กทปส

รายงานฉบับสมบูรณ์ (ส่วนที่ 1)

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

โครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่ สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และ กิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ และ 28 กิกะเฮิรตซ์

โดย

1.	รศ. ดร.วิทวัส สิฏฐกุล	หัวหน้าโครงการ
2.	ดร. พิสิฐ วนิชชานันท์	นักวิจัย
3.	ดร. สิทธิชัย เด่นตรี	นักวิจัย
4.	ผศ. ดร.วิทยากร อัศดรวิเศษ	นักวิจัย
5.	ผศ. ดร. ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี	นักวิจัย
6.	นายธีรพงษ์ ประทุมศิริ	นักวิจัย
7.	ดร. ศริญญา ปะสะกวี	นักวิจัย
8.	รศ.ดร.ชานนท์ วริสาร	นักวิจัย

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)
รายงานฉบับสมบูรณ์
ทุนส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา
สัญญารับทุนเลขที่ B63-4-(2)-004

โครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และ กิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ และ 28 กิกะเฮิรตซ์

คณะวิจัย

1.	รศ. ดร.วิทวัส สิฏฐกุล	หัวหน้าโครงการ
2.	ดร. พิสิฐ วนิชชานันท์	นักวิจัย
3.	ดร. สิทธิชัย เด่นตรี	นักวิจัย
4.	ผศ. ดร.วิทยากร อัศดรวิเศษ	นักวิจัย
5.	ผศ. ดร. ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี	นักวิจัย
6.	นายธีรพงษ์ ประทุมศิริ	นักวิจัย
7.	ดร. ศริญญา ปะสะกวี	นักวิจัย
8.	รศ.ดร.ชานนท์ วริสาร	นักวิจัย

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

สารบัญ

1 บทสรุปผู้บริหาร 7

1.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ปัญหา อุปสรรค หรือข้อเสนอแนะอื่นๆ 8

1.1.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการกำกับดูแลใช้งานคลื่นความถี่ในย่าน 3500 MHz ระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลเทคโนโลยี 5G และกิจการอื่น 8

1.1.2 รายละเอียดคุณลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำของหัวรับ LNB ที่พึงประสงค์ 10

1.2 มาตรการบรรเทาการรบกวน และเงื่อนไขในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน 11

2 บทคัดย่อ 12

3 Abstract 13

4 การศึกษาเปรียบเทียบแนวทางการกำกับดูแลเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์และ 28 กิกะเฮิรตซ์ ในต่างประเทศ 14

4.1 รายละเอียดเบื้องต้นของผลการวิจัย 14

4.1.1 สหรัฐอเมริกา 15

4.1.2 สาธารณรัฐประชาชนจีน 21

4.1.3 เขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน 31

4.1.4 สาธารณรัฐฟิลิปปินส์ 36

4.1.5 สหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล 39

4.2 สรุปประเด็นและแนวทางการใช้ความถี่ร่วมกัน 43

5 มาตรฐานและวิธีการทดสอบคลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz 48

5.1 การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร (Indoor) 48

5.1.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ 49

5.1.2 สถานที่ทดสอบ 55

5.1.3 ผู้เข้าร่วมทดสอบ 56

5.1.4 วิธีการทดสอบ 56

5.1.5 สมมติฐานในการทดสอบ 61

5.1.6 ข้อจำกัดในการทดสอบ 61

5.1.7 ผลการทดสอบ 62

5.1.8 สรุปผลการทดสอบ 72

5.2 การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor) 73

5.2.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ 73

5.2.2 สถานที่ทดสอบ 78

5.2.3 ผู้เข้าร่วมทดสอบ 79

5.2.4 วิธีการทดสอบ 79
5.2.5 สมมติฐานในการทดสอบ 98
5.2.6 ข้อจำกัดในการทดสอบ 98
5.2.7 ผลการทดสอบ 99
6 ผลการศึกษาเพิ่มเติม 123
6.1 ผลการศึกษากรณีใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร 123
6.2 กิจการสถานีภาคพื้นดินขนาดเล็ก (Very Small Aperture Terminal) 131
6.3 การจำลองเพื่อหาระยะห่างป้องกันสำหรับการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียมในกรณีที่ใช้หัว LNB ที่ไม่มี 5G Filter 138
6.3.1 การจำลองด้วยซอฟต์แวร์ Planet 140
6.3.2 ผลการจำลอง 144
6.3.3 การนำตารางไปใช้งาน 146
6.4 การจำลองเพื่อหาระยะห่างป้องกันสำหรับการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียมในกรณีการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ชนบท (Rural Area) 153
6.5 การประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจ 155
6.6 ผลการศึกษาการรบกวนสัญญาณจากระบบ 5G ต่อเครื่องวัดความสูงด้วยคลื่นวิทยุของอากาศยาน 156
6.6.1 ข้อกังวลและคำเตือนโดย ICAO 156
6.6.2 เครื่องวัดความสูงด้วยคลื่นวิทยุ 156
6.6.3 ลักษณะการรบกวนสัญญาณ RA 159
6.6.4 ตัวอย่างผลการศึกษาในสหรัฐอเมริกา 163
6.6.5 ตัวอย่างแนวทางการกำกับดูแลในต่างประเทศ 168
6.6.6 ข้อเสนอแนะแนวทางกำกับดูแลสำหรับประเทศไทย 169
6.6.7 ข้อคิดเห็นของผู้ใช้งาน 170
6.7 ผลของทิศทางสถานีฐาน 171
7 สรุปผลการดำเนินงานโครงการ 176
7.1 ข้อสรุปคุณสมบัติทางเทคนิค 176
7.1.1 การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร (Indoor) ย่าน 3500 MHz 176
7.1.2 การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor) ย่าน 3500 MHz 177
7.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ปัญหา อุปสรรค หรือข้อเสนอแนะอื่นๆ 178

7.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการกำกับดูแลใช้งานคลื่นความถี่ในย่าน 3500 MHz ระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลเทคโนโลยี 5G และกิจการอื่น 178
7.2.2 รายละเอียดคุณลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำของหัวรับ LNB ที่พึงประสงค์ 181
7.3 มาตรการบรรเทาการรบกวน และเงื่อนไขในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน 182
8 ภาคผนวก ก 183
8.1 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3400 - 4200 MHz (บริษัท อินโฟแซท จำกัด) 183
8.2 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3700 - 4200 MHz (บริษัท อินโฟแซท จำกัด) 184
8.3 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3400 - 4200 MHz (บริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด) 185
8.4 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3700 - 4200 MHz (บริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด) 186
8.5 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3700 - 4200 MHz แบบ No Filter (บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์) 187
8.6 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3700 - 4200 MHz แบบมี Filter (บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์) 188
8.7 คุณลักษณะของหัวรับ LNB ที่ใช้ในการทดลอง 189
8.8 รายละเอียด Data sheet หัวรับ LNB และ Band Pass Filter ที่ใช้ในการทดลอง 190
8.8.1 รุ่น ID 800 (5G) 190
8.8.2 รุ่น ID 820 (5G) 191
8.8.3 รุ่น ID 900+ 5G Filter 3.7-4.2 GHz 192
8.8.4 รุ่น ID 920+ 5G Filter LNB 193
8.8.5 รุ่น Infosat CG-1 band LNB_F 5G Pro Filter 194
8.8.6 รุ่น Infosat CG-2 band LNB_F 5G Pro Filter 195
8.8.7 รุ่น Infosat C1+ LNB_F 5G Filter 196
8.8.8 รุ่น Infosat C2+ LNB_F 5G Filter 197
8.8.9 รุ่น PSI X-2 5G 198
8.8.10 รุ่น ID-1000 (All In One) 5G Filter 3.7-4.2 GHz 199
8.8.11 รุ่น ID-D 01 (LNB) ID-DPF-A Filter 3.7-4.2 GHz 200
8.8.12 รุ่น C-Band Band Pass Filter 3.7-4.2 GHz 201
8.9 แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์การประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนหัวรับ LNB 202

