจ จำนวน 11 หน่วยงาน ผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคม จำนวน 4 หน่วยงาน ผู้ประกอบกิจการด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 1 หน่วยงาน ผู้ประกอบกิจการภาคการเกษตร จำนวน 1 หน่วยงาน ผู้ประกอบกิจการภาคอุตสาหกรรม จำนวน 1 หน่วยงาน หน่วยงานประเภทอื่นๆ จำนวน 2 หน่วยงาน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละดังแสดงในรูปที่ 4.1

ประเภทหน่วยงานที่สำรวจ

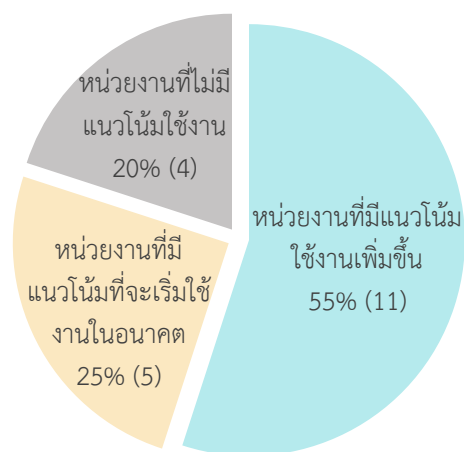


รูปที่ 4.1 สัดส่วนของประเภทหน่วยงานผู้ทำแบบสำรวจความคิดเห็น

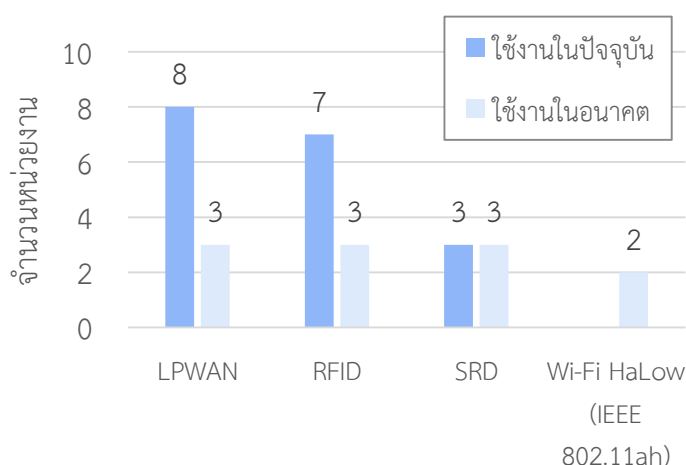
4.1.2 แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในอนาคต

จากการสำรวจพบว่า มีหน่วยงานที่ใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในปัจจุบันและมีแนวโน้มที่จะใช้งานเพิ่มมากขึ้นอีกในอนาคต จำนวน 11 หน่วยงาน คิดเป็นร้อยละ 55 ของหน่วยงานทั้งหมด และหน่วยงานที่เหลืออีกร้อยละ 45 แบ่งออกเป็น หน่วยงานที่มีแนวโน้มที่จะเริ่มใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว ในอนาคต จำนวน 5 หน่วยงาน และหน่วยงานที่ไม่มีแนวโน้มที่จะใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว จำนวน 4 หน่วยงาน ซึ่งการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว เป็นการใช้งานโดยอุปกรณ์ประเภท LPWAN RFID SRD และ Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah) ที่จะเข้ามาในอนาคต สัดส่วนของแนวโน้มการใช้งานและประเภทของอุปกรณ์ที่มีการใช้งานแสดงดังรูปที่ 4.2

แนวโน้มของปริมาณการใช้งาน
คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz



เทคโนโลยีที่ใช้งานในคลื่นความถี่
ย่าน 920 - 925 MHz

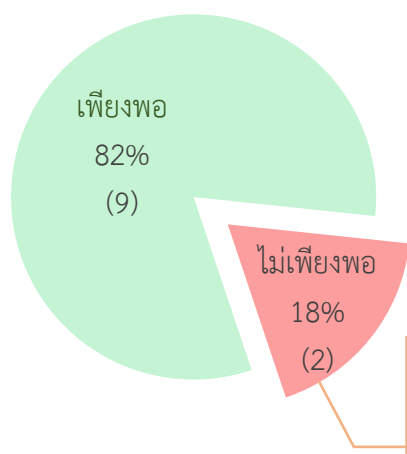


รูปที่ 4.2 สัดส่วนแนวโน้มการใช้งานและประเภทอุปกรณ์ที่ใช้งานในคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz

4.1.3 ความเพียงพอต่อการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz

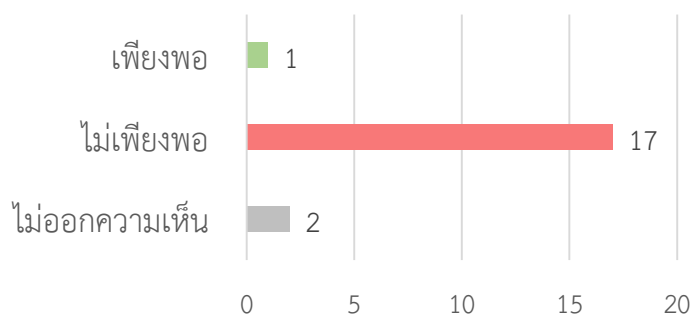
จากผลการสำรวจการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในปัจจุบัน พบ 2 หน่วยงาน จากทั้งหมด 20 หน่วยงาน เคยประสบปัญหาความไม่เพียงพอต่อการและการรบกวนจากการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว และได้รับความคิดเห็นเกี่ยวกับความเพียงพอต่อการใช้งานคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในอนาคต ดังแสดงในรูปที่ 4.3

ความเพียงพอต่อการใช้คลื่นความถี่
ย่าน 920 - 925 MHz สำหรับผู้ใช้ปัจจุบัน



- หน่วยงานภาครัฐหรือรัฐวิสาหกิจ
- หน่วยงานประเภทอื่น ๆ

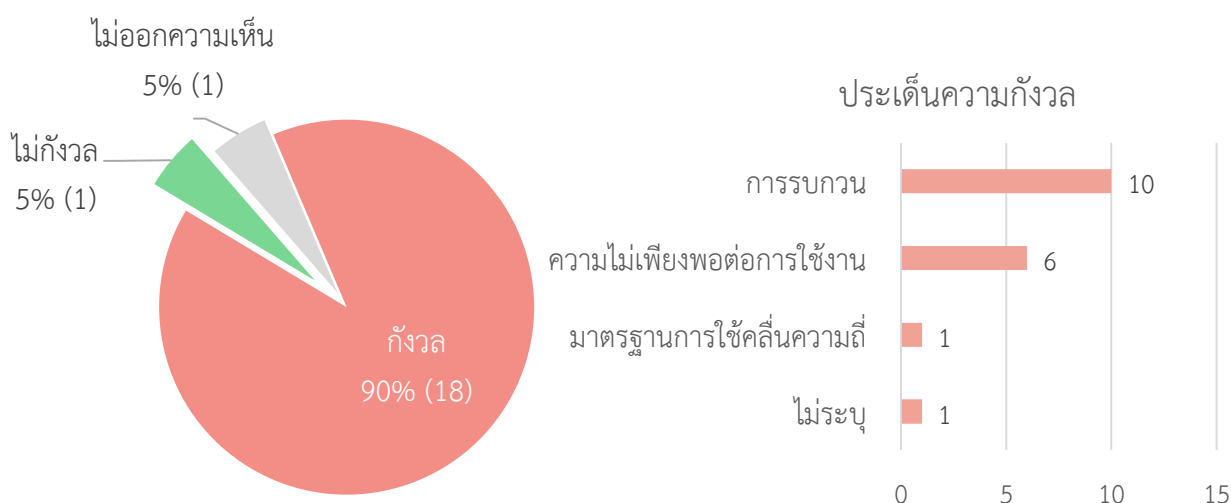
ความคิดเห็นเกี่ยวกับความเพียงพอต่อการใช้
คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในอนาคต



รูปที่ 4.3 ความเห็นเกี่ยวกับความเพียงพอต่อการใช้งานคลื่นความถี่ในปัจจุบันและในอนาคต

ซึ่งผู้ตอบแบบสำรวจส่วนใหญ่มีความกังวลต่อการใช้คลื่นความถี่ย่านดังกล่าวในอนาคต ในประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ การรบกวนจากความแออัดของการใช้คลื่นความถี่ ความไม่เพียงพอต่อการใช้คลื่นความถี่จากปริมาณการใช้งานที่เพิ่มขึ้นทั้งในลักษณะการใช้งานทั่วไปและการขยายตัวของธุรกิจ มาตรฐาน และข้อกำหนดการใช้ความถี่และอุปกรณ์ในย่านความถี่ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.4

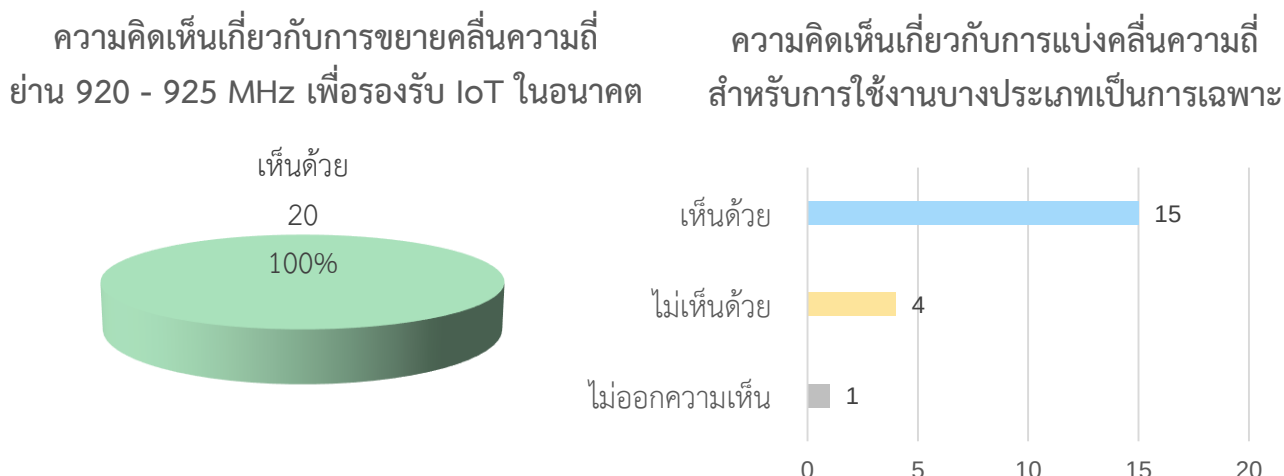
ความกังวลต่อการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz
จากการใช้งาน IoT ที่เพิ่มขึ้นในอนาคต



รูปที่ 4.4 ความกังวลต่อการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz จากการใช้งาน IoT ที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

4.1.4 การขยายคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz

ผลการสำรวจพบว่าทุกหน่วยงานมีความเห็นให้มีการขยายคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz เพื่อรองรับการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต รวมถึงหน่วยงานส่วนใหญ่เห็นด้วยให้มีการแบ่งคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานบางประเภทเป็นการเฉพาะ เพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อการใช้งานอื่นในคลื่นความถี่เดียวกัน ซึ่งมีจำนวน 15 หน่วยงาน จากทั้งหมด 20 หน่วยงาน โดยแสดงสัดส่วนการออกความคิดเห็นดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความเห็นเกี่ยวกับการขยายคลื่นความถี่และการแบ่งคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานบางประเภท

4.1.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากผู้ตอบแบบสำรวจ

ในการศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการขยายคลื่นความถี่ ได้รับข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการสำรวจความคิดเห็นต่อการศึกษาดังกล่าวซึ่งสรุปได้ดังนี้

- 1) สำนักงาน กสทช. ควรเพิ่มความเข้มงวดในการบังคับใช้มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และควรมีการสุ่มตรวจสอบความสอดคล้องกับมาตรฐานในท้องตลาด เพื่อลดปัญหาการรบกวนจากการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน
- 2) สำนักงาน กสทช. ควรศึกษาผลกระทบจากการขยายคลื่นความถี่ย่านดังกล่าวให้รอบด้าน โดยให้มีการศึกษาและทดลอง/ทดสอบข้อจำกัดต่าง ๆ และศึกษาแนวโน้มของเทคโนโลยีในอนาคต เพื่อประกอบการพิจารณากำหนดกรอบการขยายคลื่นความถี่ดังกล่าวให้ครอบคลุมสำหรับการใช้งานเป็นการทั่วไปในอนาคต รวมถึงปรับปรุงกฎระเบียบด้านวิทยุคมนาคมของประเทศ ให้มีความสอดคล้องกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยี และสอดคล้องกับข้อกำหนดสากล
- 3) สำนักงาน กสทช. ควรส่งเสริมให้มีการใช้งาน IoT และ LPWAN เพิ่มมากขึ้นทั้งในคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz และย่านอื่นที่กำหนดให้สามารถใช้งานร่วมกันเป็นการทั่วไป
- 4) สำนักงาน กสทช. ควรพิจารณาผลกระทบอันเกิดจากการลดแถบความถี่ป้องกัน (Guard Band) ทั้งในย่าน 915 - 920 MHz และ 925 - 930 MHz ซึ่งอาจก่อให้เกิดการรบกวนการใช้งานต่อผู้ได้รับใบอนุญาตหรือรับการจัดสรรคลื่นความถี่ จากการใช้คลื่นความถี่ที่มีการอนุญาตให้ใช้งานเป็นการทั่วไป กรณีสำนักงาน กสทช. พิจารณาแล้วมีความจำเป็นต้องขยายคลื่นความถี่ย่านดังกล่าว
- 5) สำนักงาน กสทช. ควรพิจารณาลดขั้นตอนหรือกระบวนการขออนุญาตการใช้อุปกรณ์ในคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถนำเข้าและขายสินค้าได้เร็วขึ้น เนื่องจากในปัจจุบันต้องปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้ (1) ขอรับรองมาตรฐาน (2) ขอบัญชีนำเข้า (3) นำอุปกรณ์มาตรวจ

ลักษณะทางวิชาการ (4) รับบัญชีเครื่องวิทยุคมนาคม (5) ผู้ใช้ขอใบอนุญาตใช้ (6) ผู้ใช้ขอใบอนุญาตตั้ง (7) ผู้นำเข้า/ค้า รายงานการจำหน่าย หรือ บัญชีเครื่องวิทยุคมนาคม ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะต้องยื่นคำขอและเอกสารซ้ำทุกครั้ง และอาศัยระยะเวลานาน

4.2 การสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group)

ในการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและผู้เกี่ยวข้องต่อการศึกษาการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz มีการนำเสนอสรุปผลการสำรวจความคิดเห็น เรื่อง สถานะการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในประเทศไทย และความเป็นไปได้ในการขยายคลื่นความถี่เพื่อการใช้งานเป็นการทั่วไปในอนาคต ที่ส่งไปยังหน่วยงานต่าง ๆ ตามข้อ 4.1 และประเด็นการประชุมกลุ่มย่อยที่สำคัญ อาทิ ผลการสำรวจแนวทางกำกับดูแลอุปกรณ์ IoT ในต่างประเทศและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ผลการสำรวจความต้องการใช้งานคลื่นความถี่ในประเทศไทย การวิเคราะห์การรบกวนกรณีที่มีการขยายคลื่นความถี่ และแนวทางการขยายคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ซึ่งได้ผลสรุปความคิดเห็นจากการประชุมกลุ่มย่อย ดังนี้

4.2.1 การสำรวจความคิดเห็น

การพิจารณาผลสำรวจความคิดเห็นเพื่อประกอบการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz โดยแยกกลุ่มประเภทธุรกิจ เช่น กลุ่มผู้ผลิต (Manufacturers) กลุ่มผู้ประดิษฐ์คิดค้น (Makers) กลุ่มบริการระบบสาธารณูปโภค (Utilities) กลุ่มผู้ใช้งานระดับภายในองค์กร (Enterprises) เป็นต้น และเพิ่มจำนวนการสำรวจความคิดเห็น จะทำให้ได้ผลการศึกษาที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการในประเทศไทยมากยิ่งขึ้น

4.2.2 การวิเคราะห์การรบกวน

การรบกวนจากการใช้งาน IoT ไปยังการใช้ GSM-R กรณีขยายคลื่นความถี่จาก 925 MHz ให้สูงขึ้น อาจมีความเป็นไปได้ต่ำ เนื่องจากระดับกำลังส่งของสถานีฐานที่ใช้ในระบบ GSM-R สูงกว่าระดับกำลังส่งที่ใช้ใน IoT มาก และเป็นคลื่นความถี่ Downlink จึงอาจมีความเป็นไปได้ที่จะขยายคลื่นความถี่จาก 925 MHz ให้สูงขึ้นเพื่อใช้งานเป็นการทั่วไปได้ ก่อนพิจารณาขยายคลื่นความถี่จาก 920 MHz ลงไป อย่างไรก็ตาม อาจต้องมีการกำหนดกฎเกณฑ์เกี่ยวกับระยะห่าง (Protection Distance) ในการใช้งานบริเวณรางรถไฟหรือสถานีรถไฟ เพื่อป้องกันการรบกวนจากการใช้งาน IoT ไปยังเครื่องลูกข่าย GSM-R ในบริเวณใกล้เคียง

ทั้งนี้ การวิเคราะห์การรบกวนจากการใช้งานที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีการขยายคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz จะมีสิทธิภาพมากขึ้นหากสามารถทำการทดลอง/ทดสอบจริง และทำให้สามารถตัดสินใจเลือกแนวทางการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ได้อย่างเหมาะสม

4.2.3 การแบ่งคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานบางประเภทเป็นการเฉพาะ

การใช้งาน IoT ด้วยระบบสาธารณูปโภคมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นและใช้งานอย่างหนาแน่น โดยอาจมีรอบการใช้คลื่นความถี่ประมาณ 1 ชั่วโมงต่อการส่งข้อมูล 1 ครั้งจากทุก ๆ อุปกรณ์ หรืออาจมีรอบการใช้คลื่นความถี่ประมาณ 1 วัน ต่อการส่งข้อมูล 1 ครั้ง ซึ่งเป็นปริมาณมหาศาลเนื่องจากมีอุปกรณ์

เป็นจำนวนมาก จึงคาดการณ์ว่าอาจมีความจำเป็นต้องใช้คลื่นความถี่ในช่วงอื่นในลักษณะการขอรับการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานในลักษณะดังกล่าว

4.2.4 ความพร้อมด้านเทคโนโลยี

อุปกรณ์ในท้องตลาดมีความสามารถรองรับการใช้คลื่นความถี่ได้ตั้งแต่ 902 - 928 MHz ตาม ISM band แม้ว่าอุปกรณ์จากผู้ผลิตบางรายมีการตั้งค่าให้ใช้คลื่นความถี่ตั้งแต่ 920 - 925 MHz สำหรับประเทศไทยอยู่แล้ว แต่สำหรับอุปกรณ์ที่มีการนำเข้าในบริเวณประเทศใกล้เคียงกับประเทศไทยส่วนใหญ่ที่มีการตั้งค่าให้ใช้คลื่นความถี่ตั้งต้นนอกเหนือจาก 920 - 925 MHz นั้นจะเริ่มต้นที่ 918 หรือ 919 - 925 MHz เช่น ประเทศมาเลเซีย ประเทศเวียดนาม เป็นต้น ซึ่งหากประเทศไทยนำเข้าอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องผ่านการปรับแต่งการใช้ความถี่ให้เป็น 920 - 925 MHz ก่อน เพื่อให้สามารถใช้งานตามกฎระเบียบปัจจุบันได้ และการปรับแต่งนี้จะเป็นการเพิ่มต้นทุนด้านอุปกรณ์ให้สูงขึ้นด้วย ดังนั้นการรองรับอุปกรณ์ที่มีการผลิตจำนวนมากเพื่อให้สามารถใช้งานในหลากหลายประเทศรวมกันจะทำให้มีต้นทุนด้านอุปกรณ์ที่ต่ำกว่าตามหลักความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือการประหยัดต่อขนาด (Economies of Scale) ส่วนในกรณีอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นความถี่สูงกว่า 925 MHz ขึ้นไป พบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้คลื่นความถี่ตั้งแต่ช่วง 902 MHz (902 - 928 MHz) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการใช้งานประเทศไทย จึงสนับสนุนให้มีการขยายคลื่นความถี่เฉพาะฝั่งที่ต่ำกว่า 920 MHz เช่น 918 หรือ 919 - 925 MHz