8.9.1 การคำนวณต้นทุนการเปลี่ยนหัวรับ LNB ทั้งประเทศไทยในระยะเวลา 5 ปี 202
8.9.2 สมมติฐานการคำนวณ 204
8.9.3 สำรวจราคาจำหน่ายหัวรับ LNB C band 205
8.9.4 สำรวจค่าแรงการเปลี่ยนหัวรับ LNB 213
9 ข้อเสนอแนะจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง 216
9.1 บริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี่ (ประเทศไทย) 216
9.2 บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน) 218
9.3 บริษัท ทรู มูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมูนิเคชั่น จำกัด 219
9.4 บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด 220
9.5 บริษัท อินโฟแซท จำกัด 221
10 การจัดประชุม 222
10.1 การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ (สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายในอาคาร) 222
10.2 การเข้าร่วมสังเกตการณ์การทดสอบโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ (สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายนอกอาคาร) 226
10.3 การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ (สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายนอกอาคาร) 228
10.4 การประชุมสัมมนาออนไลน์รับฟังและเสนอแนะแนวทางการทดสอบ เพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์ 232
10.5 การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์ 236
11 การเผยแพร่ผลการศึกษา 239

11.1 การเผยแพร่ผ่านสื่อสารสนเทศ 239

11.2 การจัดพิมพ์ White Paper 240

11.3 การประชุมสัมมนาออนไลน์เผยแพร่ผลการศึกษาโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์ 254

1 บทสรุปผู้บริหาร

โครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และ กิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ และ 28 กิกะเฮิรตซ์

ทั้งนี้สืบเนื่องตามมาตรา 52 แห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2560 (ฉบับที่ 2) มีหนึ่งในวัตถุประสงค์คือ การส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาทรัพยากรสื่อสาร การวิจัยและพัฒนาด้านกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม รวมทั้งความสามารถในการรู้เท่าทันสื่อเทคโนโลยีด้านการใช้คลื่นความถี่ เทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ ผู้สูงอายุ หรือผู้ด้อยโอกาส ตลอดจนอุตสาหกรรมโทรคมนาคม และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารได้ขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว หลายประเทศ (เช่น ประเทศเกาหลีใต้ ประเทศอังกฤษ ประเทศญี่ปุ่น และประเทศจีน) ได้เริ่มทดลองใช้ย่านความถี่ 3400 ถึง 3600 เมกะเฮิรตซ์และ 27.5 ถึง 29.5 กิกะเฮิรตซ์ สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) เป็นที่เรียบร้อยแล้ว อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทย ย่านความถี่ 3400 ถึง 4200 เมกะเฮิรตซ์ และ 27 ถึง 31 กิกะเฮิรตซ์ยังมีการใช้งานในกิจการดาวเทียมอยู่ ดังนั้นการนำคลื่นความถี่ย่านดังกล่าวมาใช้งานสำหรับระบบ 5G ควรจะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันกับกิจการที่ใช้งานอยู่ด้วยอย่างระมัดระวังและมีการกำหนดนโยบายในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันอย่างชัดเจน

ด้วยเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าว เพื่อให้การบริหารคลื่นความถี่ของประเทศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือเป็นสถาบันทางการศึกษา มีบทบาทหน้าที่ในการพัฒนากำลังคน การวิจัยและการสร้างนวัตกรรมให้แก่ประเทศไทยมาอย่างยาวนาน ในฐานะสถาบันการศึกษาจึงขอดำเนิน “โครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และ กิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ และ 28 กิกะเฮิรตซ์” เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมและสร้างองค์ความรู้ ความเข้าใจร่วมกับสำนักงาน กสทช. และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ในการวางนโยบายด้านการบริหารคลื่นความถี่ และสร้างกลไกการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งภาครัฐ เอกชน สถาบันการศึกษา และภาคประชาสังคม เพื่อรองรับการเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยีด้านการสื่อสารของประเทศ ให้สอดคล้องตามแนวทางการพัฒนาในระดับสากล เป็นข้อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ และ 28 กิกะเฮิรตซ์ ที่มีความโปร่งใส ถูกต้อง และตรวจสอบได้ในทุกขั้นตอน

โดยคณะวิจัยได้ทำการออกแบบวิธีการศึกษาตามระเบียบวิจัยและกรอบมาตรฐาน ทั้งนี้มีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้เข้าร่วมสังเกตการณ์และให้ข้อเสนอแนะตลอดระยะเวลาของโครงการ ซึ่งมีข้อสรุปของข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและมาตรการบรรเทาการรบกวน ดังนี้

1.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ปัญหา อุปสรรค หรือข้อเสนอแนะอื่นๆ

1.1.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการกำกับดูแลใช้งานคลื่นความถี่ในย่าน 3500 MHz ระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลเทคโนโลยี 5G และกิจการอื่น

1) กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายในอาคาร หากจำเป็นต้องมีการใช้งานคลื่นความถี่ IMT ในช่วง 3400 – 3600 MHz ในประเทศไทย คณะวิจัยพบว่าการตั้งสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคารที่มีกำลังส่ง 1W ปล่อยสัญญาณในช่วงความถี่ 3500 ถึง 3600 MHz ด้วยแบนด์วิดธ์ 100 MHz ได้ (โดยทั่วไปสถานีฐาน 5G ภายในอาคารจะใช้กำลังส่งและแบนด์วิดธ์ที่น้อยกว่าสถานีฐานภายนอกอาคาร) ไม่ส่งผลกระทบและสร้างสัญญาณรบกวนมากพอ จนทำให้ระบบโทรทัศน์ดาวเทียมที่ยังใช้หัวรับ LNB แบบปกติ (3.4 – 4.2 GHz) ทำงานผิดปกติ ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียมไม่น้อยกว่า 25 เมตร