4.2.5 ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ย่าน 930 - 935 MHz ในอนาคต

ในปัจจุบันยังไม่มีการใช้คลื่นความถี่ย่าน 930 - 935 MHz ซึ่งเป็นย่านที่ติดกับคลื่นความถี่ที่กำลังศึกษา โดยเงื่อนไขการใช้คลื่นความถี่ย่านดังกล่าวสำหรับระบบ GSM-R จะต้องมีการลงนามในสัญญาเพื่อดำเนินการระบบอาณัติสัญญาณของระบบคมนาคมขนส่งทางรางซึ่งใช้งานคลื่นความถี่ 885 - 890 / 930 - 935 MHz ภายในปี 2563 มิเช่นนั้นคลื่นความถี่ดังกล่าวจะถูกกำหนดให้ใช้งานสำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) [12]

การรถไฟแห่งประเทศไทยได้มีการลงนามในสัญญาจ้างงานระบบราง ระบบไฟฟ้าและเครื่องกล เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2563 เรียบร้อยแล้ว และมีโครงการจัดทำมาตรฐานระบบรถไฟและระบบอาณัติสัญญาณของรถไฟระหว่างเมือง รวมถึงการพิจารณาความเหมาะสมในการพัฒนาระบบควบคุมให้เป็นระดับที่ 2 (ระบบควบคุมอัตโนมัติ) ในอนาคต การใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบรถไฟความเร็วสูงไทย-จีน และรถไฟความเร็วสูงเชื่อมสามสนามบินใช้ระบบ GSM-R ในการควบคุมอัตโนมัติ ส่วนรถไฟในบริเวณตัวเมืองจะใช้ระบบ CBTC (Communications-Based Train Control) สำหรับระบบอาณัติสัญญาณซึ่งไม่ได้ใช้คลื่นความถี่ย่านดังกล่าว

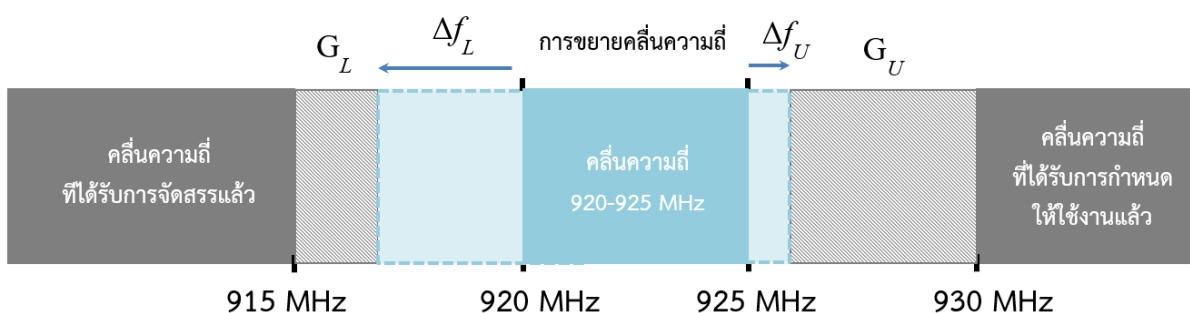
บทที่ 5

การวิเคราะห์ทางเทคนิคเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz

5.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หนึ่งในคำถามสำคัญสำหรับการศึกษา (Problem Statement) ที่กำหนดไว้ในขอบเขตของการศึกษา ในหัวข้อ 1.3 ของรายงานการศึกษานี้ คือ ควรปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz โดยกำหนดให้ขยายคลื่นความถี่ดังกล่าวออกไปจากที่เดิมกำหนดไว้เท่าไร จึงเพียงพอต่อการรองรับความต้องการใช้งาน เทคโนโลยีที่แตกต่างหลากหลายในปัจจุบันและอนาคต ในขณะที่ยังมีแถบความถี่ป้องกัน (Guard Band) เพียงพอที่จะช่วยให้อุปกรณ์การรบกวนให้อยู่ในระดับที่สามารถใช้งานร่วมกับระบบในย่านความถี่ข้างเคียงได้

ทั้งนี้ กำหนดให้ ช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมด้านต่ำกว่าความถี่ 920 MHz และช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมด้านสูงกว่าความถี่ 925 MHz แทนด้วย Δf_L และ Δf_U ตามลำดับ ในขณะที่ G_L คือ แถบความถี่ป้องกันระหว่างช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมด้านต่ำและความถี่ 915 MHz และ G_U คือ แถบความถี่ป้องกันระหว่างช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมด้านสูงและความถี่ 930 MHz รายละเอียดปรากฏดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การใช้คลื่นความถี่ 920 - 925 MHz ในปัจจุบันและแนวทางการขยายความถี่ใช้งานเพิ่มเติม

การกำหนดช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมและแถบความถี่ป้องกันที่เหมาะสมดังกล่าว สามารถใช้ข้อมูลที่ใช้คลื่นความถี่ของเทคโนโลยีใหม่ที่มีอยู่ในประเทศไทยและต่างประเทศ ซึ่งได้รับการสำรวจและรายงานไว้ในบทที่ 3 และผลสำรวจความคิดเห็นของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในประเทศไทยในบทที่ 4 มาประกอบการพิจารณาค่าที่เหมาะสมได้

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการใช้งานคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz และคลื่นความถี่ข้างเคียงในประเทศไทยอาจมีความแตกต่างกับต่างประเทศ การอาศัยเพียงข้อมูลจากผลการสำรวจดังกล่าวอาจไม่เพียงพอต่อการกำหนดช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมและหลักเกณฑ์ทางเทคนิคที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ไม่ให้เกิดการรบกวนในระดับที่ไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้ จึงมีความจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์ทางเทคนิคเพื่อศึกษาการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันและความเข้ากันได้ (Sharing and Compatibility Studies) ของระบบที่ใช้คลื่นความถี่ในย่านที่ได้รับการจัดสรรแล้ว กับระบบที่ใช้คลื่นความถี่ใหม่ซึ่งเป็นผลจากการขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมจากย่าน 920 - 925 MHz โดยการคำนวณและการจำลองสถานการณ์ (Simulation)

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ทางเทคนิค นอกจากจะเป็นการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติม (Δf_L และ Δf_U) และการกำหนดแถบความถี่ป้องกัน (G_L และ G_U) ยังเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิคที่เหมาะสม เช่น ค่ากำลังส่ง (Transmitted Power) สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมแต่ละประเภทที่มีความเข้มงวดของการกำกับดูแลแตกต่างกัน เกณฑ์การเข้าใช้คลื่นความถี่ (Spectrum

Access Criteria) และระยะห่างขั้นต่ำระหว่างการใช้งานระบบใหม่ในคลื่นความถี่ที่ได้รับการขยายเพิ่มเติมและเครื่องวิทยุคมนาคมที่มีการใช้งานอยู่แล้วในคลื่นความถี่เดิมที่ได้รับการจัดสรร (Separation Distance)

5.2 วิธีการวิเคราะห์แบบ Monte Carlo

วิธีการ Monte Carlo เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการใช้แก้ปัญหาทางสถิติและการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นวิธีการหลักในการวิเคราะห์การรบกวนจากสัญญาณที่ไม่ต้องการ (Unwanted Emission Interference) โดยกลุ่มศึกษาของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) และวงการวิจัยและศึกษาทางวิศวกรรมทั่วไป

วิธีการ Monte Carlo มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมคลื่นความถี่ดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษาการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันและการเข้ากันได้ (Sharing and Compatibility Studies) ระหว่างระบบวิทยุคมนาคมที่แตกต่างกันที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกัน (Shared Band) หรือคลื่นความถี่ข้างเคียง (Adjacent Band)
- 2) การกำหนดขีดจำกัดการแพร่ (Emission Mask) ของอุปกรณ์เครื่องส่ง และเครื่องรับวิทยุคมนาคม
- 3) การประเมินระดับสัญญาณที่ไม่ต้องการ (Unwanted Emission Level) ทั้งในประเภท Spurious และ Out-of-band รวมถึงโอกาสเกิดขึ้นของการรบกวนประเภท Intermodulation

การนำวิธีการ Monte Carlo มาใช้สำหรับการวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ร่วมกันและการเข้ากันได้ระหว่างระบบวิทยุคมนาคมที่แตกต่างกันที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกันหรือคลื่นความถี่ข้างเคียง ได้ถูกศึกษาไว้อย่างละเอียดใน Report ITU-R SM.2028 [14] และถูกนำมาพัฒนาขึ้นเป็นซอฟต์แวร์ SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool) [15] สำหรับการจำลองสถานการณ์โดยองค์กร European Conference of Postal and Telecommunication administrations (CEPT)

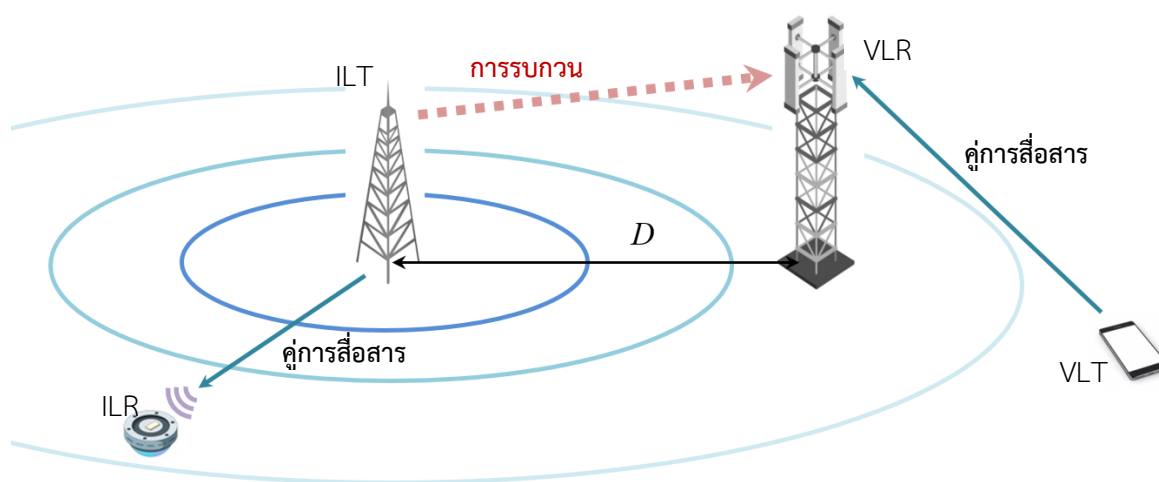
คำนิยามที่เกี่ยวข้อง

ซอฟต์แวร์ SEAMCAT ได้กำหนดองค์ประกอบของโมเดลการรบกวน โดยการจำแนกระบบที่รบกวน (Interfering System) และระบบที่ถูกรบกวน (Victim System) และได้ให้นิยามกับอุปกรณ์ภาครับและเครื่องส่งของแต่ละระบบดัง ปรากฏในตารางที่ 5.1 และโมเดลการรบกวนแสดงดังรูปที่ 5.2

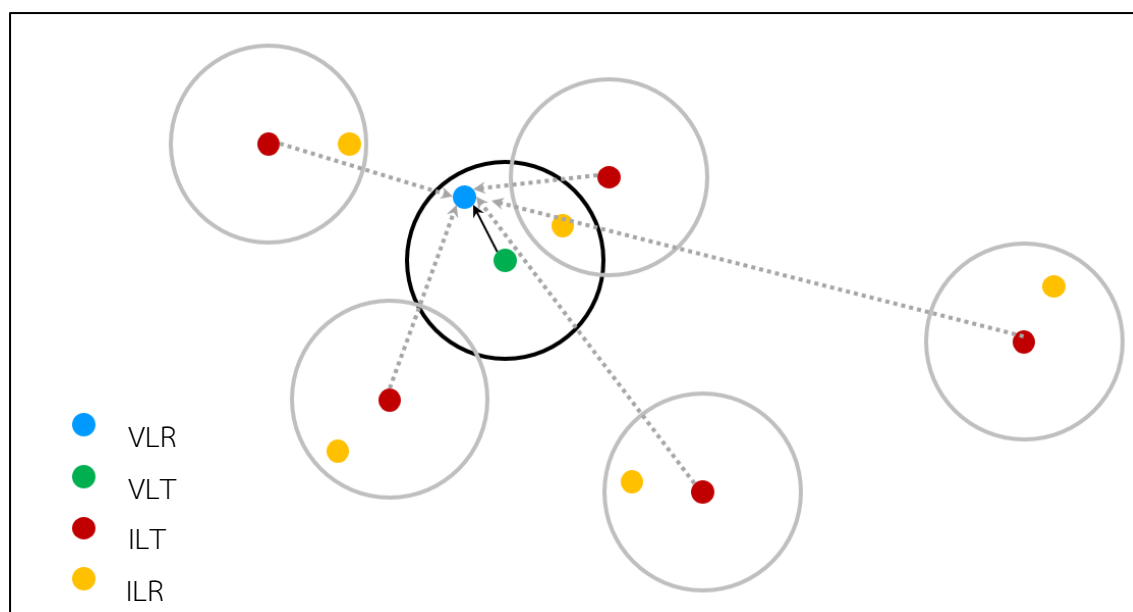
ทั้งนี้ การวิเคราะห์การรบกวนจะพิจารณาการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีการใช้งานอุปกรณ์ภาคส่งของระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน (ILT) จำนวนมาก อยู่ในบริเวณที่มีการสื่อสารระหว่างภาคส่ง (VLT) และภาครับ (VLR) ของระบบที่ได้รับการรบกวน ซึ่งเป็นผลทำให้การสื่อสารของระบบที่ถูกรบกวนมีคุณภาพต่ำลง ซึ่งการจำลองสถานการณ์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.1 การกำหนดนิยามสำหรับระบบและอุปกรณ์เครื่องรับ-ส่งสำหรับวิเคราะห์การรบกวน

นิยาม	คำอธิบาย
Interfering Link (IL)	การสื่อสารของระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน
Interfering Link Transmitter (ILT)	อุปกรณ์ภาคส่งของระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน
Interfering Link Receiver (ILV)	อุปกรณ์ภาครับของระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน
Victim Link (VL)	การสื่อสารของระบบที่ได้รับการรบกวน
Victim Link Transmitter (VLT)	อุปกรณ์ภาคส่งของระบบที่ได้รับการรบกวน
Victim Link Receiver (VLR)	อุปกรณ์ภาครับของระบบที่ได้รับการรบกวน



รูปที่ 5.2 องค์ประกอบของโมเดลการรบกวน ตามที่กำหนดในโปรแกรม SEAMCAT

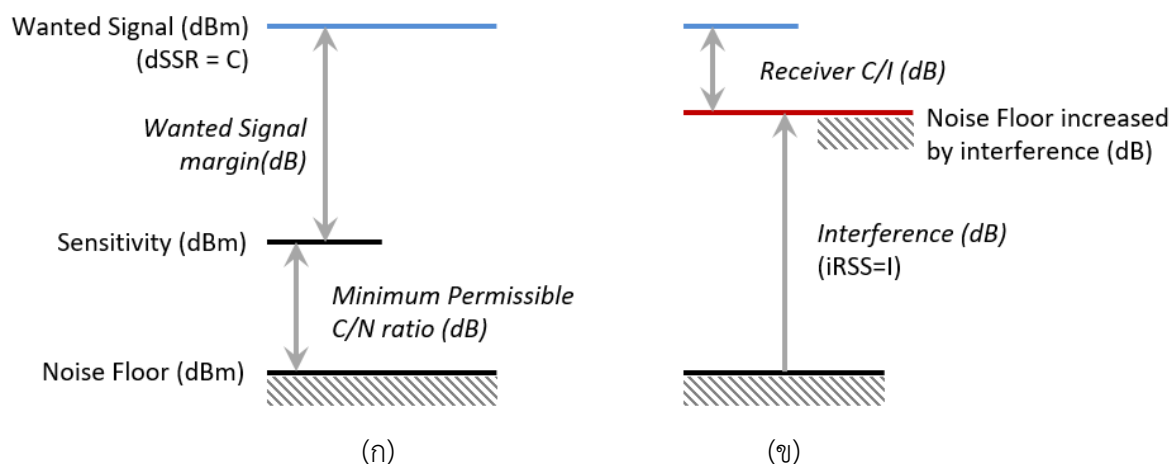


รูปที่ 5.3 การจำลองสถานการณ์การรบกวนเหมือนสถานการณ์จริง โดยคุณภาพของสัญญาณที่อุปกรณ์ภาครับของระบบที่ได้รับการรบกวน (VLR) จะถูกลดทอนลงจากการรบกวนโดยสัญญาณจากอุปกรณ์ภาคส่งของระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน (ILT) จำนวนมากที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

จากการจำลองการรบกวนดังกล่าว โปรแกรม SEAMCAT จะประมวลผลการคำนวณเชิงสถิติของการเกิดการรบกวนในทุกรูปแบบที่จะเป็นไปได้ และให้ค่าผลลัพธ์การคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้ ณ อุปกรณ์ภาครับของระบบที่ได้รับการรบกวน (VLR) ได้แก่ ค่าระดับสัญญาณที่ต้องการ (dRSS) และ ค่าระดับสัญญาณรบกวน (iRSS) รายละเอียดปรากฏในตารางที่ 5.2 และแผนภาพอธิบายการรบกวนแสดงในรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์การคำนวณเชิงสถิติของค่าสัญญาณที่วัดได้ที่อุปกรณ์ภาครับของแบบจำลอง

ผลลัพธ์	คำอธิบาย
dRSS: desired Received Signal Strength ค่าระดับสัญญาณที่ต้องการ	ค่าระดับสัญญาณที่ต้องการ (dRSS) เป็นผลลัพธ์การคำนวณค่าระดับสัญญาณที่ต้องการที่ปรากฏที่อุปกรณ์ภาครับเมื่อเทียบกับระดับสัญญาณ carrier เมื่อออกจากอุปกรณ์ภาคส่งของระบบที่สนใจและถูกรบกวน โดยสามารถคำนวณได้จากค่า Link budget ระหว่างอุปกรณ์ VLR และ VLT
iRSS: interfering Received Signal Strength ค่าระดับสัญญาณรบกวน	ค่าระดับสัญญาณรบกวน (iRSS) เป็นผลลัพธ์การคำนวณค่าระดับสัญญาณที่ต้องการที่ปรากฏที่อุปกรณ์ภาครับเมื่อเทียบกับระดับสัญญาณ carrier เมื่อออกจากอุปกรณ์ภาคส่งของระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน โดยสามารถคำนวณได้จากค่า Link budget ระหว่างอุปกรณ์ VLR และ ILT



รูปที่ 5.4 แผนภาพอธิบายการรบกวน (ก) ในสถานการณ์ที่ไม่มีกรรบกวน และอุปกรณ์ภาครับสามารถรับสัญญาณที่ต้องการ (Wanted Signal/Desired Signal) ได้ในระดับ dRSS ที่สูงกว่าระดับสัญญาณต่ำสุดที่อุปกรณ์ภาครับสามารถแยกแยะได้ (Sensitivity level) เมื่อเทียบกับ Noise Floor โดยค่า Sensitivity ดังกล่าว สอดคล้องกับค่าจำกัด C/N ต่ำสุดของเครื่องรับ (Minimum Career-to-Noise Ratio) (ข) ในสถานการณ์อุปกรณ์ภาครับได้รับการรบกวนจากระบบภายนอก ในระดับ iRSS ซึ่งเป็นผลให้ระดับสัญญาณ Noise Floor มีระดับเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งหากค่าดังกล่าวทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณ Carrier ต่อสัญญาณรบกวน (C/I: Carrier to Interference Ratio) มีค่าต่ำกว่าค่าจำกัด C/N ต่ำสุดจะทำให้อุปกรณ์ภาครับไม่สามารถรับสัญญาณที่ต้องการได้