2) ในระยะสั้น กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายนอกอาคาร หากจำเป็นต้องมีการใช้งานคลื่นความถี่ IMT ในช่วง 3400 – 3700 MHz ในประเทศไทย เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้รายเดิมของระบบโทรทัศน์ดาวเทียม ควรกำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ในช่วง 3400 - 3600 MHz ด้วยแบนด์วิดธ์ 200 MHz ให้ใช้กับบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G เสียก่อน และจัดให้คลื่นความถี่ที่ใช้ในกิจการดาวเทียมในช่วง 3.7 – 4.2 GHz จำนวน 500 MHz ดังเดิม โดยมีแถบความถี่ป้องกันการรบกวน (Guard band) ขนาด 100 MHz ป้องกันไว้ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียม (ขนาด 1.5 เมตรและ 1.8 เมตร) ไม่น้อยกว่า 130 เมตร และสถานีฐาน 5G ใช้กำลังส่ง (EIRP) ไม่เกิน 200 Watt โดยใช้หัวรับ LNB_F[1] ที่มีวงจรกรองความถี่ที่มีมาตรฐาน (คุณลักษณะขั้นต่ำตามที่คณะวิจัยเสนอแนะ)

3) ในระยะยาว (5 ปี เป็นต้นไป) กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายนอกอาคาร หากจำเป็นต้องมีการใช้งานคลื่นความถี่ IMT ในช่วง 3300 – 3800 MHz (N78) ในประเทศไทย ที่มากกว่าช่วง 3400 - 3600 MHz เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้รายเดิมของระบบโทรทัศน์ดาวเทียม อาจต้องกำหนดกรอบเวลาในการทำการเรียกคืนความถี่ในช่วง 3700-3900 MHz ที่ใช้งานสำหรับย่านกิจการดาวเทียมในปัจจุบัน มาเป็นการให้บริการ 5G หากพบว่ายังไม่มีเทคโนโลยีใหม่ๆ ทางด้านกิจการดาวเทียมที่ต้องการใช้ย่านความถี่ดังกล่าว เพื่อให้การให้บริการ 5G ทำได้เต็มประสิทธิภาพ

[1] หัวรับสัญญาดาวเทียม (Low-Noise Block Downconverter + 5G Filter (LNB_F)) ชนิดมีตัวกรองสัญญาณ 5G หรือ 5G Filter

4) กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายนอกอาคาร นั้น คณะวิจัยได้ตั้งสถานการณ์การทดสอบให้เป็นกรณีที่เลวร้ายที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Worst case) ดังนั้นระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียมไม่น้อยกว่า 130 เมตรนั้น อาจจะมีการปรับให้ลดน้อยลงได้ในอนาคต หากได้มีการเริ่มใช้งานและติดตั้งสถานีฐาน 5G แบบภายนอกอาคารจริง อาจจะพิจารณาค่อยๆ ปรับลดระยะห่างดังกล่าวลงได้ หากไม่มีการรายงานว่าเกิดผลรบกวนระหว่างกัน เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วช่างติดตั้งระบบจานรับสัญญาณดาวเทียมได้ถูกฝึกอบรม ให้สามารถหลบเลี่ยงการรบกวนสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอื่นได้ เช่นการติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียมให้ต่ำลง หรือการอาศัยมุมของตึกในการบดบังสัญญาณรบกวนจากสถานีฐาน 5G ในบริเวณข้างเคียงได้

5) ในระยะยาว (5-10 ปี) กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายนอกอาคาร หากจำเป็นต้องมีการใช้งานคลื่นความถี่ IMT ในช่วง 3300 – 3800 MHz (N78) ในประเทศไทย อย่างเต็มรูปแบบ ทำให้แบนด์วิดธ์ของระบบโทรทัศน์ดาวเทียมลดลงเหลือแค่ 200 MHz ในช่วงความถี่ 4000 – 4200 MHz และไม่เพียงพอต่อการใช้งาน อาจต้องพิจารณาย้ายความถี่ดาวเทียมไปใช้ย่านอื่นแทนเช่น Ka-band ในช่วงความถี่ 26-40 GHz เพื่อให้รองรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ของดาวเทียมในอนาคต ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความไปเป็นได้ ให้เกิดความสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็นในเมืองหรือชานเมือง เนื่องจากประชาชนในเมืองจะเน้นพักอาศัยกันภายในห้องพักบนคอนโดมิเนียมที่ไม่สะดวกในการติดตั้งจานดาวเทียม C-band ที่มีขนาด 1.5 เมตร ซึ่งแตกต่างจากประชาชนที่พักอาศัยชานเมือง ที่มีพื้นที่ในการติดตั้งจานขนาดใหญ่ได้

6) ทั้งนี้ เนื่องจากข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของหัวรับ LNB LNB_F และ BPF นั้นสำคัญต่อการใช้งานระบบการรับสัญญาณดาวเทียมมาก คณะวิจัยจึงสนับสนุนให้เกิดข้อกำหนดและห้องปฏิบัติการในการทดสอบหัวรับ LNB LNB_F และ BPF ขึ้น โดยในการทดสอบครั้งนี้ คณะวิจัยได้รับความอนุเคราะห์การทดสอบจากห้องปฏิบัติการคลื่นความถี่ไมโครเวฟ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ซึ่งเป็นห้องทดสอบในระดับปฐมภูมิและได้รับการรับรองในระดับนานาชาติ เป็นผู้ทดสอบให้ โดยในการทดสอบแท้จริงแล้ว จะต้องมีการวัดค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ประกอบด้วยคือ ค่า 1 dB Gain Compression และค่า Noise Figure ของหัวรับ LNB LNB_F และ BPF เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของหัวรับ LNB LNB_F และ BPF อย่างเต็มรูปแบบ ดังนั้นในการทดลองนี้ คณะวิจัยจึงเพียงแค่สรุปว่าหากมีหัวรับ LNB_F ชนิดที่แตกต่างกันจะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันโดย LNB ที่พึงประสงค์จะส่งผลให้ต้องใช้ความถี่ป้องกัน (Guard band) 100 MHz ที่ระยะห่าง 130 เมตร สำหรับการทดสอบกรณีภายนอกอาคาร

7) ผลการทดสอบในครั้งนี้เป็นผลการทดสอบจริง ในสถานที่จริง ทั้งนี้ เนื่องจากคณะวิจัยต้องการจำลองกรณีศึกษาที่ใช้จริง บริเวณที่มีตึกหนาแน่นในเมืองเป็นหลัก หากมีการทดสอบบริเวณชานเมือง

อาจได้รับผลการทดสอบที่แตกต่างออกไป และอุปกรณ์ทดสอบของสถานีฐาน 5G นั้นอาจมีความหลากหลายในแต่ละตราอักษรและรุ่น ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการทดลองจริง

1.1.2 รายละเอียดคุณลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำของหัวรับ LNB ที่พึงประสงค์

ทั้งนี้ จากผลการศึกษาวิจัย พบว่า คุณลักษณะที่เหมาะสม ของหัวรับ LNB ที่พึงประสงค์สำหรับการใช้งานรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในครัวเรือน เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการใช้งานคลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz ในกิจการโทรคมนาคม มีดังนี้

Specification	Value
Input Frequency	3.7-4.2 GHz
Output Frequency	950-2150 MHz
Frequency Stability	+/- 2MHz (-40 ถึง 70 องศาเซลเซียส)
Local Leak Input	-45 dBm
Lower Frequency Slope	> 400 dB/GHz
Upper Frequency Slope	< -125 dB/GHz
Conversion Gain	เป็นไปตามผู้ผลิตกำหนด
Gain Flatness	+/- 4dB
Output VSWR	2.5:1 (ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้)
Output Spurious	-60 dBm (Max)
Power Supply	13-24 V
Waveguide	WC-229
Image Rejection	45 dB (Min)

Specification	Value
Output Connector	Type “F” Female
Input Connector	Circular WG with Horn Ring

1.2 มาตรการบรรเทาการรบกวน และเงื่อนไขในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน

1) ผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่มีการใช้งานสถานีฐาน 5G ย่าน 3500 MHz หรือหน่วยงานกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่ควรมีการพิจารณาเกี่ยวกับการจัดสรรงบประมาณเพื่อเยียวยาหรือชดเชยผู้ได้รับผลกระทบจากการใช้งานย่านความถี่ 3500 MHz (ประชาชนผู้รับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม)[2] และสนับสนุนการติดตั้งวงจรกรองสัญญาณ (Bandpass filter) หรือเปลี่ยนหัวรับ LNB เป็น LNB_F ที่มีวงจรกรองความถี่ที่มีมาตรฐาน

2) ควรมีระยะเวลาในการปรับเปลี่ยนหัวรับ LNB เป็น LNB_F ในลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ในประกาศควรจะมีเวลาเผื่อในการติดตั้งหัวรับ LNB_F ให้กับผู้บริโภคด้วย

3) ควรมีการจัดทำคู่มือแนวทางปฏิบัติสำหรับการติดตั้งจานดาวเทียมและสถานีฐาน 5G กรณีมีข้อจำกัดของระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียม

[2] ต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) รวมถึงผลกระทบและค่าชดเชยเพิ่มเติม

2 บทคัดย่อ

โครงการศึกษาวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่ กรณีการใช้คลื่นความถี่ย่าน 3500 เมกะเฮิรตซ์ และ 28 กิกะเฮิรตซ์ รวมทั้งคุณสมบัติทางเทคนิคในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ และ 28 กิกะเฮิรตซ์ และ 2) เพื่อสร้างกลไกการมีส่วนร่วมของภาคส่วนที่เกี่ยวข้องต่อการกำหนดนโยบายด้านการบริหารคลื่นความถี่ของประเทศเพื่อประโยชน์สาธารณะอย่างแท้จริง โดยมีขอบเขตการดำเนินงาน ได้แก่ 1) การศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลหรืองานวิจัยหรือแนวทางการกำกับดูแลเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน ในต่างประเทศอย่างน้อย 2 ประเทศ 2) การศึกษาเพื่อกำหนดคุณสมบัติทางเทคนิคการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคม เคลื่อนที่สากล (IMT) เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ และ 28 กิกะเฮิรตซ์ ในประเทศไทย ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบการรบกวนในสถานการณ์ที่กำหนด พร้อมทั้งการหามาตรการบรรเทาการรบกวน และเงื่อนไขในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน 3) จัดให้มีการทดลองภาคสนาม (Field Trial) โดยทดสอบตามสถานการณ์ (Scenario) ที่ได้เสนอผ่านการวิเคราะห์เบื้องต้น 4) จัดทำคุณสมบัติทางเทคนิค ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ปัญหา อุปสรรค หรือข้อเสนอแนะอื่นๆ ที่ได้จากการทดสอบภาคสนาม และ 5) เผยแพร่ผลการศึกษาให้หน่วยงานของรัฐ ภาคประชาสังคม และประชาชนทั่วไปรับทราบ อย่างน้อย 3 ช่องทาง ทั้งนี้ ผลสรุปการดำเนินโครงการมีข้อสรุปคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้ ในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร (Indoor) ย่าน 3500 MHz พบว่า กรณีที่ LNB = 3400 ถึง 4200 MHz ค่ากำลังส่งที่หน้าสถานีฐาน จะมีสัญญาณ -45 dBm/Hz ในขณะที่ค่ากำลังส่งสถานีฐานด้านล่างอาคารที่ระยะ 25 เมตร สัญญาณถูกลดทอนลงไปเหลือ -120.28 dB/Hz และสัญญาณ (Channel Power) ที่วัดหน้าจานรับดาวเทียมมีขนาดน้อยกว่า -110 dBm/Hz จึงไม่ทำให้สถานีรับสัญญาณดาวเทียม C-Band เกิดปัญหา สามารถรับสัญญาณได้ปกติทั้ง LNB รุ่น 3.4-4.2 GHz และ LNB 3.7-4.2 GHz

นอกจากนี้ ในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor) ย่าน 3500 MHz จากการสังเกตภาพด้วยสายตา (ไม่มี Macro blocking , Blackout, Freeze และ Audio Silence) พบว่า ในกรณีทดสอบที่ 1 : LNB = 3400 ถึง 4200 MHz จะไม่สามารถหาความถี่ป้องกันได้ และระยะทางสั้นที่สุดสามารถใช้งานได้อาจมากกว่า 280 เมตร[3] และในกรณีทดสอบที่ 2 : LNB, LNB_F[4] , BPF = 3700 ถึง 4200 MHz ความถี่ป้องกันมีค่าอย่างน้อย 100 เม็กกะเฮิรตซ์ และระยะทางสั้นที่สุดสามารถใช้งานได้คือ 130 เมตร ในส่วนของการจำลองคลื่นความถี่ย่าน 28 GHz ได้มีการจำลอง 1) กรณีใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างสถานีดาวเทียมไม่เคลื่อนที่และระบบ 5G 2) กรณีใช้คลื่นความถี่ข้างเคียงกันระหว่างสถานีดาวเทียมไม่เคลื่อนที่และระบบ 5G 3) กรณีใช้คลื่นความถี่ข้างเคียงกันระหว่าง A-ESIM และระบบ 5G 4) กรณีใช้คลื่นความถี่ข้างเคียงกันระหว่างสถานีดาวเทียม HDFSS และระบบ 5G

[3] เนื่องจากระยะทางสั้นสุดที่สามารถใช้งานได้สำหรับหัว LNB ชนิดความถี่ 3400 – 4200 MHz มีค่ามากกว่าระยะทดสอบไกลสุดคือ 280 เมตร เพราะมีหอประชุมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกั้นกลางบริเวณการทดสอบ

[4] หัวรับสัญญาดาวเทียม (Low-Noise Block Downconverter + 5G Filter (LNB_F)) ชนิดมีตัวกรองสัญญาณ 5G หรือ 5G Filter

3 Abstract

This study project has two main objectives which are 1) to suggest the public policy on spectrum management in case of spectrum usage of 3500 MHz and 28 GHz frequency bands including the technical qualification of spectrum sharing between International Mobile Telecommunications (IMT), 5G technology, and other enterprises in the 3500 MHz and 28 GHz frequency bands and 2) to create a participation mechanism of the involved sectors to determine the country's spectrum management policy for the public benefits truly.