5.3 สถานการณ์ที่เป็นไปได้สำหรับคลื่นความถี่ (Scenario)

ในการจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินโอกาสเกิดการรบกวน มีความจำเป็นที่จะพิจารณาสถานการณ์ที่เป็นไปได้ (Possible Scenarios) ในการเกิดการรบกวนจากการกำหนดช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติม ซึ่งสามารถแยกพิจารณาเป็น 2 กรณีหลัก ดังนี้

1) ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ถูกจัดสรรหรือกำหนดให้ใช้งานไว้ล่วงหน้าไว้แล้ว (คลื่นความถี่ต่ำกว่า 915 MHz และสูงกว่า 930 MHz) เป็นฝ่ายถูกรบกวน (Victim) และระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมเป็นฝ่ายส่งสัญญาณรบกวน (Interferer)

2) ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ถูกจัดสรรหรือกำหนดให้ใช้งานไว้ล่วงหน้าไว้แล้ว (คลื่นความถี่ต่ำกว่า 915 MHz และสูงกว่า 930 MHz) เป็นฝ่ายส่งสัญญาณรบกวน (Interferer) และระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมเป็นฝ่ายถูกรบกวน (Victim)

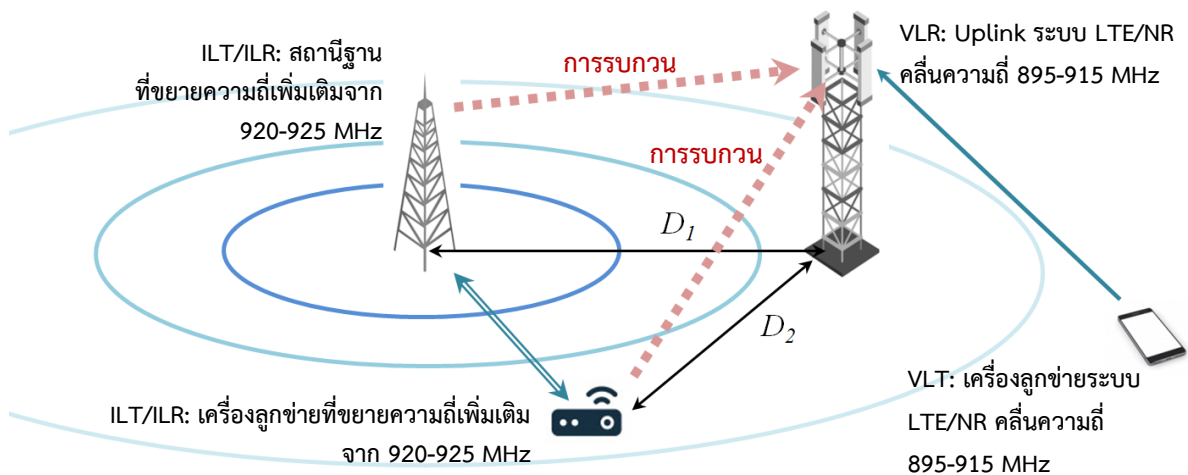
ทั้งนี้ เนื่องจากคลื่นความถี่ที่ถูกจัดสรรหรือกำหนดให้ใช้งานไว้ล่วงหน้าไว้แล้วเป็นการใช้คลื่นความถี่ที่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน การวิเคราะห์การรบกวนจึงกำหนดให้การใช้คลื่นความถี่และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ถูกจัดสรรหรือกำหนดให้ใช้งานไว้ล่วงหน้าไว้แล้วมีค่าคงที่และเป็นตัวแปรควบคุม (Controlled Parameters) ในขณะที่ การใช้คลื่นความถี่และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมเป็นตัวแปรที่สามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อให้สามารถหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมซึ่งทำให้มีการใช้คลื่นความถี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและปราศจากการรบกวนที่รุนแรง

ด้วยหลักการดังกล่าว ประกอบกับแผนความถี่ในรูปที่ 5.1 สามารถแยกพิจารณาการรบกวนออกเป็น 4 สถานการณ์ได้ดังนี้

5.3.1 ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม รบกวนการใช้งานที่ความถี่ต่ำกว่า 915 MHz

พิจารณาการรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในกรณี ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมรบกวนการใช้งานที่ความถี่ต่ำกว่า 915 MHz ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทย กำหนดการใช้งานคลื่นความถี่ 895 - 915 MHz สำหรับการใช้งาน Uplink ของระบบ IMT ซึ่งปัจจุบันใช้เทคโนโลยี LTE และมีโอกาสเปลี่ยนแปลงเป็นเทคโนโลยี NR (5G) ในอนาคต การรบกวนที่เกิดขึ้นจึงเกิดที่ภาครับของสถานีฐาน (UE) ในระบบ IMT ซึ่งได้รับการจัดสรรให้ใช้คลื่นความถี่และได้รับการคุ้มครองการรบกวน

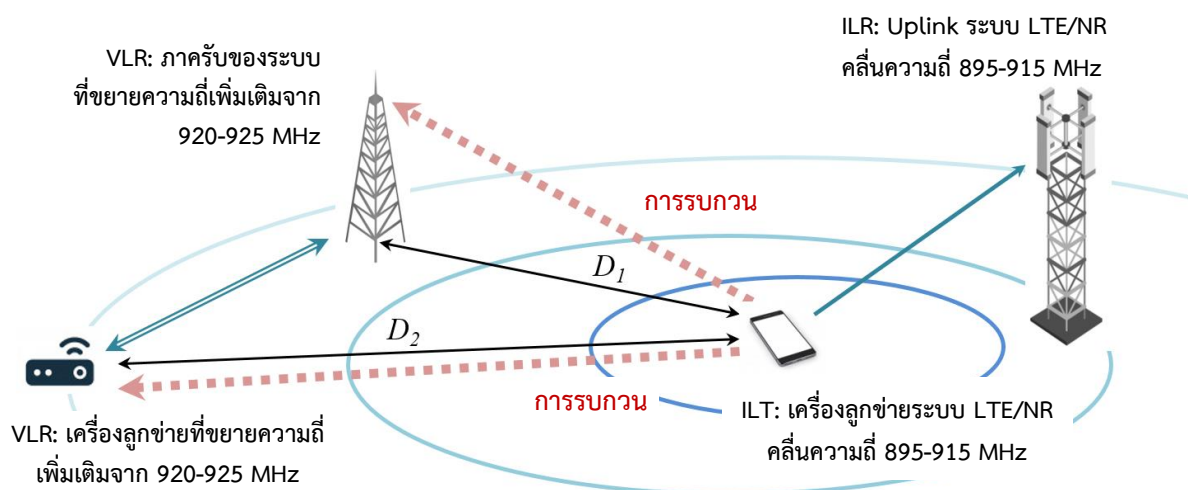
สำหรับระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม กำหนดให้มีการใช้งานโดยเครื่องวิทยุคมนาคม 3 ประเภท แบ่งตามเกณฑ์การกำกับดูแลที่ใช้สำหรับคลื่นความถี่ 920 - 925 MHz [1] ได้แก่ เครื่องวิทยุคมนาคมที่มีกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (E.I.R.P.) ไม่เกิน 50 mW, 500 mW และ 4 W ตามลำดับ และกำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ร่วมกันเป็นการทั่วไป โดยสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายอยู่ห่างจากภาครับของระบบ IMT เป็นระยะทาง D_1 และ D_2 ตามลำดับ ดังปรากฏในแผนภาพการรบกวนซึ่งแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 การจำลองการรบกวน กรณีระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม
รบกวนการใช้งานที่ความถี่ต่ำกว่า 915 MHz

5.3.2 ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม ถูกรบกวนโดยการใช้งานที่ความถี่ต่ำกว่า 915 MHz

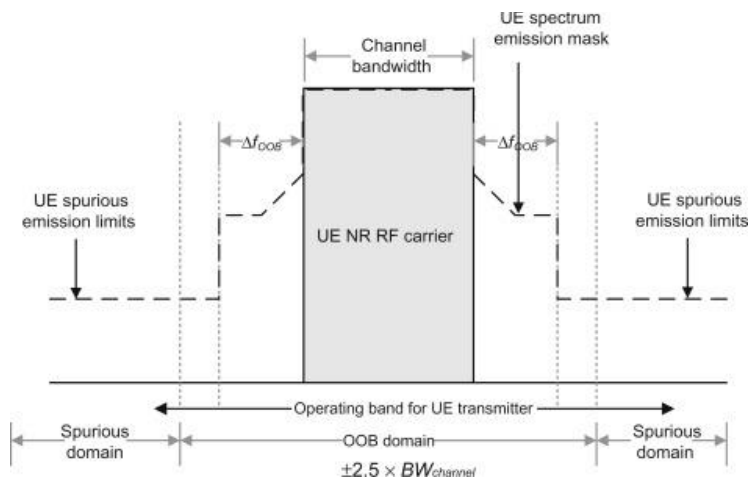
พิจารณาการรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในกรณี ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมถูกรบกวนจากกำหนดการใช้งานคลื่นความถี่ 895 - 915 MHz สำหรับการใช้งาน Uplink ของระบบ IMT ซึ่งปัจจุบันใช้เทคโนโลยี 3GPP LTE และมีโอกาสเปลี่ยนแปลงเป็นเทคโนโลยี NR (5G) ในอนาคต การรบกวนที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากอุปกรณ์ลูกข่าย (UE: User Equipment) ของระบบ IMT ส่งสัญญาณรบกวนภาครับของระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม โดยเครื่องลูกข่ายของระบบ IMT อยู่ห่างจากภาครับของสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมเป็นระยะทาง D_1 และ D_2 ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 การจำลองการรบกวน กรณีระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม
ถูกรบกวนจากการใช้งานที่ความถี่ต่ำกว่า 915 MHz

ในกรณีดังกล่าว ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมได้ถูกรบกวนจากการแผ่รบกวนนอกคลื่นความถี่ใช้งาน (Out of Band Emission) ของอุปกรณ์ลูกข่ายในระบบ IMT ทั้งนี้ การศึกษานี้มีสมมติฐานว่าอุปกรณ์ลูกข่ายทุกอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นความถี่ 895 - 915 MHz ผ่านกระบวนการตรวจสอบและรับรองมาตรฐานทางเทคนิคแล้ว และมีค่าการแผ่รบกวนนอกคลื่นความถี่ใช้งานของระบบไม่เกินขีดจำกัดการแผ่สัญญาณนอก

ช่วงความถี่ใช้งาน (Spectrum Mask) ที่กำหนดไว้สำหรับอุปกรณ์ลูกข่าย (UE) ตามมาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้อง โดยตัวอย่างของ Spectrum Mask แสดงในรูปเส้นประในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างของ Spectrum Mask ที่ใช้จำกัดการแพร่สัญญาณนอกช่วงความถี่ใช้งาน [13]

เนื่องจากคลื่นความถี่ 895 - 915 MHz ถูกกำหนดให้ใช้งานสำหรับ IMT เทคโนโลยีที่มีใช้งานอยู่และมีโอกาสถูกนำมาใช้ในคลื่นความถี่นี้ คือ 4G (LTE/LTE Advanced) และ 5G (NR) จึงพิจารณา ค่าจำกัดการแพร่สัญญาณนอกช่วงความถี่ใช้งาน (Spectrum Mask) ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI TS36.101 และ ETSI TS38.101 ขององค์กร 3GPP สำหรับระบบ 4G และ 5G ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดปรากฏตามตารางที่ 5.3 และ 5.4 โดย Δf_{OOB} คือ ระยะห่างของความถี่ที่พิจารณาจากขอบช่องสัญญาณที่กำหนดให้ใช้งาน

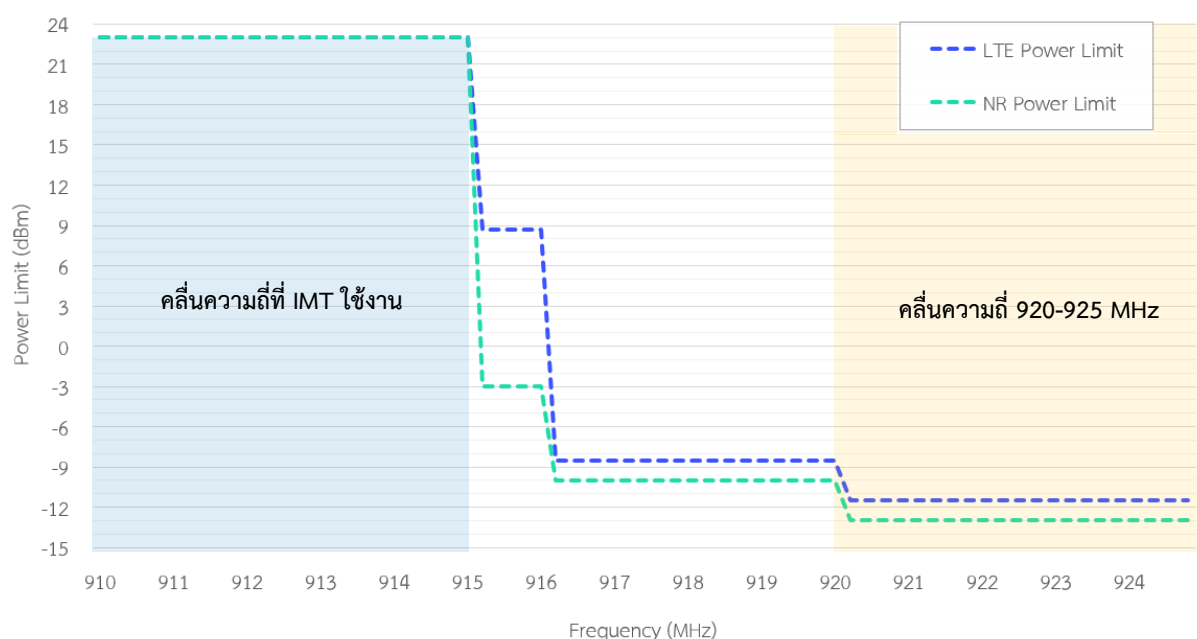
ตารางที่ 5.3 ค่าจำกัดการแพร่สัญญาณนอกช่วงความถี่ใช้งาน (Spectrum Mask) สำหรับคลื่นลูกข่าย 4G ตามมาตรฐาน ETSI TS36.101

Δf_{OOB} (MHz)	1,4 MHz	3,0 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	Measurement bandwidth
0 to 1	-8,5	-11,5	-13,5	-16,5	-18,5	-19,5	30 kHz
1 to 2,5	-8,5	-8,5	-8,5	-8,5	-8,5	-8,5	1 MHz
2,5 to 2,8	-23,5	-8,5	-8,5	-8,5	-8,5	-8,5	1 MHz
2,8 to 5		-8,5	-8,5	-8,5	-8,5	-8,5	1 MHz
5 to 6		-23,5	-11,5	-11,5	-11,5	-11,5	1 MHz
6 to 10			-23,5	-11,5	-11,5	-11,5	1 MHz
10 to 15				-23,5	-11,5	-11,5	1 MHz
15 to 20					-23,5	-11,5	1 MHz
20 to 25						-23,5	1 MHz

ตารางที่ 5.4 ค่าจำกัดการแพร่สัญญาณนอกช่วงความถี่ใช้งาน (Spectrum Mask) สำหรับคลื่นลูกข่าย 4G ตามมาตรฐาน ETSI TS38.101

Spectrum emission limit (dBm) / Channel bandwidth														
Δf_{obs} (MHz)	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz	Measurement bandwidth
$\pm 0-1$	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13							1 % channel bandwidth
$\pm 0-1$								-24	-24	-24	-24	-24	-24	30 kHz
$\pm 1-5$	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 5-6$	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	
$\pm 6-10$	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	
$\pm 10-15$														
$\pm 15-20$														
$\pm 20-25$														
$\pm 25-30$														
$\pm 30-35$														
$\pm 35-40$														
$\pm 40-45$														
$\pm 45-50$														
$\pm 50-55$														
$\pm 55-60$														
$\pm 60-65$														
$\pm 65-70$														
$\pm 70-75$														
$\pm 75-80$														
$\pm 80-85$														
$\pm 85-90$														
$\pm 90-95$														
$\pm 95-100$														
$\pm 100-105$													-25	

ทั้งนี้การจัดสรรคลื่นความถี่ดังกล่าวให้ประเทศไทย กำหนดให้มีการใช้งานช่องสัญญาณ 10 MHz ต่อผู้ประกอบการ จึงพิจารณาใช้ค่า Emission Mask สำหรับความกว้างช่องสัญญาณ 10 MHz โดยสามารถหาค่า Spectrum Mask สำหรับเครื่องลูกข่าย 4G (LTE) และ 5G (NR) ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ซึ่งมีค่าจำกัดกำลังส่งตามมาตรฐานไม่เกิน 23 dBm (200 mW) ได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ค่าจำกัดการแพร่สัญญาณนอกช่วงความถี่ใช้งานสำหรับเครื่องลูกข่าย 4G (LTE) และ 5G (NR) ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ซึ่งมีค่าจำกัดกำลังส่งตามมาตรฐานไม่เกิน 23 dBm (200 mW)

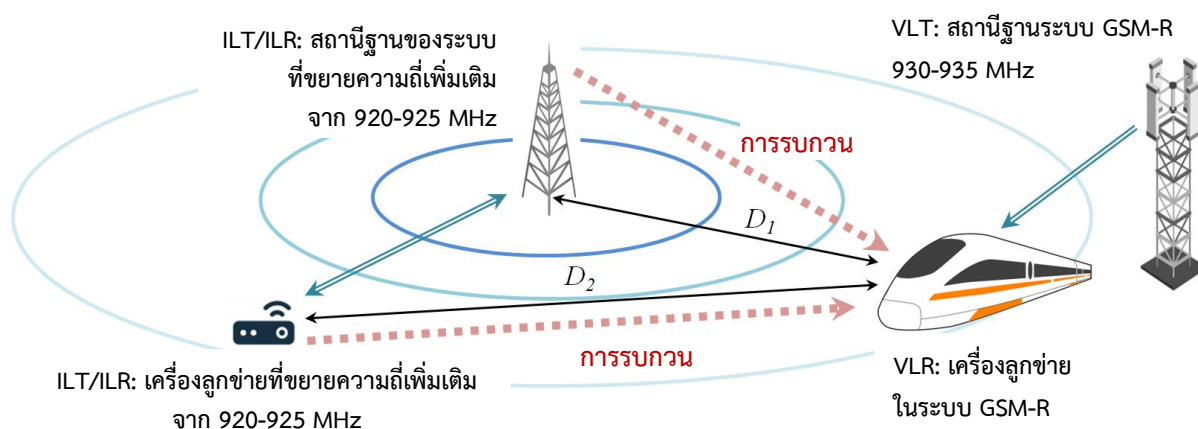
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.8 โอกาสที่ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมจะถูกรบกวน จะมีความสัมพันธ์กับค่าจำกัดการแพร่สัญญาณออกนอกคลื่นความถี่ใช้งานดังกล่าว ซึ่งจะต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญที่ความถี่มากกว่า 916 MHz

ทั้งนี้การใช้คลื่นความถี่ในลักษณะเป็นการทั่วไปในคลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม จะไม่ได้รับการคุ้มครองการรบกวน ดังนั้น จึงมีความสำคัญที่การกำหนดช่วงขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมจะต้องมีการกำหนดแถบความถี่ป้องกัน (Guard Band) ที่เพียงพอตั้งแต่ต้น เพื่อลดโอกาสที่ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวจะได้รับการรบกวนจากระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ต่ำกว่า 915 MHz ซึ่งการรบกวนดังกล่าวขึ้นอยู่กับระดับสัญญาณที่เป็นไปตามค่าจำกัดการแพร่สัญญาณออกนอกคลื่นความถี่ดังกล่าว และค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิคของภาครับของระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม

5.3.3 ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม รบกวนการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 930 MHz