The scopes of work are: 1) the study, collection, and data analysis of the regulatory guidelines on the use of shared spectrum–abroad at least two countries, 2) the study to determine the technical quality of spectrum sharing among telecommunication companies, International Mobile Telecommunications (IMT), 5G technologies, and other enterprises in the 3500 MHz and 28 GHz frequency bands for Thailand. This includes the inspection for interference in given scenarios as well as suggesting the measures to mitigate and cure interferences and conditions for sharing frequencies, 3) the conduct of field trial in accordance with the given scenarios suggested via preliminary analysis, 4) the conduct of technical qualifications, policy recommendations, issues, obstacles, and other suggestions obtained by field trials and 5) the publication of the study for public or government sections, civil society and public to be acknowledged at least three channels. Here, the summarization of the project has technical qualifications as follows: in the case of 5G base stations inside the building for 3500 MHz band, it was found that with LNB frequency band = 3400 to 4200 MHz, the power transmitted in front of the base station is -45 dBm/Hz. While with the base station separation distance of 25 meters under the building, the signal is attenuated to be -120. 28 dB/Hz and the channel power measured in front of the satellite dish is less than -110 dBm/Hz. Thus, it does not cause any problems for the C-band received satellite station and it can receive the signal normally with both LNB frequency bands 3.4-4.2 GHz and LNB frequency bands 3.7-4.2 GHz.

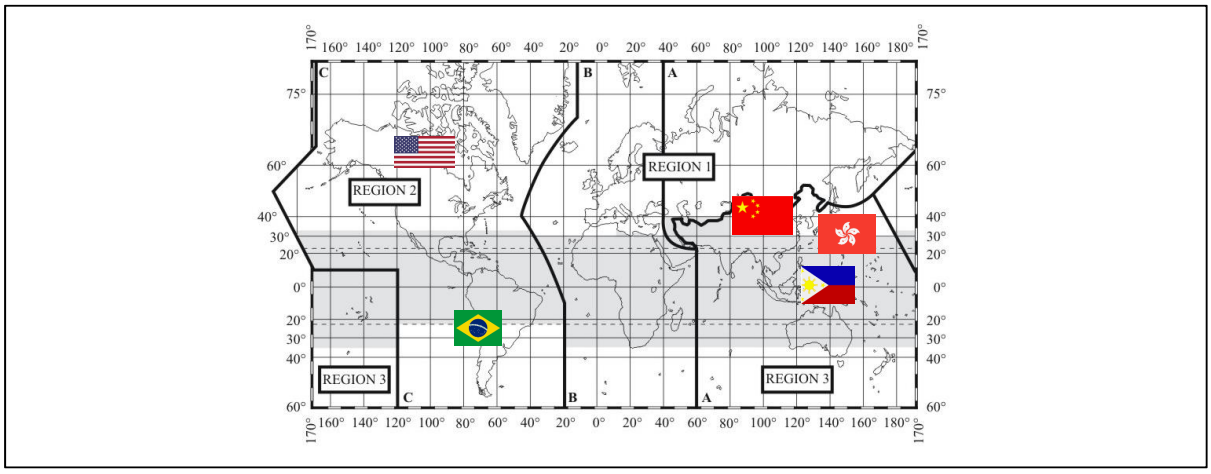
In addition, in the case of the 5G base station outside the building (Outdoor) in the 3500 MHz band with visualization observation (No Macro Blocking, Blackout, Freeze and Audio Silence), it was found that in the test case no.1: LNB frequency band = 3400 to 4200 MHz, it cannot find the guard band and the shortest separation distance might be more than 280 meters[3]. In the test case 2: LNB, LNB_F[4], BPF = 3700 to 4200 MHz, the guard band is at least 100 MHz, and the shortest separation distance is 130 meters. In the wave simulation of the 28 GHz frequency band, there was a simulation: 1) in the case of spectrum sharing between the fixed satellite stations and 5G system, 2) in the case of using adjacent channel frequencies between the stationary satellite stations and a 5G system, 3) in the case of using adjacent channel frequencies between A-ESIMs and 4) in the case of using adjacent channel frequencies between HDFSS satellite stations and the 5G system.

4 การศึกษาเปรียบเทียบแนวทางการกำกับดูแลเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์และ 28 กิกะเฮิรตซ์ ในต่างประเทศ

4.1 รายละเอียดเบื้องต้นของผลการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบแนวทางการกำกับดูแลเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์และ 28 กิกะเฮิรตซ์ ในต่างประเทศ

ในช่วง 2 – 3 ปีที่ผ่านมาการจัดสรรคลื่นความถี่รองรับการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสาร กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G เพื่อการเปิดให้บริการเชิงพาณิชย์ในประเทศต่าง ๆ ทั่วทุกภูมิภาคของโลกต่อไป ทั้งนี้คลื่นความถี่ที่สามารถรองรับเทคโนโลยี 5G แบ่งออกเป็น 3 ย่าน ได้แก่ ย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz ย่านความถี่กลาง หรือคลื่นความถี่ที่อยู่ระหว่าง 1 - 6 GHz และย่านความถี่สูงที่สูงกว่า 6 GHz ซึ่งความถี่หลักในย่านความถี่กลางคือ C-Band (3.4 – 4.2 GHz) และย่านความถี่สูงซึ่งมุ่งเน้นไปที่ย่านคลื่นมิลลิเมตรความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์ นั้นเดิมได้ถูกจัดสรรให้กับกิจการอื่น เช่น กิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม (FSS) หรือ กิจการประจำที่ (FS) ดังนั้นการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) และกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม หรือ กิจการประจำที่ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการรบกวนกันของสัญญาณ ผู้กำกับดูแลในประเทศต่าง ๆ จึงทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการกำหนดนโยบายการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน (Sharing and compatibility study) ระหว่างการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว



รูป 1 ประเทศที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ

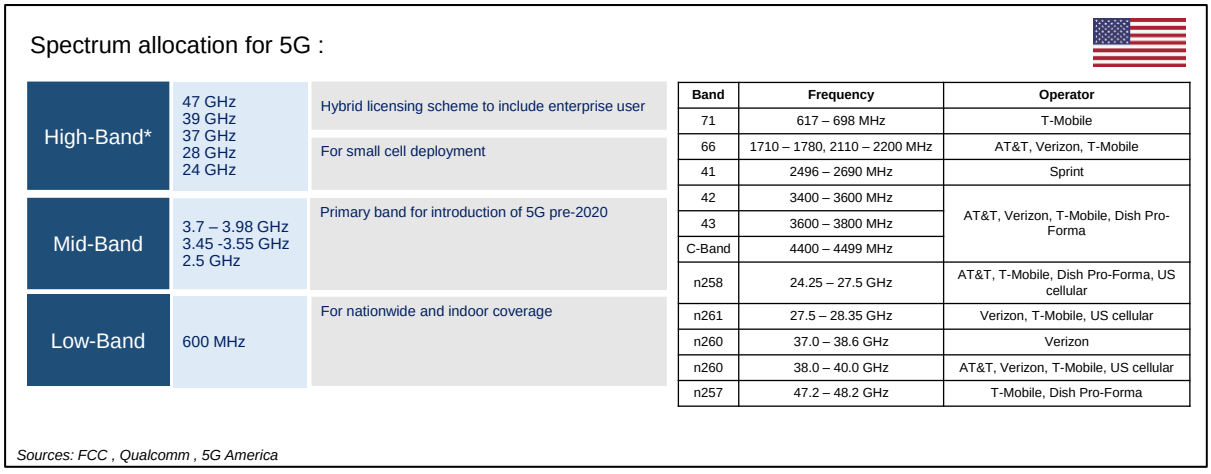
ในรายงานฉบับนี้ จะกล่าวถึงการศึกษาการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3.5 GHz และ 28 GHz ในต่างประเทศ อันได้แก่ สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐประชาชนจีน และเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่ง

สาธารณรัฐประชาชนจีน สหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล และสาธารณรัฐฟิลิปปินส์ ทั้งนี้กรอบการคัดเลือกประเทศที่ทำการศึกษามาจากการพิจารณาการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G ของแต่ละประเทศที่ครอบคลุมย่านความถี่ 3.5 GHz และ 28 GHz และโซนที่ตั้งของประเทศดังกล่าว

โดยผลการศึกษาเบื้องต้นนี้ครอบคลุมการจัดสรรย่านความถี่ 5G ในย่านความถี่ 3.5 GHz และ 28 GHz จำนวนคลื่นความถี่ เวลาและวิธีการในการจัดสรรคลื่นความถี่ และเงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารการใช้ความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3.5 GHz และ 28 GHz

4.1.1 สหรัฐอเมริกา

หน่วยงานที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนและจัดสรรคลื่นความถี่ในสหรัฐอเมริกาประกอบด้วย 2 หน่วยงานหลัก ได้แก่ 1) Federal Communications Commission หรือ FCC เป็นหน่วยงานกำกับดูแลอิสระ ดูแลคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง (Non-Federal) เช่น คลื่นความถี่ที่จัดสรรให้แก่รัฐบาลท้องถิ่น เอกชนเพื่อการพาณิชย์ เป็นต้น 2) National Telecommunications and Information Administration หรือ NTIA เป็นหน่วยปฏิบัติการภายใต้กระทรวงพาณิชย์ ทำหน้าที่บริหารคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานของรัฐบาลกลาง (Federal) เช่น คลื่นความถี่สำหรับใช้โดยกองทัพ FAA และ FBI เป็นต้น ทั้งนี้สำนักงาน OET อยู่ภายใต้ FCC จะทำหน้าที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับประเด็นทางเทคนิคและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรและการใช้คลื่นความถี่ สหรัฐอเมริกามีการจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) เทคโนโลยี 5G ในย่านต่าง ๆ ทั้งย่านความถี่ต่ำ กลาง และสูง โดยสามารถสรุปได้ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูป 2 การจัดสรรคลื่นความถี่ในสหรัฐอเมริกา

การจัดสรรคลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่ำ : มีการจัดสรรคลื่นความถี่ย่าน 600 MHz โดยการประมูลคลื่น 70 MHz (2 x 35 MHz) สำหรับการใช้งานที่มีใบอนุญาตและ 14 MHz สำหรับการใช้งานที่ไม่มีใบอนุญาต

การจัดสรรคลื่นความถี่ในย่านความถี่กลาง : FCC จัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน 3.5 GHz จำนวน 150 MHz ซึ่งจะต้องแชร์ใช้คลื่นความถี่ร่วมกับผู้ใช้งาน 3-Tier ที่ใช้คลื่นความถี่อยู่เดิม ได้แก่ PAL2 และ GAA3 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 FCC อนุมัติการใช้งาน GAA เบื้องต้น และในเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 FCC ได้ดำเนินการประมูล PAL แล้วเสร็จ ต่อมาในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 FCC จัดสรรคลื่นความถี่ 3.7-4.0 GHz โดยกำหนดการประมูลในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 และในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 FCC ได้วางแผนที่จะประมูลคลื่นความถี่ 3.45-3.55 GHz นอกจากนี้ NTIA และ FCC กำลังศึกษาการเปลี่ยนวัตถุประสงค์การใช้คลื่นความถี่ย่าน 3.1-3.45 GHz เพื่อนำไปจัดสรรเพื่อใช้งานในเชิงพาณิชย์อีกด้วย

การจัดสรรคลื่นความถี่ในย่านความถี่สูง : ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 FCC ได้จัดสรรคลื่นความถี่ย่าน 24.25-24.45 GHz 24.75-25.25 GHz และ 47.2-48.2 GHz ต่อมาในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561 FCC เสนอให้คลื่นความถี่ย่าน 25.25-27.5 GHz และ 42-42.5 GHz ใช้สำหรับการใช้งาน Flexible Wireless Use นอกจากนี้ FCC จัดประมูลคลื่นความถี่ในย่านความถี่ 28 และ 24 GHz ในปี พ.ศ. 2562 และ ในเดือนมีนาคม 2020 FCC ได้จัดประมูลคลื่นความถี่ในย่านความถี่ 37 GHz 39 GHz และ 47 GHz

สำหรับสถานการณ์ในการให้บริการ 5G เชิงพาณิชย์ในสหรัฐอเมริกานั้น ผู้ให้บริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่รายใหญ่ในสหรัฐอเมริกาทั้ง Verizon, AT&T และ T-Mobile (ควบรวมกับ Sprint) ได้เปิดให้บริการ 5G ในเมืองใหญ่ทั่วประเทศ ปัจจุบัน T-Mobile เป็นผู้นำในการแข่งขัน 5G ด้วยเหตุนี้ T-Mobile จึงมีพื้นที่ครอบคลุมมากที่สุด โดยครอบคลุมเกือบ 5,000 เมือง และครอบคลุมประชากรชาวอเมริกัน 200 ล้านคน นอกจากนี้ T-Mobile ยังเปิดให้บริการโครงข่ายโดยใช้คลื่นมิลลิเมตรเฉพาะในบางส่วนของหกเมืองใหญ่ ในขณะที่ AT&T เปิดให้ให้บริการ 5G ในรัฐต่างๆ 46 รัฐ โดยใช้คลื่นความถี่ 850 MHz สำหรับขยายพื้นที่ครอบคลุม และใช้คลื่นความถี่ในย่านมิลลิเมตรในการเพิ่มความเร็ว ส่วน Verizon ได้ขยายความครอบคลุมของบริการ 5G และเพิ่มความเร็วให้กับลูกค้าด้วยบริการ 5G Ultra-Wideband service (ความเร็วสูงสุด 4Gbps) ครอบคลุมจำนวน 57 เมือง โดยใช้คลื่นความถี่ในย่านมิลลิเมตรเช่นกัน