พิจารณาการรบกวนในกรณี ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมรบกวนการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 930 MHz ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยกำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ 930 - 935 MHz สำหรับระบบอาณัติสัญญาณของระบบคมนาคมทางรางในอนาคตและได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน ตามประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการเคลื่อนที่ ย่านความถี่ ๘๘๕-๘๙๕/๙๓๐-๙๔๐ MHz โดยมีเทคโนโลยีหลักที่ใช้คลื่นความถี่นี้คือ GSM-R ตามมาตรฐาน ETSI TS 102 932-1 [16] และตามแผนความถี่ การรบกวนจะเกิดขึ้นที่ภาครับของระบบอาณัติสัญญาณที่ติดตั้งบนรถไฟที่อยู่ห่างจากสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมเป็นระยะทาง D_1 และ D_2 ตามลำดับ ดังปรากฏในรูปที่ 5.9

การใช้งานสำหรับระบบอาณัติสัญญาณของระบบคมนาคมขนส่งทางราง ถือว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญยิ่งยวดต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนจึงไม่สามารถยอมรับให้มีการรบกวนต่อระบบดังกล่าวได้

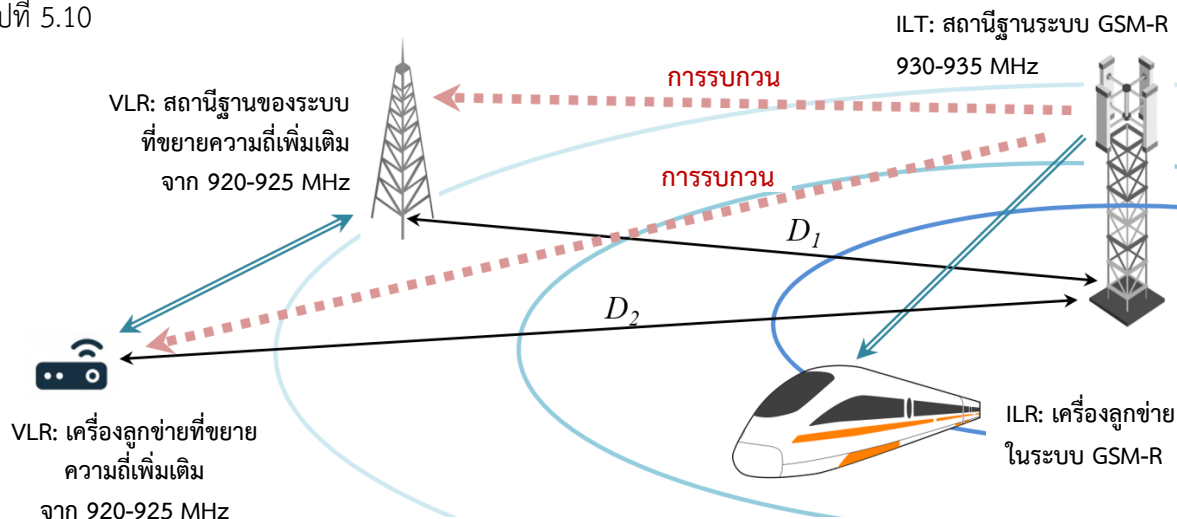


รูปที่ 5.9 การจำลองการรบกวน กรณีระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม
รบกวนการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 930 MHz

ทั้งนี้ ประกาศ กสทช. กำหนดให้ในบริเวณที่ไม่มีมีการใช้งานคลื่นความถี่ สำหรับระบบอาณัติสัญญาณของระบบคมนาคมขนส่งทางราง กสทช. สงวนสิทธิ์ที่จะพิจารณาอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว สำหรับกิจการ IMT ร่วมด้วย ซึ่งในกรณีดังกล่าว จะเป็นการใช้งานในลักษณะ Downlink และการรบกวนจะเกิดขึ้นที่ภาครับของเครื่องลูกข่ายในกิจการ IMT จึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงกรณีดังกล่าวด้วย

5.3.4 ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม ถูกรบกวนโดยการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 930 MHz

พิจารณาการรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในกรณีระบบ Downlink ของระบบ GSM-R หรือ ระบบ IMT ที่กำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ 930 - 935 MHz ดังที่วิเคราะห์ไว้ใน กรณีข้อ 5.3.3 ส่งสัญญาณรบกวนภาครับของ สถานีฐาน หรือ เครื่องลูกข่าย ของระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม ที่อยู่ห่างไปจากสถานีฐานของระบบ ที่ใช้คลื่นความถี่ 930 - 935 MHz เป็นระยะทาง D_1 และ D_2 ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังปรากฏใน รูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 การจำลองการรบกวน กรณีระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมได้รับการรบกวนการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 930 MHz

5.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิคของระบบสำหรับการจำลองเชิงตัวเลข

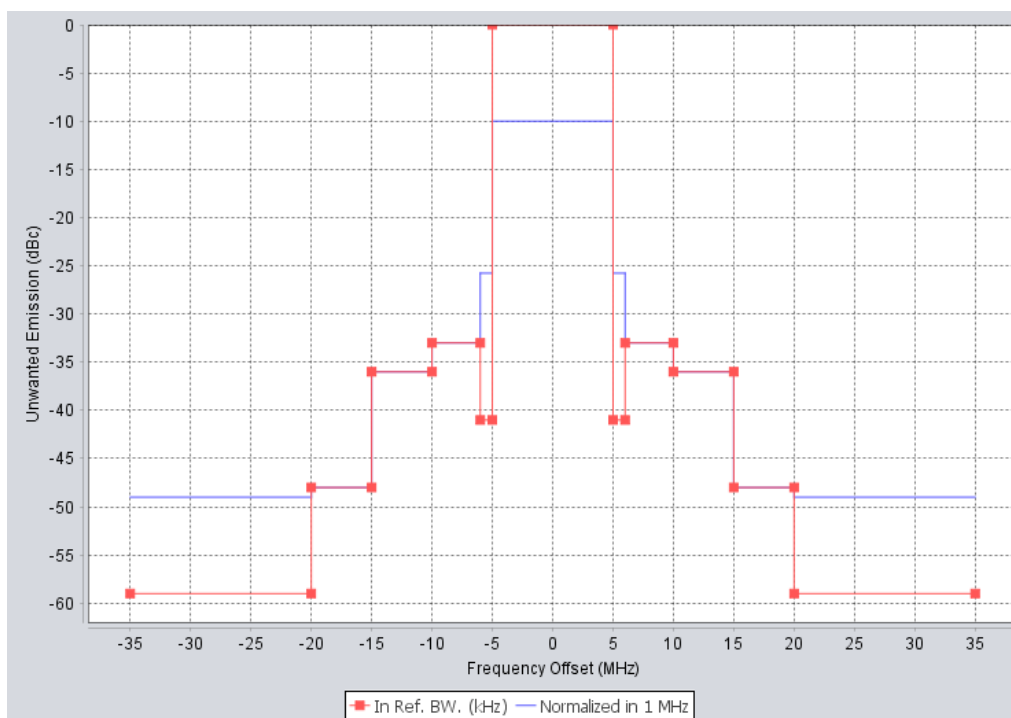
ในการคำนวณหาโอกาสในการเกิดการรบกวน มีความสำคัญที่จะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิคของระบบที่เกี่ยวข้อง เพื่อจำลองสถานการณ์การรบกวนที่มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์การใช้งานจริงมากที่สุด ทั้งนี้ในการศึกษานี้ มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ สำหรับโปรแกรม SEAMCAT ดังนี้

5.4.1 ระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz

กำหนดพารามิเตอร์ทางเทคนิคของระบบระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz สำหรับการสื่อสาร Uplink ซึ่งมีเครื่องลูกข่ายเป็นอุปกรณ์ภาคส่ง และสถานีฐานเป็นอุปกรณ์ภาครับ ดังนี้

ตารางที่ 5.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิค สำหรับระบบ LTE Uplink คลื่นความถี่ย่าน 910 MHz

LTE Macro Uplink	
Frequency	910 MHz, 10 MHz Channel
Tx Antenna gain and height a.g.l.	0 dBi, 1.5 m, non-directional
Rx Antenna gain and height a.g.l.	18 dBi, 30 m, 65 degree sector, ITU Rec. F.1336-3
Antenna feeder loss	3
Tx power E.I.R.P.	23 dBm
Tx Emission Mask	LTE 10 MHz UE Below 1GHz (3GPP TS36.101) (รายละเอียดปรากฏในรูปที่ 5.11)
Tx □ Rx path	Extended-Hata, Urban Macro, outdoor-outdoor/above roof, R=1.5km
Rx Sensitivity	-98 dBm



รูปที่ 5.11 Emission ของภาคส่งในระบบ ระบบ LTE Uplink คลื่นความถี่ย่าน 910 MHz

5.4.2 ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ 915 - 920 MHz และ 925 - 930 MHz

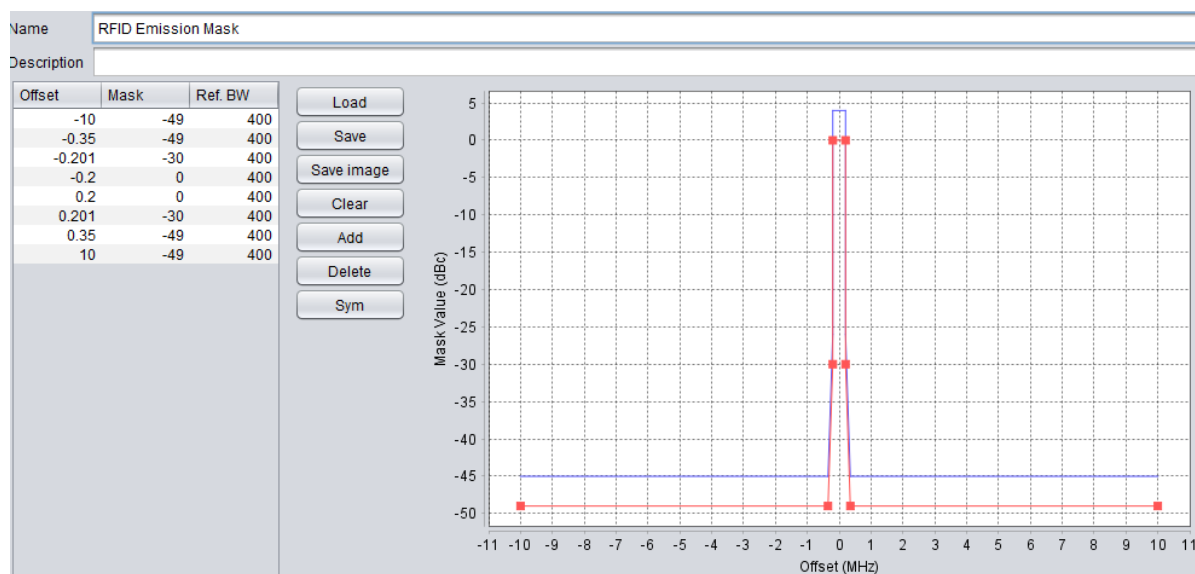
กำหนดพารามิเตอร์ทางเทคนิคของระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติมจาก 920 - 925 MHz โดยขยายการใช้งานเข้าไปในคลื่นความถี่ 915 - 920 MHz และ 925 - 930 MHz โดยการใช้งานจะมีลักษณะเป็นการใช้ความถี่ร่วมกันและได้รับอนุญาตให้ใช้เป็นการทั่วไป มีการใช้งานทั้งลักษณะ Uplink, Downlink, Mesh, และ Peer-to-peer ในคลื่นความถี่เดียวกัน แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี โดยกำหนดเทคโนโลยีที่มีการใช้งานหลักดังนี้

- 1) ระบบ RFID - เป็นแบบจำลองสำหรับการใช้งานระบบ RFID ทั่วไป
- 2) เครื่องวิทยุคมนาคมระยะใกล้ทั่วไป (Non-Specific Short Range Device) เป็นแบบจำลองสำหรับการใช้งานเทคโนโลยีสำหรับสื่อสารระยะใกล้ทั่วไป
- 3) โครงข่ายสื่อสารบริเวณกว้างกำลังส่งต่ำ Narrow-band Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) เป็นแบบจำลองสำหรับระบบโครงข่าย LoRaWAN และ SigFox

ตารางที่ 5.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิค สำหรับประเภทเครื่องวิทยุคมนาคมระบบต่าง ๆ ที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายจาก 920 - 925 MHz

พารามิเตอร์ สำหรับการจำลองระบบ (Simulation Parameters)	ประเภทการใช้งาน		
	RFID	Non-specific SRDs	LPWAN
ความถี่กลาง/ความถี่ใช้งาน (Frequency range)	915 - 930 MHz	915 - 930 MHz	915 - 930 MHz
Bandwidth	400 kHz	ECC Report 200: 400 kHz/600 kHz	400 kHz

พารามิเตอร์ สำหรับการจำลองระบบ (Simulation Parameters)	ประเภทการใช้งาน		
	RFID	Non-specific SRDs	LPWAN
Tx power E.I.R.P.	50 mW, 500 mW, 4 W (17, 27, 36 dBm)	50 mW, 500 mW (17, 27 dBm)	50 mW, 500 mW, 4 W (17, 27, 36 dBm)
Tx Emission Mask	ECC Report 200 (รูปที่ 5.12)	ECC Report 200 (รูปที่ 5.12)	ECC Report 200 (รูปที่ 5.12)
Duty Cycle limit	No limit (100%)	1%, 10%	1%, 10%
Probability of Transmission (Average DC per hour)	2.5%	เท่ากับ DC limit	เท่ากับ DC limit
Number of active transmitters	12	12	12
Sensitivity as victim	-75 dBm	-104 dBm	-137 dBm
C/I criterion as victim	12 dB	8 dB	-14 dB
Typical operational range urban environment	90 m	60 m	10 km
Path loss model	Extended-Hata SRD urban, outdoor-outdoor/above roof		Extended-Hata urban, outdoor- outdoor/above roof
Assumed average density per km2	480	500	500



รูปที่ 5.12 Emission ของภาคส่ง สำหรับประเภทเครื่องวิทยุคมนาคมระบบต่าง ๆ ที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายจาก 920 - 925 MHz

5.4.3 ระบบที่ใช้คลื่นความถี่ 930 MHz ขึ้นไป

กำหนดพารามิเตอร์ทางเทคนิคของระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ 930 MHz ขึ้นไป โดยปัจจุบันกำหนดให้ใช้งานสำหรับระบบอานัติสัญญาณของระบบขนส่งทางราง ที่ใช้เทคโนโลยี GSM-R ภาค Downlink โดยกำหนดให้ใช้พารามิเตอร์สำหรับการจำลองระบบของอุปกรณ์สถานีฐาน (BTS) อุปกรณ์ลูกข่ายแบบพกพา (Handheld MS) และอุปกรณ์ลูกข่ายที่ติดตั้งบนรถไฟ (Train MS) เป็นไปตามตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 พารามิเตอร์สำหรับการจำลองระบบ GSM-R ของอุปกรณ์สถานีฐาน (BTS) อุปกรณ์ลูกข่ายแบบพกพา (Handheld MS) และอุปกรณ์ลูกข่ายที่ติดตั้งบนรถไฟ (Train MS)

พารามิเตอร์ สำหรับการจำลองระบบ (Simulation parameters)	ค่าพารามิเตอร์		
Channel bandwidth, kHz	200		
Modulation	GMSK		
BTS-MS Minimum Coupling Loss, dB	60 (urban) / 70 (rural)		
Considered transceiver types	BTS	Handheld MS	Train MS
Maximum Tx power, dBm	Up to 46	33	39
Thermal noise, dBm	-121		
Rx noise figure, dB	5	9	7
Noise floor, dBm	-116	-112	-114
Rx sensitivity, dBm	-104	-102	-104
Derived protection ratio C/(N+I), dB	9 (1)	10	10
Antenna height above ground, m	20 (urban) 20/45 (rural)	1.5	4.5
Antenna gain, dBi	18	0	0
Antenna down tilt, deg	3	NA	NA
Feeder loss, dB	3	0	0
Splitter loss, dB	3	0	0
Spurious emissions, dBm	-36	-36	-36

5.5 ผลการจำลองการรบกวนและการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการกำกับดูแล

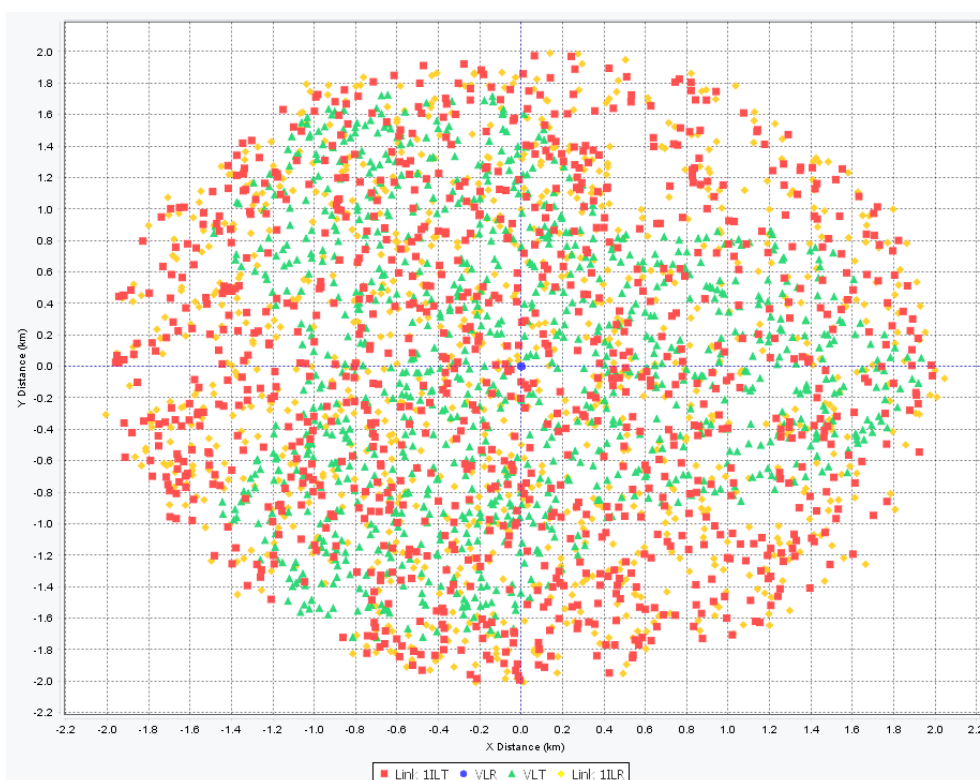
จากการวิเคราะห์สถานการณ์ที่เป็นไปได้ที่จะเกิดการรบกวนในข้อ 5.3 จึงดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้การจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Simulation) โดยใช้วิธีการ Monte Carlo โดยการกำหนดพารามิเตอร์ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 5.4 และจำนวนเหตุการณ์ (Number of Events) เท่ากับ 20,000 ได้ผลการทดลองดังนี้

5.5.1 กรณีระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม ระบบการใช้งานระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz

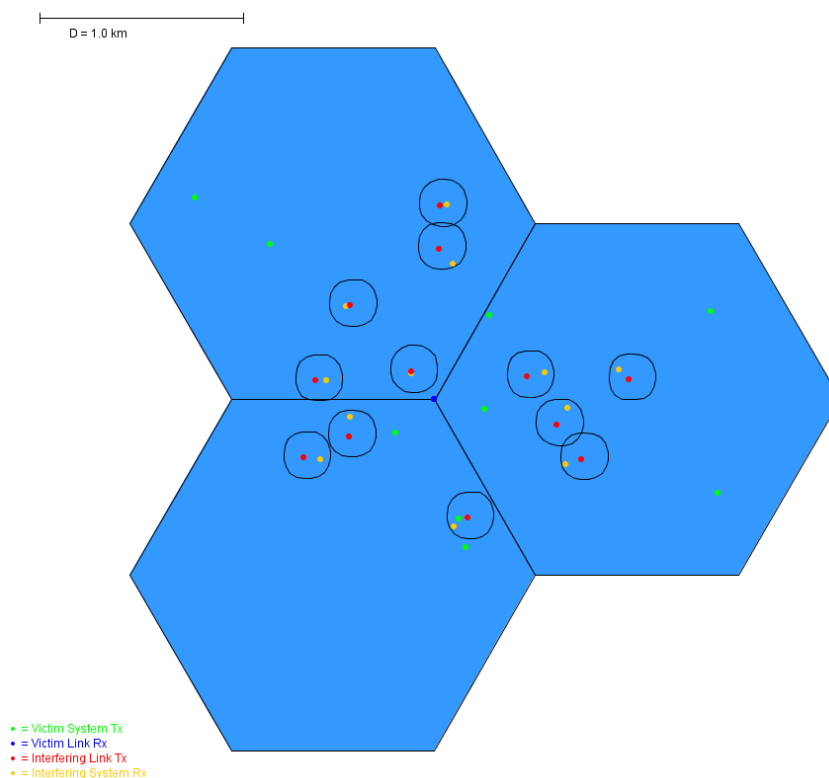
1) การใช้งาน RFID ระบบการใช้งานระบบ LTE

เมื่อใช้โปรแกรม SEAMCAT จำลองเหตุการณ์เมื่อระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค Uplink และมีการรับส่งข้อมูลตลอดเวลา (Probability of Transmission = 100%) ถูกรบกวนจากการใช้งาน RFID ได้ตัวอย่างผลการจำลองทางสถิติของการรบกวนซึ่งแสดงผลในรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอุปกรณ์ ปรากฏดังรูปที่ 5.13 โดยการกระจายตัวของอุปกรณ์ลูกข่ายในระบบ LTE (สีเขียว ▲) มีการกระจายตัวรอบภาครับในทั้ง 3 sector ของสถานีฐาน (สีน้ำเงิน ●) และมีการใช้งาน RFID ภาคส่ง (สีแดง ■) และภาครับ (สีเหลือง ◆) กระจายตัวอยู่เต็มพื้นที่ใช้งานของระบบ IMT ทั้งนี้ ผลการจำลองการรบกวน ขณะใดขณะหนึ่ง ระหว่างทั้งสองระบบดังกล่าว ปรากฏดังรูปที่ 5.14

จากการจำลองดังกล่าว ได้ผลการจำลองเชิงเลข (Numerical results) ปรากฏตามรูปที่ 5.15 โดยค่าสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ (iRSS: interfering Received Signal Strength) ที่ปรากฏ ณ อุปกรณ์ภาครับของระบบ IMT เมื่อถูกรบกวนจากระบบ RFID ซึ่งใช้ช่องสัญญาณประชิดความถี่กลาง 915.2 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz และกำลังส่ง (a) 50 mW (b) 500 mW และ (c) 4 W E.I.R.P. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -108.24 dBm -98.17 dBm และ -89.23 dBm ตามลำดับ

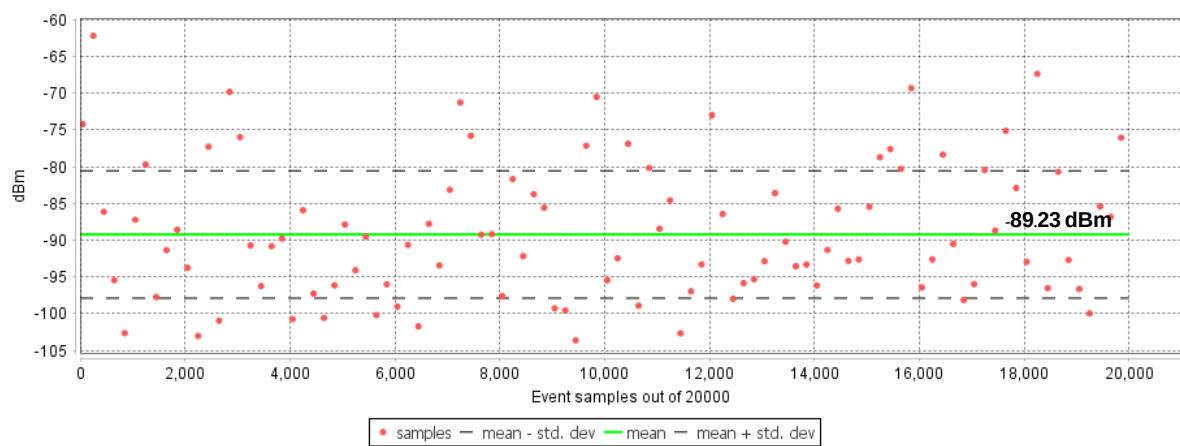
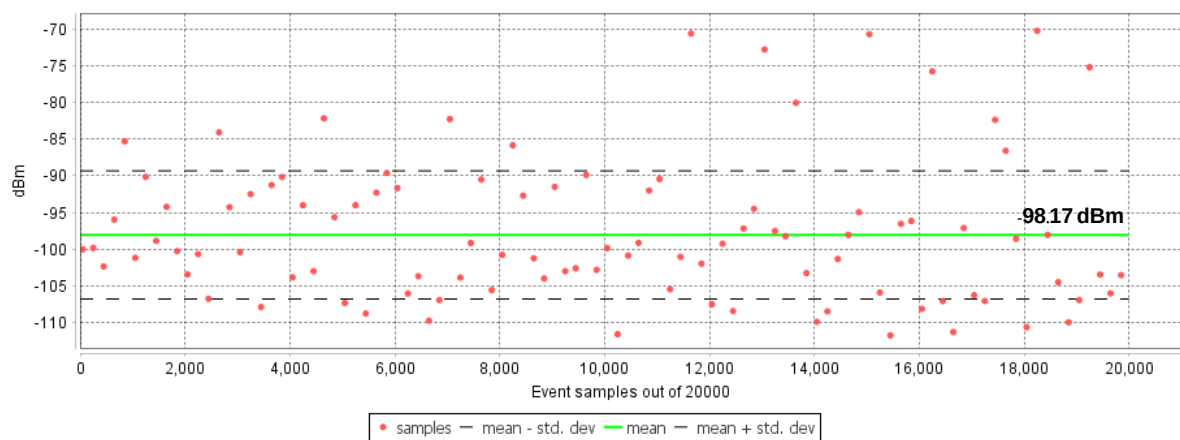
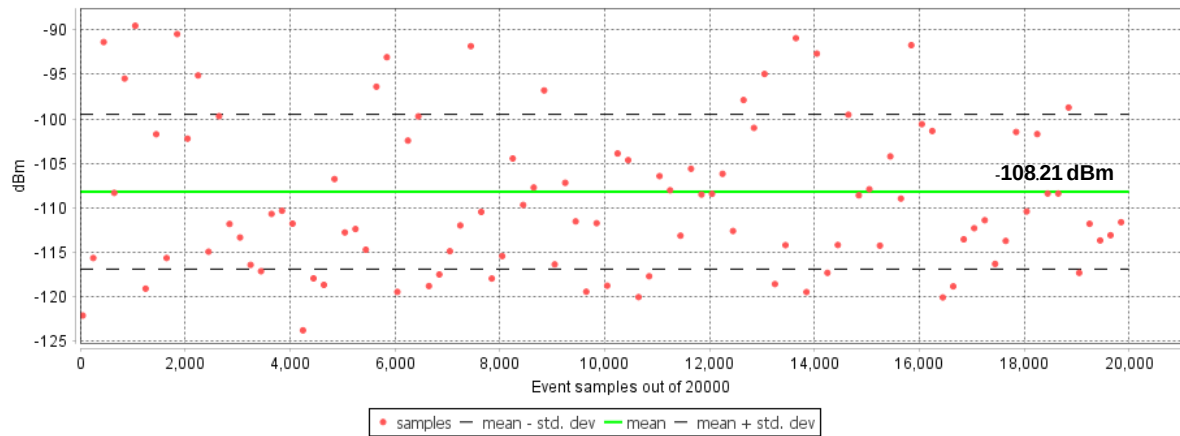


รูปที่ 5.13 ผลการจำลองการรบกวน โดยระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค uplink (เขียว, น้ำเงิน) ถูกรบกวนจากการใช้งาน RFID (แดง, เหลือง)

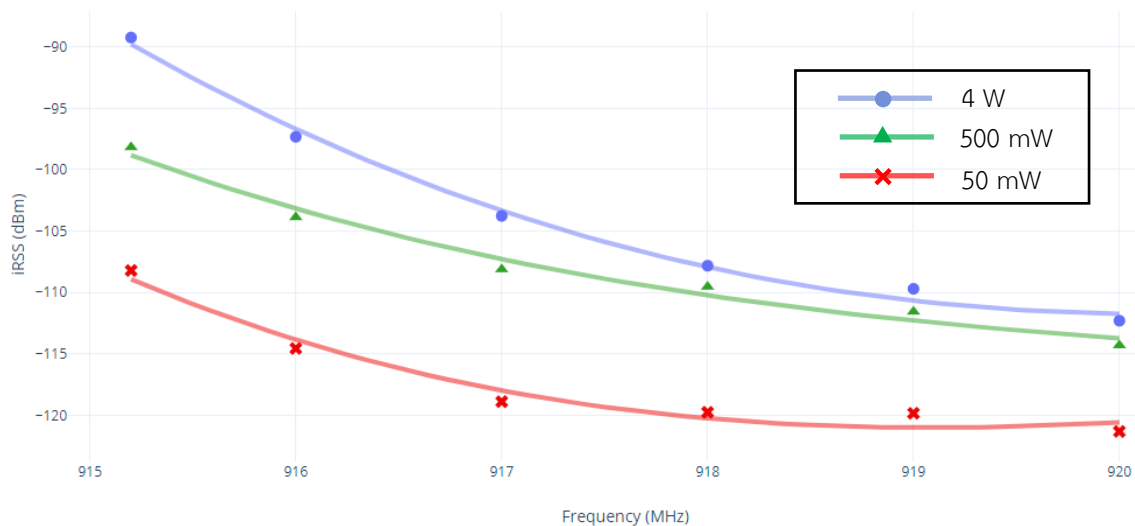


รูปที่ 5.14 ผลการจำลองการรบกวน โดยระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz
ภาค Uplink ถูกรบกวนด้วยการใช้งาน RFID (แดง, เหลือง)

จากผลการจำลองในรูปที่ 5.15 พบว่าสัญญาณรบกวนมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อถูกรบกวนจากระบบ RFID ที่มีกำลังส่ง 4 W E.I.R.P. (36 dBm) และมีค่าลดลงเมื่อมีการจำกัดกำลังส่งสูงสุดของระบบ RFID ที่ 500 mW (27 dBm) และ 50 mW (17 dBm) ตามลำดับ ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยสัญญาณรบกวนดังกล่าว จะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเพิ่มแถบความถี่ป้องกัน (Guard Band) โดยรูปที่ 5.16 แสดงแนวโน้มค่าเฉลี่ยสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ (iRSS: interfering Received Signal Strength) ที่ปรากฏ ณ อุปกรณ์ภาครับของระบบ IMT เมื่อแปรค่าจำกัดการขยายการใช้คลื่นความถี่จากช่องความถี่ประชิดที่ 915.2 MHz และค่าความถี่อื่นที่ห่างขึ้นจากความถี่ 915 MHz ได้แก่ คลื่นความถี่ 916 917 918 919 และ 920 MHz



รูปที่ 5.15 ผลการจำลองเชิงเลขของค่าสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ (iRSS: interfering Received Signal Strength) ที่ปรากฏ ณ อุปกรณ์ภาครับของระบบ IMT เมื่อถูกรบกวนจากระบบ RFID ซึ่งใช้ช่องสัญญาณประชิดความถี่กลาง 915.2 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz และกำลังส่ง (E.I.R.P.) (a) 50 mW (b) 500 mW และ (c) 4 W โดยมีค่า iRSS เฉลี่ย -108.24 dBm -98.17 dBm และ -89.23 dBm ตามลำดับ



รูปที่ 5.16 แนวโน้มค่าเฉลี่ย iRSS ที่ปรากฏ ณ อุปกรณ์ภาครับของระบบ IMT เมื่อถูกรบกวนจากระบบ RFID กำลังส่ง 50 mW 500 mW และ 4 W E.I.R.P. โดยกำหนดค่าจำกัดการขยายการใช้คลื่นความถี่ที่แตกต่างกันที่ 915.2 916 917 918 919 และ 920 MHz

เพื่อพิจารณาขนาดของผลกระทบดังกล่าว โปรแกรม SEAMCAT ได้จำลองผลเชิงเลขของการรบกวนดังกล่าว โดยแสดงผลเปรียบเทียบค่าทางสถิติของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการใช้งานรับ-ส่งข้อมูลของระบบ LTE ในกรณีที่ไม่มีกรรบกวน และการลดทอนของคุณภาพสัญญาณเมื่อมีการรบกวนจากระบบ RFID รายละเอียดปรากฏในรูปที่ 5.17

Trial Frequencies	910.0	MHz
Non Interfered Bitrate (ref. cell)	1739.7627428763094	kbps
Avg Non Interfered Bitrate, system	579.9209142921031	kbps
Avg Interfered Bitrate, system	545.9136706470634	kbps
SINR, Victim system	-3.663919512612818	dB
SINR, Victim (ref. cell)	-3.663919512612818	dB
Interfered Bitrate (ref. cell)	1637.7410119411902	kbps
iRSS Unwanted (external Interference)	-133.84054574897615	dBm
iRSS Blocking (external Interference)	-106.33870401578986	dBm
iRSS Unwanted (external Interference) + iRSS Bloc...	-106.33099117371863	dBm

รูปที่ 5.17 ตัวอย่างผลการคำนวณเชิงเลขเพื่อจำลองผลกระทบต่อค่า Throughput ของระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค Uplink ซึ่งถูกรบกวนด้วยการใช้งาน RFID

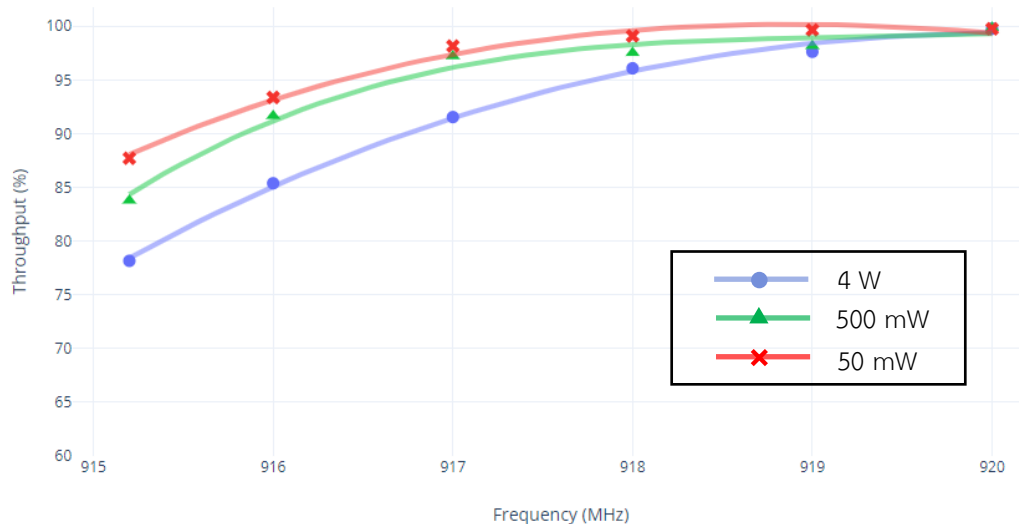
จากตัวอย่างของผลการคำนวณเชิงเลขของการจำลองสถานการณ์การรบกวน สามารถนำผลที่ได้ดังกล่าวมาวิเคราะห์หาผลกระทบของการรบกวนในรูปแบบประสิทธิภาพของ throughput หรือ อัตราการส่งข้อมูลที่มีค่าลดลงเมื่อมีการรบกวนเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการส่งข้อมูลเมื่อไม่มีการรบกวน ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของ throughput} = \text{Average Interfered Bitrate} / \text{Average Non Interfered Bitrate} \quad (5.1)$$

ตัวอย่าง พิจารณาผลการจำลองการรบกวนในรูปที่ 5.17 สามารถคำนวณประสิทธิภาพของ throughput ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพของ throughput} &= 545.914 \text{ kbps} / 579.921 \text{ kbps} \\ &= 94.14 \% \end{aligned}$$

ทั้งนี้ ค่าประสิทธิภาพของ throughput ที่ได้จะสามารถใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพหรือผลของการรบกวนในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับใช้กำหนดหลักเกณฑ์ทางเทคนิคที่เกี่ยวข้อง รูปที่ 5.18 แสดงแนวโน้มผลกระทบต่อค่า Throughput ของระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค Uplink ซึ่งถูกรบกวนด้วยการใช้งาน RFID ที่มีกำลังส่ง 50 mW, 500 mW, และ 4 W E.I.R.P. เมื่อกำหนดค่าจำกัดการขยายการใช้คลื่นความถี่ที่แตกต่างกันที่ 915.2 916 917 918 919 และ 920 MHz



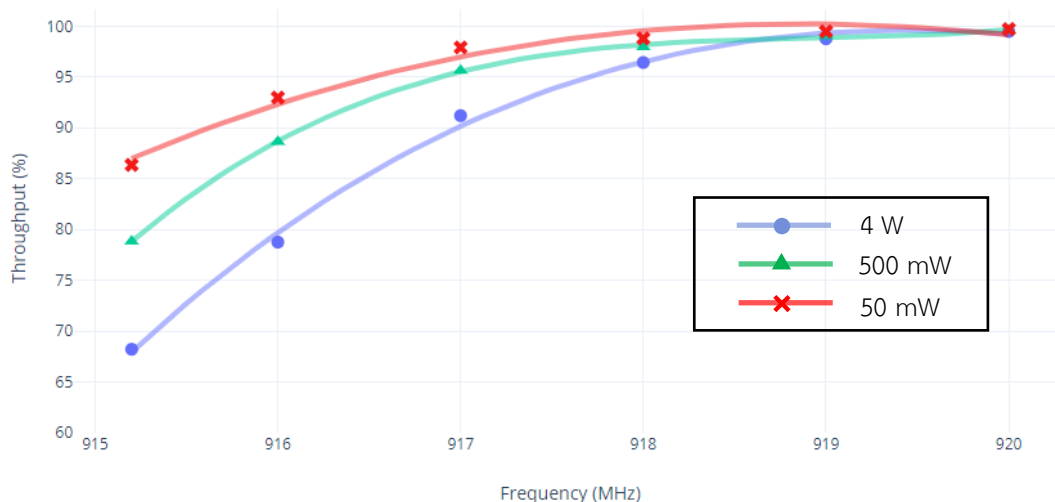
รูปที่ 5.18 ผลกระทบต่อค่า Throughput ของระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค uplink ซึ่งถูกรบกวนด้วยการใช้งาน RFID ที่มีกำลังส่ง 50 mW, 500 mW, และ 4 W E.I.R.P. โดยปรับค่าจำกัดการขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมแตกต่างกันตั้งแต่ 915.2 - 920 MHz

จากแนวโน้มที่แสดงในรูปที่ 5.18 พบว่า ระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค Uplink ได้รับผลกระทบจากการรบกวนจากระบบ RFID อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อกำหนดให้ขยายการใช้คลื่นความถี่ที่ 915.2 MHz สำหรับระบบ RFID มีกำลังส่ง 50 mW, 500 mW และ 4 W E.I.R.P. โดยค่าประสิทธิภาพของ throughput เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อลดการขยายการใช้งานคลื่นความถี่ เพื่อเว้นให้มีแถบป้องกันคลื่นความถี่ (Guard Band) ที่มากขึ้น โดยผลกระทบของการรบกวนจากระบบ RFID มีกำลังส่ง 50 mW และ 500 mW E.I.R.P. ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อกำหนดให้ใช้งานระบบดังกล่าวที่คลื่นความถี่สูงกว่า 917 MHz และต้องกำหนดให้ใช้งานคลื่นความถี่สูงกว่า 918 MHz สำหรับระบบ RFID มีกำลังส่ง 4 W E.I.R.P. จึงสามารถลดผลกระทบของการรบกวนได้

2) การใช้งาน Short-Range Devices (SRD) และ LPWAN รบกวนการใช้งานระบบ LTE

ในลักษณะเดียวกัน เมื่อใช้โปรแกรม SEAMCAT จำลองการรบกวนซึ่งเป็นผลการใช้งาน Short-Range Devices (SRD) และ LPWAN ต่อการใช้งานระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค Uplink และคำนวณค่าประสิทธิภาพของ Throughput เมื่อกำหนดค่าจำกัดการขยายการใช้คลื่นความถี่ที่แตกต่างกันที่ 915.2 916 917 918 919 และ 920 MHz ได้แนวโน้มของผลกระทบจากการรบกวนปรากฏดังรูปที่ 5.19

ทั้งนี้ เนื่องจากกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ภาคส่งของ SRD และ LPWAN มีค่าเท่ากัน ในแต่ละระดับกำลังส่ง จึงแสดงผลแนวโน้มดังกล่าวของทั้งสองประเภทอุปกรณ์ โดยการใช้รูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 ผลกระทบต่อค่า Throughput ของระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค uplink ซึ่งถูกรบกวนด้วยการใช้งาน SRD หรือ LPWAN ที่มีกำลังส่ง 50 mW, 500 mW และ 4 W E.I.R.P. โดยปรับหาค่าจำกัดการขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมแตกต่างกันตั้งแต่ 915.2 - 920 MHz

เช่นเดียวกับกรณีการรบกวนจาก RFID แนวโน้มที่แสดงในรูปที่ 5.18 พบว่า ระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ภาค Uplink ได้รับผลกระทบจากการรบกวนอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อกำหนดให้ขยายการใช้งานคลื่นความถี่ที่ 915.2 MHz โดยอุปกรณ์ SRD หรือ LPWAN ที่มีกำลังส่ง 50 mW, 500 mW, และ 4 W E.I.R.P. โดยค่าค่าประสิทธิภาพของ Throughput เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อลดการขยายการใช้คลื่นความถี่ เพื่อเว้นให้มีแถบป้องกันคลื่นความถี่ (Guard Band) ที่มากขึ้น โดยผลกระทบจากการรบกวนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ กำหนดให้ใช้งานระบบดังกล่าวที่คลื่นความถี่สูงกว่า 917 MHz สำหรับอุปกรณ์ที่มีกำลังส่ง 50 mW และ 500 mW E.I.R.P. และ คลื่นความถี่สูงกว่า 918 MHz สำหรับอุปกรณ์ที่มีกำลังส่ง 4 W E.I.R.P.

ทั้งนี้ แนวโน้มดังกล่าว พิจารณาจากสถานการณ์ที่ระบบ LTE ซึ่งมีการรับส่งข้อมูลตลอดเวลา (probability of transmission = 100%) และความหนาแน่นของการใช้งานอุปกรณ์ที่ 480 อุปกรณ์ ต่อตารางกิโลเมตร ทั้งกรณีอุปกรณ์ RFID และ SRD

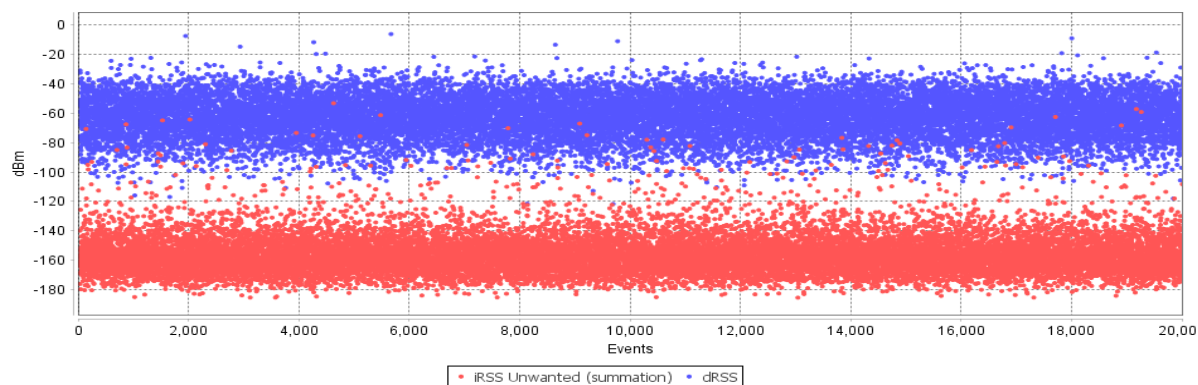
ข้อสังเกตจากผลการจำลองการรบกวน

เพื่อหลีกเลี่ยงผลของการรบกวนอย่างรุนแรงจากระบบ RFID อุปกรณ์ SRD หรือ LPWAN ควรกำหนดขอบเขตการขยายคลื่นความถี่ให้ใช้งานที่ความถี่สูงกว่าหรือเท่ากับ 918 MHz หรือ อาจพิจารณาอนุญาตขยายคลื่นความถี่ใช้งานถึง 917 MHz สำหรับกรณีอุปกรณ์กำลังส่งไม่เกิน 500 mW E.I.R.P. ทั้งนี้ ค่าดังกล่าวตั้งอยู่บนสมมติฐานที่เข้มงวด และมีความเข้มงวดกว่าการกำกับดูแลในย่านความถี่เดียวกับที่กำหนดไว้ใน ECC Report 189 ดังปรากฏในรูปที่ 3.1 สำหรับการกำกับดูแลในกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป

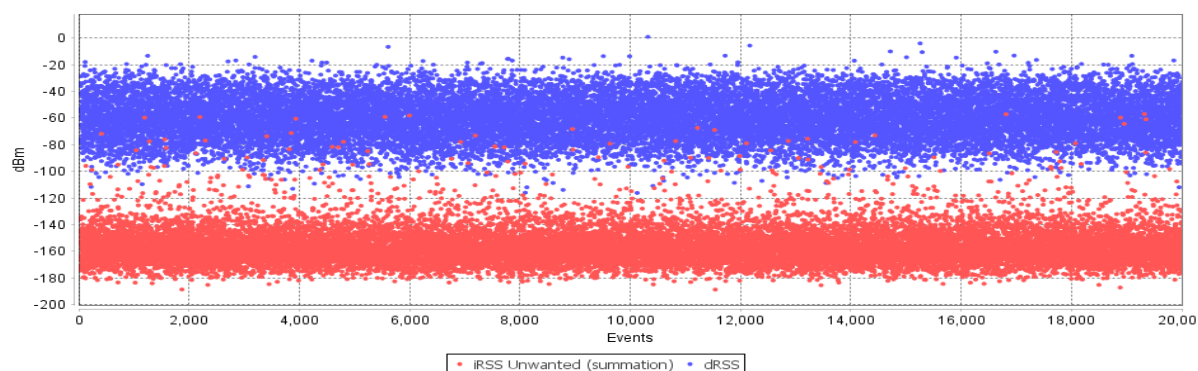
5.5.2 กรณีระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz รบกวนระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม

การใช้คลื่นความถี่ในกิจการ IMT ในย่าน 905 - 915 MHz เป็นการใช้งานตามกิจการหลัก และได้รับการคุ้มครองการรบกวน ในขณะที่คลื่นความถี่ที่จะขยายเพิ่มเติมในย่าน 915 - 920 MHz เป็นการใช้งานที่ไม่คุ้มครองการรบกวน อย่างไรก็ตาม เพื่อลดผลกระทบที่ระบบที่ใช้งานคลื่นความถี่ที่ขยายการใช้งานถูกรบกวนจากระบบ IMT ในย่านความถี่ข้างเคียงจนไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ จึงมีความจำเป็นจะต้องหาค่าแถบคลื่นความถี่ป้องกัน (Guard Band) ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการรบกวนดังกล่าว

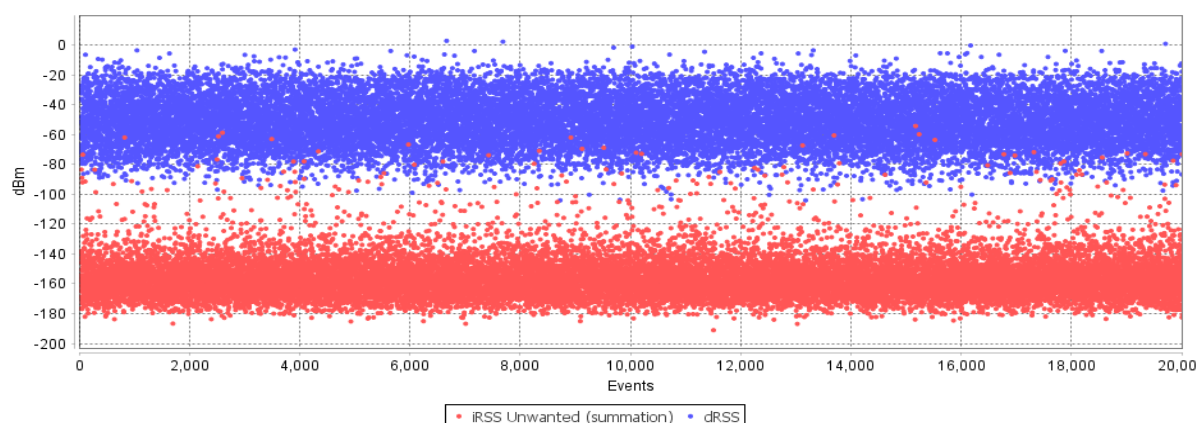
พิจารณาจำลองการรบกวนตามสถานการณ์ที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 5.3.2 โดยใช้โปรแกรม SEAMCAT โดยกำหนดให้ระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ย่าน 905 - 915 MHz เป็นระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน (Interferer) และระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายการใช้งานเป็นระบบที่ถูกรบกวน (Victim) และเริ่มทดสอบที่ความถี่ 917 MHz เนื่องจากเป็นคลื่นความถี่ที่มีความเป็นไปได้ในการขยายให้ใช้งาน เนื่องจากผลกระทบจากการรบกวนเริ่มมีค่าลดลงตามผลการทดลองในหัวข้อ 5.5.1



(a) กำลังส่ง 50 mW: ค่าเฉลี่ย dRSS (น้ำเงิน) = -62.1 dBm และ iRSS = -155.32 dBm



(b) กำลังส่ง 500 mW: ค่าเฉลี่ย dRSS (น้ำเงิน) = -58.3 dBm และ iRSS = -155.22 dBm



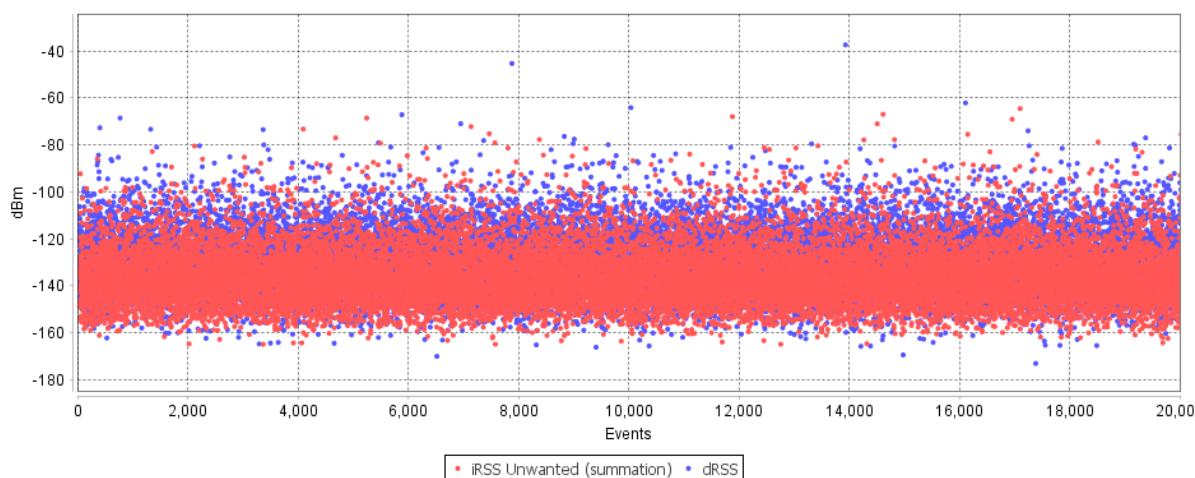
(c) กำลังส่ง 4 W: ค่าเฉลี่ย dRSS (น้ำเงิน) = -49.24 dBm และ iRSS = -155.6 dBm

รูปที่ 5.20 ค่าสัญญาณรบกวน iRSS เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ต้องการ dRSS ในการสัญญาณที่ต้องการ 20,000 ครั้ง ในช่องสัญญาณของอุปกรณ์ RFID หรือ SRD ที่ใช้คลื่นความถี่ 917 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz และระดับกำลังส่ง (a) 50 mW (b) 500 mW และ (c) 4 W E.I.R.P. ตามลำดับ

เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิคที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 5.4 ได้ตัวอย่างของผลการจำลองในรูปที่ 5.20 ซึ่งแสดงค่าสัญญาณรบกวน iRSS เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ต้องการ dRSS ในการสัญญาณที่ต้องการ 20,000 ครั้ง ในช่องสัญญาณของอุปกรณ์ RFID หรือ SRD ที่ใช้คลื่นความถี่ 917 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz และระดับกำลังส่ง (a) 50 mW (b) 500 mW และ (c) 4 W E.I.R.P. ตามลำดับ

จากผลการจำลองพบว่าระดับสัญญาณรบกวนจากระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ย่าน 905 - 915 MHz ที่ปรากฏในภาครับของอุปกรณ์ RFID หรือ SRD ที่ใช้คลื่นความถี่ 917 MHz มีระดับที่ต่ำมากที่ค่าเฉลี่ยประมาณ -155 dBm เมื่อเทียบกับระดับสัญญาณที่ต้องการที่ -62.1 ถึง -49.24 dBm จึงมีโอกาสน้อยให้เกิดการรบกวนน้อย เนื่องจากโดยทั่วไปการใช้งานอุปกรณ์ RFID และ อุปกรณ์ SRD มักมีระยะห่างน้อยระหว่างอุปกรณ์ รับ-ส่ง จึงทำให้ได้ระดับสัญญาณที่ต้องการสูงเพียงพอต่อการรับ-ส่งข้อมูล ในขณะที่ระบบ IMT ซึ่งใช้คลื่นความถี่ย่าน 905 - 915 MHz เป็นการใช้งานแบบ Uplink ซึ่งภาคส่งเป็นอุปกรณ์ลูกข่ายที่มีกำลังส่งต่ำไม่เกิน 200 mW (23 dBm) E.I.R.P. และมีการกำหนดมาตรฐานเพื่อกำหนดการแพร่แปลกปลอมดังปรากฏในหัวข้อ 5.3.2 เพื่อป้องกันการรบกวนการใช้งานของระบบอื่นในย่านความถี่ข้างเคียง

ในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณากรณี รบกวนจากระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ย่าน 905 - 915 MHz รบกวนระบบ LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) ที่ใช้คลื่นความถี่ 917 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz มีกำลังส่ง 500 mW และระยะห่างระหว่าง อุปกรณ์รับ-ส่ง ไม่เกิน 10 กิโลเมตร ได้ค่าสัญญาณรบกวน iRSS เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ต้องการ dRSS จากการสัญญาณที่ต้องการ 20,000 ครั้ง ปรากฏในรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 ค่าสัญญาณรบกวน iRSS เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ต้องการ dRSS ในการสัญญาณที่ต้องการ 20,000 ครั้ง ในช่องสัญญาณของอุปกรณ์ LPWAN ที่ใช้คลื่นความถี่ 917 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz

กำลังส่ง 500 mW และระยะห่างระหว่าง อุปกรณ์รับ-ส่ง ไม่เกิน 10 กิโลเมตร

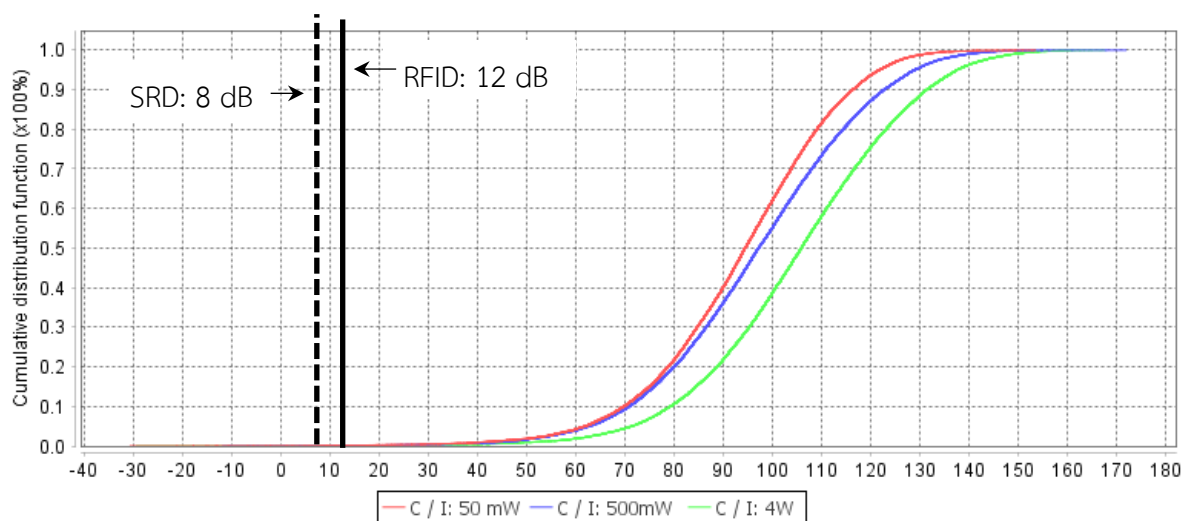
จากผลการจำลองในรูปที่ 5.21 พบว่าระดับสัญญาณรบกวน iRSS มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณที่ต้องการ dRSS เนื่องจากการใช้งาน LPWAN มีระยะระหว่างอุปกรณ์รับ-ส่ง ที่ไกล สัญญาณที่ต้องการจึงมีอัตราการลดทอนที่สูง และมีโอกาสที่สัญญาณจากระบบ IMT จะก่อให้เกิดการรบกวนต่อระบบ LPWAN ได้อย่างไรก็ตาม โอกาสเกิดการรบกวนจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเทคนิคของอุปกรณ์ภาครับด้วย ซึ่งระบบที่แตกต่างกันจะออกแบบมาให้มีความสามารถทนทานต่อระดับสัญญาณรบกวนที่ต่างกัน ซึ่งมีตัวแปรประกอบการพิจารณา ได้แก่ ค่าอัตราส่วนระดับสัญญาณคลื่นพาห์ต่อระดับสัญญาณรบกวน (C/I: Carrier to Interference ratio)

จากค่าสัญญาณที่ต้องการ dRSS และค่าสัญญาณรบกวน iRSS ที่ได้ในการจำลองส่งสัญญาณแต่ละครั้ง สามารถคำนวณค่า C/I ได้ดังนี้

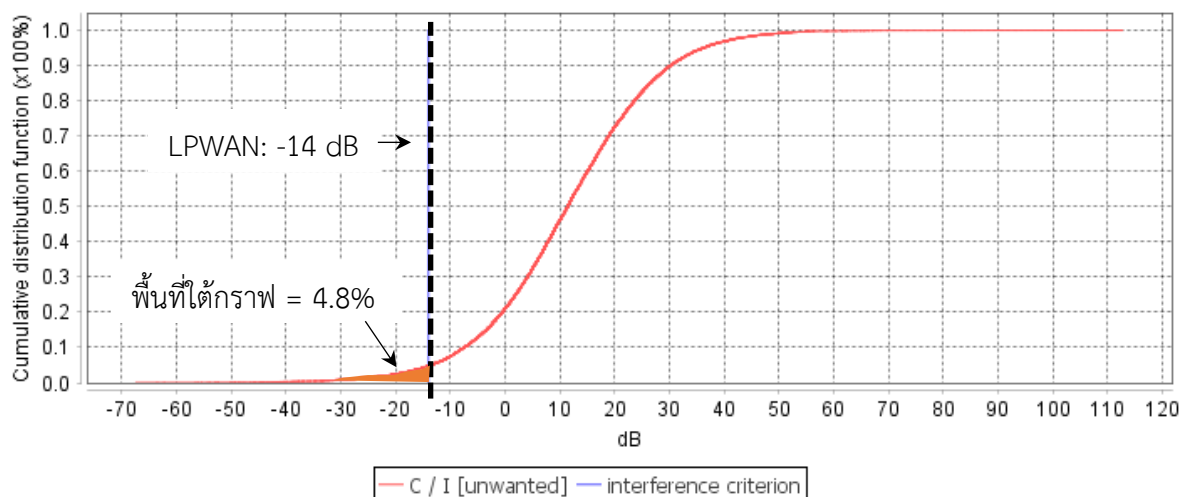
$$C/I = dRSS/iRSS_{\text{unwanted}} \quad (5.2)$$