4.1.1.1 การจัดสรรคลื่นความถี่

FCC เป็นหน่วยงานหลักในการผลักดันกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G โดยเริ่มจากการกำหนดแผนความถี่จะนำมาใช้ ทั้ง 3 ย่านความถี่ โดยสามารสรุปได้ในตารางต่อไปนี้

Band	Frequency	Bandwidth	Terrestrial Allocation	Satellite Allocation	Licensing Scheme	Auction
600 MHz	614 - 698 MHz	84 MHz	Mobile services	No	Licensed	• The incentive auction bidding closed on March 30, 2017
2.5 GHz	2.496 – 2.69 GHz	194 MHz	Prime spectrum for advanced mobile, including 5G, Home to Broadband Radio Service (BRS) and Educational Broadband Service (EBS)	No	Licensed	• a 100 MHz and 16.5 MHz block on countywide basis
3.5 GHz	3.45 – 3.55 GHz	100 MHz	Eliminate the non-federal radiolocation service allocation in the 3.3-3.55 GHz band and the nonfederal amateur allocation in the 3.3-3.5 GHz band but allow incumbent licensees to continue operating in the 3.45-3.55 GHz band until a future date	No	Licensed	• Expected the spectrum to be auctioned by December 2021
3.7 – 4.2 GHz	3.7 – 3.98 GHz	280 MHz	a mobile allocation, except aeronautical mobile, to the 3.7-4.0 GHz band	Yes		• This band divided into 5,684 licenses • It composed of 14 sub-blocks in each of 20-megahertz sub-blocks available Partial Economic Areas across the United States. • Spectrum is slated to be cleared by December 2023.
24 GHz	24.25-24.45 GHz 24.75-25.25 GHz	700 MHz	Lower segment is licensed for two types of fixed operations: 24 GHz service and Digital Electronic Messaging Service (DEMS). 5 active 24 GHz licenses, and 38 active DEMS licenses; remaining licenses in inventory	Yes, 24.75-25.25 GHz band segment is non-Federal allocated for FSS (Earth-to-space)	Licensed	• Concluded 28 May 2019 • Over $2B Gross Bids for 2,904 Licenses
28 GHz	27.5-28.35 GHz	850 MHz	Licensed for fixed operations, with about 75% of the population covered by existing licenses; remaining licenses in inventory	Yes (Uplink)	Licensed	• Concluded January, 2019 • $700M Gross Bids for 2,965 Licenses
37 GHz	37-38.6 GHz	1600 MHz	Yes (no current use)	Yes (no current use)	Licensed	Incentive auction Ended March 2020
39 GHz	38.6-40 GHz	1400 MHz	Licensed for fixed operations, with about 50% of the population covered by existing licenses; the remaining licenses are in inventory.	Yes (no current use)	Licensed	Incentive auction Ended March 2020
47 GHz	47.2-48.2 GHz	1000 MHz	Yes (no current use)	Yes (no current use and the Commission designated this band for terrestrial use)	Licensed	Auction ended March 2020
64-71 GHz	64-71 GHz	7000 MHz	Yes (no current use)	Yes (no current use)	Unlicensed	-

รูป 3 การจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) เทคโนโลยี 5G ในสหรัฐอเมริกา

จากตารางข้างต้น จะเห็นว่า โดยส่วนใหญ่แล้วความถี่ที่ใช้ในการให้บริการเคลื่อนที่ (Mobile Service) หรือกิจการโทรคมนาคมเป็นความถี่ที่ต้องขออนุญาต (Licensed) และถูกจัดสรรโดยการประมูล แต่มีบางคลื่นความถี่ที่พิจารณาเป็นความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาต (Unlicensed) เช่น ความถี่ในย่านความถี่สูง 64 – 71 GHz เป็นต้น

นอกจากนี้จะเห็นว่าย่านความถี่ที่ถูกจัดสรรเพื่อนำมาใช้ในการให้บริการเคลื่อนที่ภาคพื้นดินได้ถูกจัดสรรให้แก่บริการอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน ซึ่งในที่นี้คณะวิจัยจะเน้นไปที่การใช้ความถี่ร่วมกันกับกิจการดาวเทียมทั้งแบบ FS และ FSS ย่านความถี่ดังกล่าวได้แก่ ย่าน 3.5 GHz และ 28 GHz ดังนั้นในการบริหารคลื่นความถี่หน่วยงานกำกับดูแลทั้งสองหน่วยงานจึงต้องทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางกำกับดูแลให้กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) สามารถให้บริการร่วมกับกิจการดาวเทียมได้อย่างเหมาะสม

4.1.1.2 การบริหารการใช้ความถี่ร่วมกัน

<u>ย่านความถี่ 3.5 GHz (3.1 – 3.55 GHz)</u>

ในพระราชบัญญัติ MOBILE NOW กำหนดคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานบรอดแบนด์ไร้สายแบบเคลื่อนที่และแบบประจำที่ ในย่านความถี่ระหว่าง 3.1 กิกะเฮิรตซ์ และ 3.55 กิกะเฮิรตซ์ โดย FCC จะทำงานร่วมกับ NTIA เพื่อประเมินว่าบริการไร้สายเชิงพาณิชย์และผู้ใช้งานคลื่นความถี่อยู่เดิมนั้นสามารถใช้คลื่นความถี่ร่วมกันได้หรือไม่ ทั้งนี้ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 คณะกรรมาธิการได้ประกาศเสนอให้ยกเลิกการจัดสรรคลื่นความถี่

Non-Federal ที่มีอยู่เดิมออกจากย่านความถี่ 3.3-3.55 GHz และได้ขอความเห็นเกี่ยวกับการย้ายดังกล่าวเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการให้บริการไร้สายเชิงพาณิชย์ต่อไป เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 กระทรวงกลาโหมได้ประกาศแผนการที่จะอนุญาตให้ระบบในกิจการโทรคมนาคม เทคโนโลยี 5G สามารถใช้งานย่านความถี่ 3.45-3.55 GHz เพื่อให้บริการเชิงพาณิชย์ได้ทั่วสหรัฐอเมริกา[5] โดยมีคำสั่งดังนี้

- ยกเลิกการจัดสรร Non-federal ในย่านความถี่ 3.3-3.55 GHz สำหรับกิจการวิทยุสมัครเล่น โดยอนุญาตให้ดำเนินการต่อไปโดยใช้ย่านความถี่ 3.45-3.55 GHz ไปจนถึงวันที่กำหนดให้ใช้งาน
- ย้ายผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้งานความถี่แบบ Non-Federal ไปที่ย่านความถี่ 2.9-3.0 GHz โดยกำหนดบริการให้เป็น Secondary Basis ซึ่งสอดคล้องกับแผนการการจัดสรรคลื่นความถี่ในปัจจุบัน
- อนุญาตให้กิจการวิทยุสมัครเล่นแต่ละรายสามารถกำหนดคลื่นความถี่ที่เหมาะสมจากคลื่นความถี่ในช่วงที่จัดสรรให้