เมื่อนำค่า dRSS และ iRSS มาคำนวณค่า C/I ของการส่งสัญญาณแต่ละครั้ง จะสามารถแสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cdf: cumulative distribution function) ของค่า C/I ที่ได้จากการรับ-ส่งข้อมูล 20,000 ครั้ง ของอุปกรณ์ RFID และ SRD กำลังส่ง 50 mW 500 mW และ 4 W E.I.R.P. ดังรูปที่ 5.22 โดยจากผลการจำลองพบว่าค่า C/I ของทุกประเภทอุปกรณ์มีค่ามากกว่าค่า C/I criterion ของอุปกรณ์ RFID และ SRD ที่ 12 dB และ 8 dB ตามลำดับ

ในลักษณะเดียวกัน เมื่อคำนวณค่า C/I ของการส่งสัญญาณแต่ละครั้งในรูปที่ 5.22 เพื่อหาโอกาสที่สัญญาณจากระบบ IMT จะก่อให้เกิดการรบกวนต่อระบบ LPWAN จะได้ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม C/I ปรากฏในรูปที่ 5.23 โดยพบว่าค่า C/I ของการส่งข้อมูลส่วนมากยังมีค่าสูงกว่า C/I criterion ของอุปกรณ์ LPWAN โดยการมีการส่งข้อมูลจำนวนน้อยประมาณ 4.8% ของจำนวนการส่งข้อมูลทั้งหมด มีค่า C/I ต่ำกว่าค่าดังกล่าว จะถือว่าเป็นการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จจากการรบกวนรุนแรง (harmful interference) โดยในกรณีนี้ถือว่ามีค่าน้อย ทั้งที่ค่า dRSS และ iRSS มีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากเทคโนโลยี LPWAN มีเครื่องรับที่มีความสามารถสูงในการรับสัญญาณที่ต่ำ ด้วย sensitivity เท่ากับ -137 dBm และ C/I criterion เท่ากับ 14 dB



รูปที่ 5.22 ค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cdf) ของค่า C/I ได้จากการรับ-ส่งข้อมูล 20,000 ครั้ง ของอุปกรณ์ RFID และ SRD กำลังส่ง 50 mW 500 mW และ 4 W E.I.R.P. ตามลำดับ



รูปที่ 5.23 ค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cdf) ของค่า C/I ได้จากการรับ-ส่งข้อมูล 20,000 ครั้งของอุปกรณ์ LPWAN กำลังส่ง 50 mW E.I.R.P. ตามลำดับ และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ ไม่เกิน 10 กิโลเมตร

จากค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cdf) ที่ได้ ทำให้สามารถคำนวณโอกาสเกิดการรบกวน (Probability of Interference) จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนการเกิดเหตุการณ์ที่ส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ ต่อจำนวนการส่งข้อมูลทั้งหมด ซึ่งเท่ากับค่าพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ที่ ค่า C/I น้อยกว่า หรือเท่ากับ ค่า C/I criterion ของอุปกรณ์ภาครับที่พิจารณา โดยจากการจำลองสถานการณ์การรบกวนของระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ต่ออุปกรณ์ RFID SRD และ LPWAN ที่ใช้ความถี่ 917 MHz ในค่ากำลังส่งและสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ได้ผลปรากฏดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 โอกาสเกิดการรบกวนเมื่อคำนวณจาก พื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cdf) เมื่อ ค่า C/I น้อยกว่าหรือเท่ากับ ค่า C/I criterion ของอุปกรณ์ภาครับในระบบ RFID SRD และ LPWAN

ระบบ	ค่า C/I criterion (ตามตาราง 5.6)	โอกาสเกิดการรบกวน (%) แบ่งกรณีตามกำลังส่งของอุปกรณ์ (E.I.R.P.)		
		50 mW	500 mW	4 W
อุปกรณ์ RFID	12 dB	0.1	0.1	0
อุปกรณ์ Short-Range Devices (SRD)	8 dB	0.1	0.1	0
ระบบ LPWAN (Coverage 10 km)	-14 dB	4.8	0.9	0.2
ระบบ LPWAN (Coverage 5 km)	-14 dB	0.6	0.2	0.1

ข้อสังเกตจากผลการจำลองการรบกวน

จากผลการทดลองที่ปรากฏในตารางที่ 5.8 พบว่า โอกาสของการรบกวนที่เกิดจากระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz ต่ออุปกรณ์ RFID SRD และ LPWAN ที่ใช้ความถี่ 917 MHz มีค่าต่ำมากโดยทุกกรณีมีโอกาสเกิดการรบกวนต่ำกว่า 1% ยกเว้นในกรณีระบบ LPWAN ที่มีกำลังส่ง 50 mW ระยะห่าง 10 กิโลเมตร ซึ่งมีโอกาสเกิดการรบกวน 4.8% ซึ่งถือว่ามีโอกาสเกิดขึ้นต่ำและสามารถแก้ไขโดยการเพิ่มการติดตั้งสถานีฐานเพื่อลดระยะทางระหว่างอุปกรณ์รับ-ส่ง เพื่อลดโอกาสเกิดการรบกวนให้น้อยลงได้

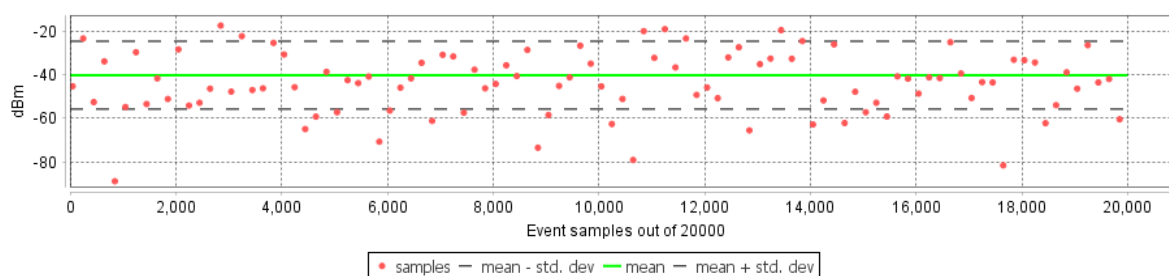
ทั้งนี้ จึงถือว่าการกำหนดให้ขยายคลื่นความถี่ให้อุปกรณ์ RFID SRD และ LPWAN ใช้งานที่คลื่นความถี่ตั้งแต่ 917 MHz ขึ้นไปสามารถดำเนินการได้ เนื่องจากมีโอกาสต่ำมากที่จะถูกรบกวนจากการใช้ระบบ IMT ที่ใช้คลื่นความถี่ 905 - 915 MHz

5.3.3 กรณีระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม ระบบการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 930 MHz

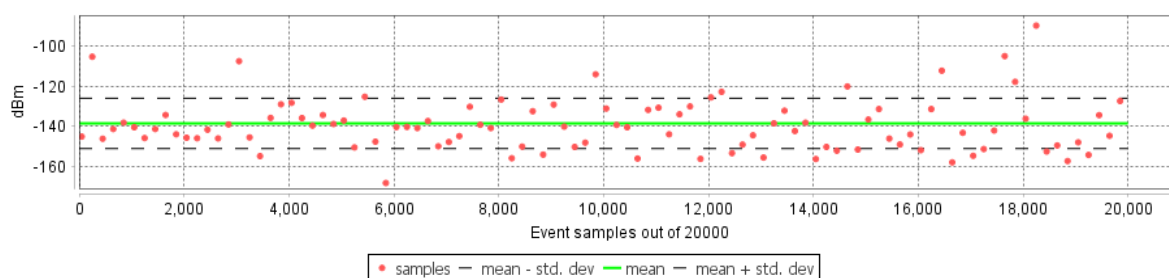
พิจารณาผลของการขยายคลื่นความถี่ให้ระบบ RFID SRD และ LPWAN ใช้งานคลื่นความถี่ระหว่าง 925 - 930 MHz ซึ่งมีโอกาสก่อให้เกิดการรบกวนต่อระบบอัตโนมัติสัญญาณของระบบคมนาคมขนส่งทางรางที่ใช้เทคโนโลยี GSM-R ภาค Downlink ความถี่ตั้งแต่ 930 MHz ขึ้นไป

จากการสำรวจเทคโนโลยีในตลาดนานาชาติที่ใช้คลื่นความถี่ในลักษณะที่อนุญาตให้ใช้เป็นการทั่วไปในหัวข้อ 3.2 พบว่า ทุกเทคโนโลยีใช้คลื่นความถี่สูงสุดไม่เกิน 928 MHz เนื่องจากการใช้คลื่นความถี่ตามที่กำหนดไว้ในข้อบังคับวิทยุ (Radio Regulations) สำหรับ ISM Band Region 2 ที่ 902 - 928 MHz และไม่มีอุปกรณ์ใช้งานในลักษณะดังกล่าวที่คลื่นความถี่ 928 - 930 MHz ในหัวข้อนี้ จึงทดสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ 928 MHz ซึ่งเป็นความถี่สูงที่สุดจะเป็นไปได้ในการใช้งานจริง

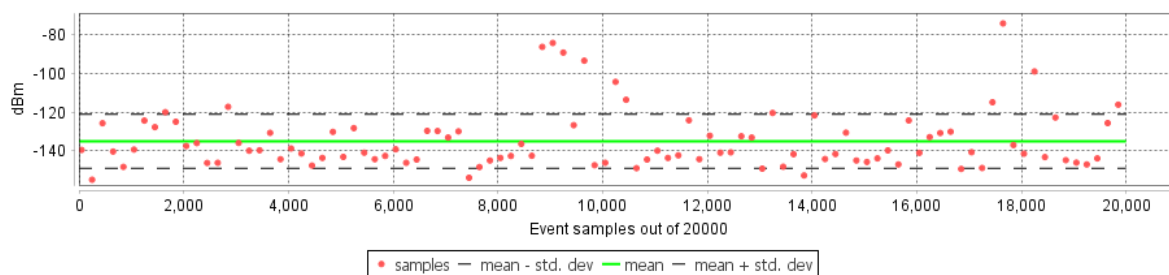
เมื่อจำลองผลการรบกวนโดยใช้โปรแกรม SEAMCAT และพารามิเตอร์ที่กำหนดในตารางที่ 5.7 และ 5.8 โดยกำหนดให้อุปกรณ์ RFID SRD และ LPWAN ใช้คลื่นความถี่ 927.8 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz กำลังส่ง 4 W E.I.R.P. และระบบ GSM-R ใช้คลื่นความถี่ 930.1 MHz ซึ่งมีระยะห่างระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ลูกข่าย 100 เมตร ได้ผลการทดลองในรูปที่ 5.24



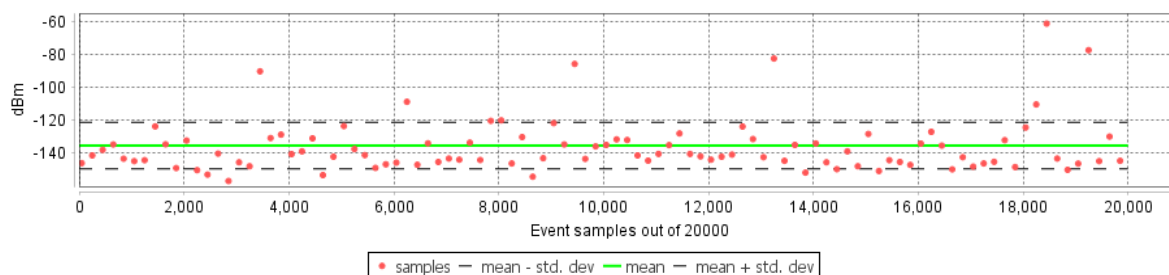
(a) ระดับสัญญาณที่ต้องการ dRSS ค่าเฉลี่ย -40.2 dBm



(b) ระดับสัญญาณรบกวน iRSS จากระบบ RFID กำลังส่ง 4 W E.I.R.P. ค่าเฉลี่ย -138.1 dBm



(c) ระดับสัญญาณรบกวน iRSS จากระบบ SRD กำลังส่ง 4 W E.I.R.P. ค่าเฉลี่ย -135.06 dBm



(d) ระดับสัญญาณรบกวน iRSS จากระบบ LPWAN กำลังส่ง 4 W E.I.R.P. ค่าเฉลี่ย -135.23 dBm

รูปที่ 5.24 ระดับสัญญาณ (a) dRSS ของระบบ GSM-R และ (b) iRSS จากระบบ RFID กำลังส่ง 4 W E.I.R.P. (c) iRSS จากระบบ SRD กำลังส่ง 4 W E.I.R.P. และ (d) iRSS จากระบบ LPWAN กำลังส่ง 4 W E.I.R.P.

ทั้งนี้ เมื่อดำเนินการจำลองเพิ่มเติม กรณี ระบบ RFID SRD และ LPWAN ที่มีกำลังส่ง 50 mW และ 500 mW และคำนวณตามวิธีการที่ดำเนินการในหัวข้อ 5.3.2 มีโอกาสเกิดการรบกวนจากระบบ RFID SRD และ LPWAN ที่ใช้คลื่นความถี่ 927.8 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz ต่อระบบ GSM-R ที่ใช้คลื่นความถี่ 930.1 MHz ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 โอกาสเกิดการรบกวนจากระบบ RFID SRD และ LPWAN ที่ใช้คลื่นความถี่ 927.8 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz ต่อระบบ GSM-R ที่ใช้คลื่นความถี่ 930.1 MHz

ระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน	โอกาสเกิดการรบกวน (%)		
	แบ่งกรณีตามกำลังส่งของอุปกรณ์ (E.I.R.P.)		
	50 mW	500 mW	4 W
อุปกรณ์ RFID	0	0	0.3
อุปกรณ์ Short-Range Devices (SRD)	0	0	0.2
ระบบ LPWAN (Coverage 10 km)	0	0	0.2

ข้อสังเกตจากผลการจำลองการรบกวน

จากตารางที่ 5.9 พบว่ามีโอกาสน้อยมากที่การใช้งานจากระบบ RFID SRD และ LPWAN ที่ใช้คลื่นความถี่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 928 MHz จะก่อให้เกิดการรบกวนต่อการใช้งานระบบ GSM-R ที่ใช้คลื่นความถี่ตั้งแต่ 930 MHz ขึ้นไป เนื่องจากระบบ GSM-R กำหนดให้อุปกรณ์ภาคส่งมีกำลังส่งสูงมากถึง 46 dBm (40 W) จึงมีโอกาสน้อยมากที่จะถูกรบกวนจากการใช้งานระบบ RFID SRD และ LPWAN ที่มีกำลังส่งต่ำกว่ามาก

การขยายให้ใช้คลื่นความถี่ถึง 928 MHz ในลักษณะอนุญาตให้ใช้เป็นการทั่วไป จึงมีความเป็นไปได้ ทั้งนี้ หากมีการขยายให้ใช้งานสูงกว่า 928 MHz อาจต้องพิจารณาความคุ้มค่าและการได้ประโยชน์จากการขยาย เนื่องจากอาจต้องมีการกำหนดระยะห่างขั้นต่ำ (Separation Distance) สำหรับคุ้มครองการรบกวนให้กับ ระบบ GSM-R

5.4.4 กรณีระบบที่ใช้คลื่นความถี่ที่ขยายเพิ่มเติม ถูกรบกวนการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 930 MHz

พิจารณาผลของการขยายคลื่นความถี่ให้ระบบ RFID SRD และ LPWAN ใช้งานคลื่นความถี่ระหว่าง 925 - 930 MHz และมีโอกาสได้รับการรบกวนต่อระบบอาณัติสัญญาณทางรางที่ใช้เทคโนโลยี GSM-R ภาค Downlink ความถี่ตั้งแต่ 930 MHz ขึ้นไป

ถึงแม้ว่าการใช้อุปกรณ์ในคลื่นความถี่ที่ถูกขยายเพิ่มเติมจะไม่ได้รับการคุ้มครองการรบกวน แต่มีความจำเป็นที่จะกำหนดแนวทางการกำกับดูแล ให้การใช้คลื่นความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เป็นการทั่วไป ได้รับผลกระทบจากการรบกวนน้อยที่สุด เมื่อดำเนินการจำลองการรบกวนโดยใช้โปรแกรม SEAMCAT กรณีระบบ RFID SRD และ LPWAN ที่มีกำลังส่ง 50 mW 500 mW และ 4 W คลื่นความถี่ 927.8 MHz E.I.R.P. ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz ได้รับการรบกวนจากระบบ GSM-R ที่ใช้คลื่นความถี่ 930.1 MHz ความกว้างช่องความถี่ 200 kHz และมีระยะห่างระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ลูกข่าย 100 เมตร ได้ผลลัพธ์โอกาสเกิดการรบกวนปรากฏตามตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 โอกาสที่ระบบ RFID SRD และ LPWAN ที่ใช้คลื่นความถี่ 927.8 MHz ความกว้างช่องสัญญาณ 400 kHz ได้รับการรบกวนจากระบบ GSM-R ที่ใช้คลื่นความถี่ 930.1 MHz

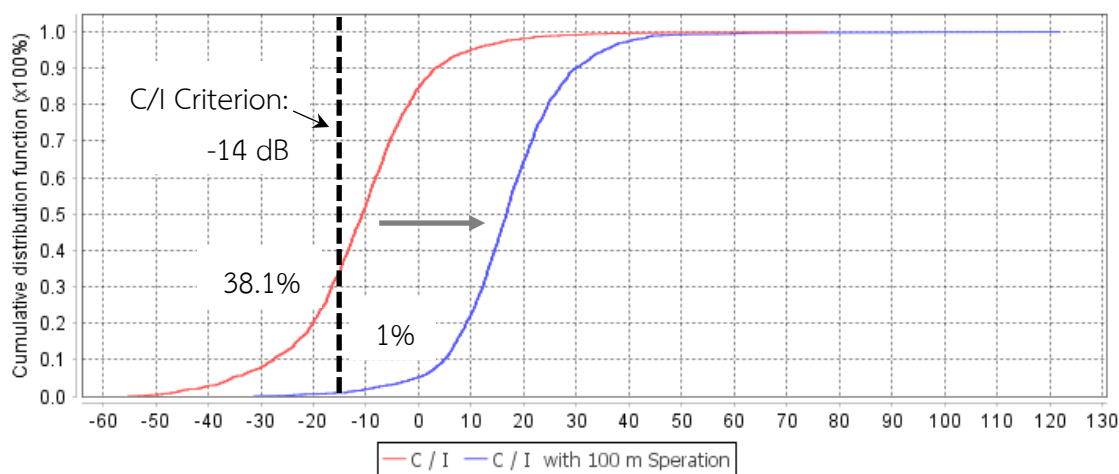
ระบบที่ก่อให้เกิดการรบกวน	โอกาสเกิดการรบกวน (%) แบ่งกรณีตามกำลังส่งของอุปกรณ์ (E.I.R.P.)		
	50 mW	500 mW	4 W
อุปกรณ์ RFID	1.7	0.5	0.4
อุปกรณ์ Short-Range Devices (SRD)	1.3	1.2	0.4
ระบบ LPWAN (Coverage 10 km)	38.1	23.1	1.4

ข้อสังเกตจากผลการจำลองการรบกวน

จากตาราง 5.10 พบว่ามีโอกาสน้อยที่อุปกรณ์ RFID และ SRD ที่จะถูกรบกวนจากการใช้งานระบบ GSM-R ที่ใช้คลื่นความถี่ตั้งแต่ 930 MHz ขึ้นไป อย่างไรก็ตาม ระบบ LPWAN ถูกรบกวนอย่างมีนัยสำคัญจากระบบ GSM-R เนื่องจากระบบ LPWAN ออกแบบมาให้รองรับการใช้งานที่มีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับ-ส่ง สัญญาณที่ไกล และสามารถรับค่าสัญญาณที่มีระดับต่ำมากได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการถูกรบกวนจากเครื่องลูกข่าย LTE ที่มีกำลังส่งต่ำในหัวข้อที่ 5.5.2 การรบกวนจากสถานีฐาน GSM-R มีการใช้งานที่กำลังส่งสูงกว่ามาก จึงส่งผลให้ค่า C/I ของการรับส่งข้อมูลในกรณีส่วนมากมีค่าต่ำมาก และน้อยกว่าค่า C/I criterion ของระบบ LPWAN จึงก่อให้เกิดการรบกวนสูง

ทั้งนี้ จากรูปที่ 5.25 เมื่อกำหนดให้มีระยะห่างขั้นต่ำ (Separation Distance) ระหว่างสถานีฐานระบบ GSM-R และอุปกรณ์ภาครับในระบบ LPWAN จะเป็นการลดระดับสัญญาณรบกวนและเพิ่มค่า C/I จะเป็นผลให้การรบกวนลดลงจาก 38.1% เป็น 1% ได้ สำหรับระบบ LPWAN กำลังส่ง 50 mW จึงเป็นข้อสังเกต

ว่า เพื่อลดโอกาสที่ระบบ LPWAN ได้รับการรบกวนจากการขยายให้ใช้งานถึงความถี่ 925 - 928 MHz ควรกำหนดระยะ Separation Distance ระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ภาครับของระบบ LPWAN อย่างน้อย 100 m ขึ้นไป



รูปที่ 5.25 การเปรียบเทียบค่า C/I ของการรับ-ส่ง สัญญาณในระบบ LPWAN กำลังส่ง 50 mW ในกรณีที่ ไม่มีการกำหนด Separation Distance และกรณีกำหนด Separation Distance ห่างขั้นต่ำ 100 เมตร

บทที่ 6

แนวทางการขยายคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในประเทศไทย

จากผลการสำรวจเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ผลการสำรวจความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกรณีการปรับปรุงคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ในบทที่ 3 และ 4 ประกอบกับผลการวิเคราะห์การรบกวนทางวิศวกรรมในบทที่ 5 ตามลำดับ สามารถจัดทำแนวทางการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว ในลักษณะทางเลือกแนวนโยบาย (policy options) ดังนี้

1) ไม่ขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติม

การพิจารณาทางเลือกแนวนโยบาย โดยคงเงื่อนไขการใช้คลื่นความถี่ 920-925 MHz และไม่ขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติม ตั้งอยู่บนเหตุที่ว่า จากผลการสำรวจการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในปัจจุบัน ยังไม่ปรากฏความต้องการอย่างชัดเจน และยังไม่มีความจำเป็นที่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมากเพียงพอที่แสดงความประสงค์ให้ขยายคลื่นความถี่ดังกล่าว นอกจากนี้ ทางเลือกดังกล่าวยังเหมาะสมในกรณีที่มีความไม่แน่นอนทางนโยบายการบริหารคลื่นความถี่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่อาจจะกระทบภาพรวมคลื่นความถี่ในย่าน 800-900 MHz โดยมีคลื่นความถี่ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวการกำหนดให้ขยายคลื่นความถี่เพิ่มเติมโดยอนุญาตให้ใช้เป็นการทั่วไป และเรียกคืนคลื่นความถี่ดังกล่าวในภายหลังในกรณีมีความจำเป็น อาจก่อให้เกิดค่าเสียโอกาส และความไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนระยะยาวสำหรับผู้ผลิตที่เลือกผลิตอุปกรณ์ให้ใช้คลื่นความถี่ที่กำหนดให้ขยายเพิ่มเติม อีกทั้งมีความซับซ้อนในการเรียกคืนคลื่นความถี่เนื่องจากมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก และการมีอุปกรณ์ในท้องตลาดที่หลากหลาย ทางเลือกแนวนโยบายโดยคงไว้ซึ่งการใช้คลื่นความถี่ดังเดิม ปรากฏในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แผนภาพความถี่ในขอบเขตการพิจารณาปรับปรุงการใช้งานเพื่อให้ใช้งานเป็นการทั่วไป

ข้อดี

ไม่ก่อให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบจากการขยายคลื่นความถี่สำหรับผู้ได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่ข้างเคียง และไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่และการปฏิบัติตาม

ข้อเสีย

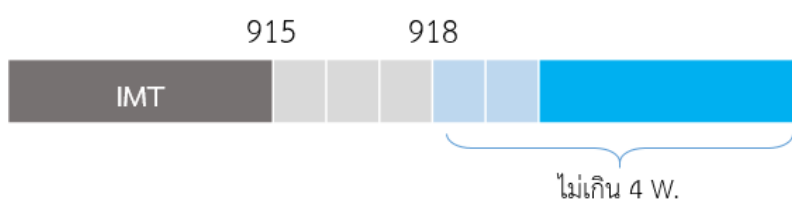
หากปริมาณการใช้งานในอนาคตมีเพิ่มมากขึ้นจนเกิดความแออัดอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานเป็นวงกว้างได้ นอกจากนี้การคงไว้ซึ่งแถบความถี่ป้องกันด้านละ 5 MHz เป็นการใช้คลื่นความถี่ที่ไม่มีประสิทธิภาพ

2) ขยายคลื่นความถี่ด้านต่ำกว่าความถี่ 920 MHz เพิ่มเติม 2 MHz โดยกำหนดความถี่เริ่มต้นที่ 918 MHz สำหรับอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 4 W

จากผลการจำลองสถานการณ์การใช้งานเพื่อวิเคราะห์การรบกวนระหว่างการใช้ RFID SRD และ LPWAN ที่มีกำลังส่ง 50 mW 500 mW และ 4 W และการทำงานของระบบ IMT ในบทที่ 5 ได้ค่าเฉลี่ยสัญญาณ

รบกวนที่ไม่ต้องการ (iRSS: interfering Received Signal Strength) ที่ปรากฏ ณ อุปกรณ์ภาครับของระบบ IMT มีค่าใกล้เคียงกันทั้งการจำลองใช้งานด้วยอุปกรณ์ RFID ทั้ง 3 ระดับกำลังส่ง บริเวณ -105 ถึง -110 dBm ที่คลื่นความถี่ 918 MHz และได้ %Throughput ของระบบ IMT ใกล้เคียงกันในระหว่าง 95 - 100% ที่คลื่นความถี่ 918 MHz ซึ่งเป็นการใช้งาน RFID SRD และ LPWAN ที่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อการใช้งานในระบบ IMT ในระดับต่ำและมีความใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ จากผลการสำรวจเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) พบว่า มีอุปกรณ์ที่ให้การรองรับการใช้คลื่นความถี่เริ่มต้นที่ 918 MHz อยู่เป็นจำนวนมาก รวมถึงมีการนำเข้าอุปกรณ์ดังกล่าวในบริเวณประเทศใกล้เคียง ซึ่งจะช่วยให้สามารถควบคุมระดับต้นทุนด้านอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม จึงพิจารณาขยายคลื่นความถี่โดยเริ่มต้นที่ 918 MHz ดังปรากฏในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 การพิจารณาขยายคลื่นความถี่โดยเริ่มต้นที่ 918 MHz เพื่อให้ใช้งานเป็นการทั่วไป

ข้อดี

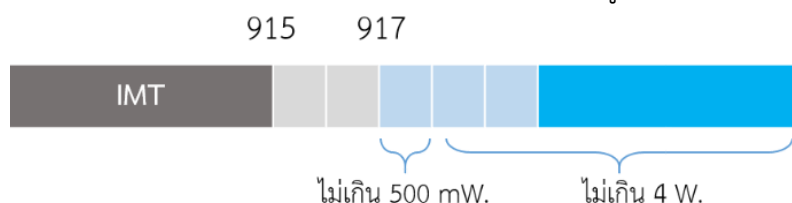
สามารถรองรับปริมาณการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคตและนำคลื่นความถี่มาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสีย

อาจก่อให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบจากการขยายคลื่นความถี่สำหรับผู้ได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่ข้างเคียง

3) ขยายคลื่นความถี่ด้านต่ำกว่าความถี่ 920 MHz เพิ่มเติม 3 MHz โดยกำหนดความถี่เริ่มต้นที่ 917 MHz สำหรับอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 500 mW และความถี่เริ่มต้นที่ 918 MHz สำหรับอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 4 W

จากคำอธิบายในข้อ 2) บ่งชี้ว่าอุปกรณ์ RFID SRD และ LPWAN ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 4 W มีความเป็นไปได้ที่จะใช้งานได้ตั้งแต่คลื่นความถี่ 918 MHz แต่จากผลการจำลองการรบกวนในบทที่ 5 รูปที่ 5.19 จะพบว่าการจำลองการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวที่กำลังส่ง 50 mW และ 500 mW ที่คลื่นความถี่ 917 MHz จะได้ค่า iRSS ของระบบ IMT สูงไม่เกิน -105 dBm และมี %Throughput ของระบบ IMT ใกล้เคียงกันในระหว่าง 95 - 100% เช่นกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีกำลังส่งไม่เกิน 500 mW ที่ความถี่ตั้งแต่ 917 MHz โดยมีรายละเอียดการขยายคลื่นความถี่และกำลังส่งตามรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 การพิจารณาขยายคลื่นความถี่โดยเริ่มต้นที่ 917 MHz เพื่อให้ใช้งานเป็นการทั่วไป

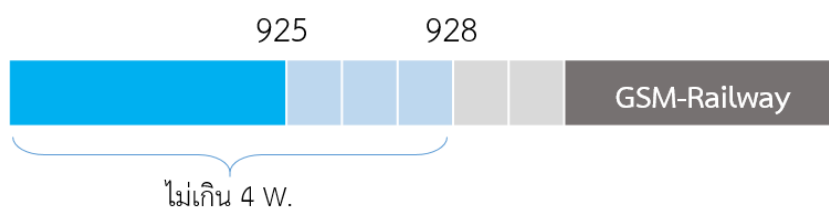
ข้อดี

สามารถรองรับปริมาณการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคตและนำคลื่นความถี่มาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงช่วยกระจายความแออัดให้กับการใช้งานอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งต่ำในคลื่นความถี่ดังกล่าว

ข้อเสีย

อาจก่อให้เกิดความกังวลหรือผลกระทบจากการใช้งานที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของการกำกับดูแลในกรณีขยายคลื่นความถี่ต่อผู้ได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่ข้างเคียง และมีความซับซ้อนในการกำกับดูแลและการปฏิบัติตาม

4) ขยายคลื่นความถี่ด้านสูงกว่าความถี่ 925 MHz เพิ่มเติม 3 MHz จากเดิมสิ้นสุดที่ 925 MHz เป็นสิ้นสุดที่ 928 MHz สำหรับอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 4 W โดยให้มีการใช้งานที่ระยะห่างอย่างน้อย 100 เมตรจากทางเดินรถไฟหรือสถานีรถไฟที่ใช้ระบบ GSM-R ในคลื่นความถี่ย่าน 930 - 935 MHz



จากผลการจำลองสถานการณ์การใช้งานเพื่อวิเคราะห์การรบกวนระหว่างการใช้ RFID SRD และ LPWAN ที่มีกำลังส่ง 50 mW 500 mW และ 4 W และการใช้งานระบบ GSM-R ในบทที่ 5 พบว่า มีระดับสัญญาณรบกวนไปยังระบบ GSM-R ต่ำกว่า -130 dBm เนื่องจากระดับกำลังส่งของระบบ GSM-R สูงมาก การใช้งานจากอุปกรณ์ดังกล่าวจึงมีผลกระทบน้อยมาก

นอกจากนี้ ผลการสำรวจเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) พบว่า อุปกรณ์สำหรับการใช้งาน IoT ในย่าน UHF ให้การรองรับการใช้คลื่นความถี่สิ้นสุดที่ 928 MHz จึงไม่มีความจำเป็นต้องขยายคลื่นความถี่ให้สูงกว่า 928 MHz เพื่อให้ใช้งานเป็นการทั่วไป รวมถึงเป็นการจำกัดโอกาสก่อให้เกิดการรบกวนจากการใช้งานดังกล่าวต่อระบบอาณัติสัญญาณที่สำคัญที่ใช้คลื่นความถี่ข้างเคียงได้

ข้อดี

สามารถรองรับปริมาณการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคตและนำคลื่นความถี่มาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ข้อเสีย

อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งานในระบบอาณัติสัญญาณของระบบคมนาคมขนส่งทางรางหากมีการใช้งานในบริเวณใกล้เคียงกับการใช้งานระบบ GSM-R ที่ระยะห่างน้อยกว่า 100 เมตร ซึ่งเป็นการรบกวนที่ไม่สามารถยอมรับได้ และอุปกรณ์ที่มีการรองรับการใช้งานเฉพาะ 918 หรือ 920 - 928 MHz ในตลาดสากลอาจมีปริมาณน้อยหรือมีต้นทุนสูง

5) กำหนดให้การใช้งานในลักษณะสาธารณูปโภคพื้นฐานของประเทศ หรือการใช้งานลักษณะมหภาคโดยผู้ใช้เดียวกัน ในช่วงความถี่อื่นเป็นการเฉพาะ

จากความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) และผลสำรวจความคิดเห็นต่อการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคลื่นความถี่ ส่วนมากให้การสนับสนุนให้มีการแยกการใช้งานระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานหรือลักษณะการใช้งานที่มีความสอดคล้อง โดยให้พิจารณาขอรับการจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแออัดในคลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz รวมถึงได้รับสิทธิการคุ้มครองการรบกวนอย่างเหมาะสม

ข้อดี

สามารถลดความแออัดจากการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวได้เป็นอย่างมาก

ข้อเสีย

จะต้องมีการนำคลื่นความถี่อื่นมาจัดสรรเพื่อการใช้งานในลักษณะดังกล่าวซึ่งเป็นการลดประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่

จากผลการศึกษาความเป็นไปได้และแนวทางการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz นี้สามารถนำไปประกอบการพิจารณาปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวให้มีความเหมาะสมและสามารถใช้คลื่นความถี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมถึงสามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกใช้คลื่นความถี่เพิ่มเติมสำหรับวิทยุคมนาคมในอุตสาหกรรมแบบ Vertical Industry ได้ อย่างไรก็ตาม หากมีผู้สนใจหรือผู้แจ้งความประสงค์ใช้คลื่นความถี่ในส่วนที่มีการศึกษาการขยายดังกล่าว สำนักงาน กสทช. จะมีการพิจารณาปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวโดยใช้แนวทางที่ได้จากผลการศึกษาข้างต้นนี้ และต้องดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังนี้

- จัดให้มีการทดลอง/ทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ RFID SRD และ LPWAN ร่วมกับระบบ IMT และ GSM-R
- จัดให้มีการรับฟังความคิดเห็นสาธารณะต่อการพิจารณาปรับปรุงแนวทางการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว
- ปรับปรุง ประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน ๙๒๐ - ๙๒๕ เมกะเฮิรตซ์
- ปรับปรุง ประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การใช้คลื่นความถี่และเครื่องวิทยุคมนาคมที่อนุญาตให้มีการใช้งานเป็นการทั่วไป
- ปรับปรุง ประกาศ กสทช. เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID
- ปรับปรุง ประกาศ กสทช. เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ใช่ประเภท Radio Frequency Identification: RFID ซึ่งใช้คลื่นความถี่ย่าน ๙๒๐ - ๙๒๕ เมกะเฮิรตซ์

ทั้งนี้ การปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่หรือการขยายคลื่นความถี่ดังกล่าว อาจกำหนดให้สามารถใช้คลื่นความถี่ได้ตั้งแต่ 917 - 928 MHz หรือ 918 - 928 MHz หรือขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง/ทดสอบเพื่อวิเคราะห์การรบกวนและการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน รวมถึงอาจมีข้อกำหนดทางเทคนิคเพิ่มเติมให้มีความเหมาะสมในการปรับปรุงแนวทางและการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ส่วนขยายดังกล่าวเป็นการทั่วไปต่อไป

แหล่งอ้างอิง

- [1] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, “ประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน ๙๒๐ - ๙๒๕ เมกะเฮิรตซ์,” *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่ม 134 ตอนพิเศษ 289 ง, หน้า 47-49, 2560.
- [2] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, “ประกาศ กสทช. เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคม ประเภท Radio Frequency Identification: RFID,” *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่ม 134 ตอนพิเศษ 289 ง, หน้า 50, 2560.
- [3] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, “ประกาศ กสทช. เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ใช่ ประเภท Radio Frequency Identification: RFID ซึ่งใช้คลื่นความถี่ย่าน ๙๒๐ - ๙๒๕ เมกะเฮิรตซ์,” *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่ม 134 ตอนพิเศษ 289 ง, หน้า 51, 2560.
- [4] Infocomm Media Development Authority, “Technical Specification Short Range Devices,” 2018.
- [5] Office of the Communications Authority, “Performance Specification for Radio Equipment Operating in the 920 - 925 MHz Band for the Provision of Public Telecommunications Services,” 2017.
- [6] Association of Radio Industries and Businesses, “920MHz-BAND TELEMETER, TELECONTROL AND DATA TRANSMISSION RADIO EQUIPMENT,” 2018.
- [7] The Australian Communications and Media Authority, “Radiocommunications (Low Interference Potential Devices) Class Licence 2015,” 2016.
- [8] The New Zealand Gazette, “Radiocommunications Regulations (General User Radio Licence for Short Range Devices) Notice 2019,” 2019.
- [9] Official Journal of the European Union, “COMMISSION IMPLEMENTING DECISION (EU) 2018/1538 of 11 October 2018 on the harmonisation of radio spectrum for use by short-range devices within the 874-876 and 915-921 MHz frequency bands,” 2018.
- [10] Electronic Communications Committee, “Future Spectrum Demand for Short Range Devices in the UHF Frequency Bands,” 2014.
- [11] Federal Communications Commission, “47 CFR 15.247 - Operation within the bands 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, and 5725-5850 MHz,” 2010.
- [12] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, “ประกาศ กสทช. เรื่อง แผนความถี่วิทยุกิจการเคลื่อนที่ ย่านความถี่ ๘๘๕-๘๙๕/๙๓๐-๙๔๐ เมกะเฮิรตซ์,” *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่ม 135 ตอนพิเศษ 159 ง, หน้า 24, 2561.

- [13] European Telecommunications Standards Institute, “ 5G; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception,” 2020.
- [14] The International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, “ Report ITU-R SM.2028: Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems,” 2017.
- [15] European Conference of Postal and Telecommunication administrations, “ SEAMCAT Handbook,” 2010.
- [16] European Telecommunications Standards Institute, “ ETSI TS 102 932- 1: Railway Telecommunications (RT); ER-GSM frequencies; Part 1: ER-GSM additional radio aspects,” 2011.
- [17] European Telecommunications Standards Institute, “ ETSI EN 300 220: Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz; frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 1: Technical characteristics and test methods,” 2012.
- [18] Electronic Communications Committee, “ECC Report 189: Future Spectrum Demand for Short Range Devices in the UHF frequency bands,” 2014.
- [19] Electronic Communications Committee, “ ECC Report 200: "Co-existence studies for proposed SRD and RFID applications in the frequency 870-876 MHz/915-921 MHz,” 2020.
- [20] Electronic Communications Committee, “ Addendum to ECC Report 200: "Additional co-existence studies between SRDs/RFIDs and E-GSM-R in the 900 MHz frequency band,” 2020.