และประกาศแจ้งให้ทราบว่า

- เสนอให้คลื่นความถี่ช่วง 3.45-3.55 GHz จำนวน 100 MHz สามารถนำไปใช้งานระบบในกิจการโทรคมนาคม เทคโนโลยี 5G เพื่อให้บริการเชิงพาณิชย์ได้ทั่วสหรัฐอเมริกา
- เสนอให้มีการเพิ่มกิจการประจำที่และเคลื่อนที่ แต่ยกเว้น กิจการเคลื่อนที่ทางการบิน (Aeronautical Mobile Service) เป็น Co-Primary Basis

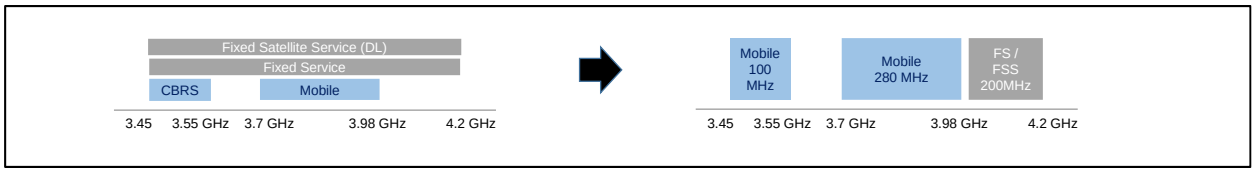
<u>ย่านความถี่ 3.7 – 4.2 GHz</u>

เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 FCC ได้นำเสนอรายงานและคำสั่ง (Report and Order)[6] เกี่ยวกับการบริหารจัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน 3.7-4.2 GHz เพื่อใช้ในกิจการเคลื่อนที่ โดยกำหนดคลื่นความถี่ในช่วง 3.7-3.98 GHz จำนวน 280 MHz ให้ใช้กับบริการไร้สาย (Wireless Services) และจัดให้คลื่นความถี่ที่ใช้ในกิจการดาวเทียมใช้คลื่นความถี่ในช่วง 4.0 – 4.2 GHz หรือ 200 MHz ถัดจากกิจการเคลื่อนที่ **โดยมีแถบความถี่ป้องกันการรบกวน (Guardband) ขนาด 20 MHz ป้องกันไว้** ทั้งนี้ยังคงอนุญาตให้ผู้ใช้เดิมใช้คลื่นความถี่ในช่วงดังกล่าวได้ในระหว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงการจัดสรรได้จนถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2568 นอกจากนี้ FCC ได้กำหนดให้ผู้ใช้งานคลื่นความถี่เดิมที่ใช้ในบริการประจำที่ (Fixed microwave services) ย้ายการ

[5] Fact sheet Facilitating 5G in the 3.45-3.55 GHz Band Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking - WT Docket No. 19-348 September 9, 2020 (https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-366780A1.pdf)

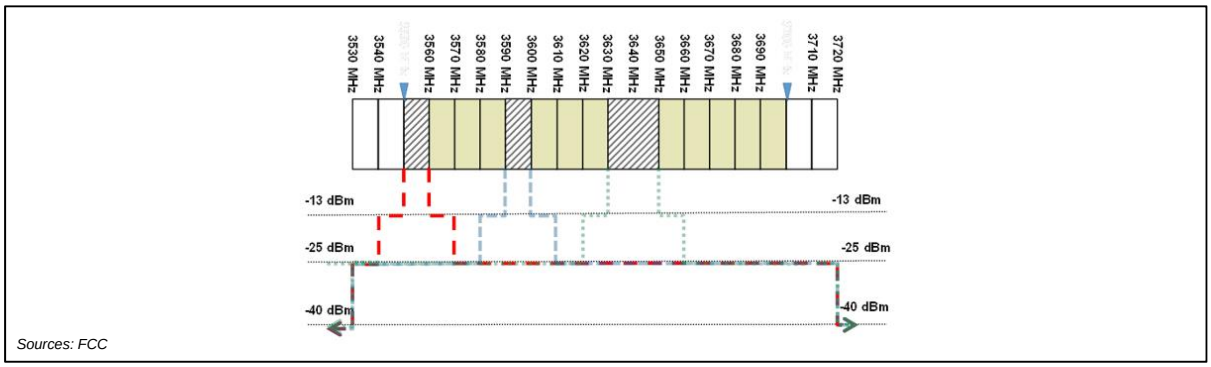
[6] Fact Sheet Expanding Flexible Use of the 3.7 to 4.2 GHz Band, Report and Order and Order of Proposed Modification - GN Docket No. 18-122, February 7, 2020

เชื่อมโยงแบบ point-to-point Link ไปใช้ในย่านความถี่อื่น โดยต้องดำเนินการภายในเดือนกันยายน พ.ศ. 2566



รูป 4 การจัดสรรความถี่ย่าน C-Band ในสหรัฐอเมริกา

นอกจากนี้ ในรายงานและคำสั่ง “Amendment of the Commission’s Rules with Regard to Commercial Operations in the 3550-3650 MHz Band”[7] มีการอ้างถึงการจำกัดการแพร่แปลกปลอม (Spurious Emission Limit) ไว้ที่ 40dBm/MHz ที่ความถี่สูงกว่า 3720 MHz สำหรับ Citizens Broadband Radio Service Devices (CBSD) ซึ่งเป็นค่าเป้าหมายที่คณะกรรมาธิการจะส่งเสริมให้นำมาใช้ในกรณีที่ต้องใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน ดังแสดงในรูปด้านล่าง

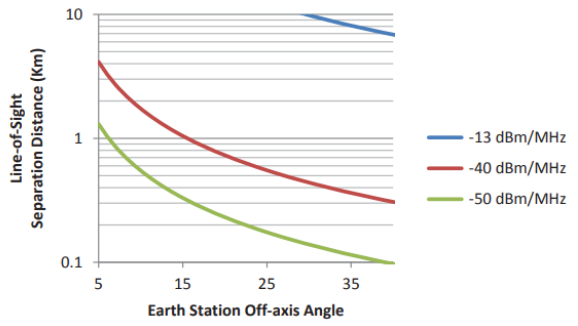


รูป 5 การจำกัดการแพร่แปลกปลอม (Spurious Emission Limit) ในย่านความถี่ 3.5 GHz

ในขณะที่ Satellite Industry Association’s หรือ SIA สนับสนุนให้กำหนดระยะห่าง และจำกัด Out of Band Emissions Limit (OOBE) ไว้เพื่อป้องกันการรบกวนกันของคลื่นความถี่ที่ติดกันระหว่างบริการ CBSD และกิจการดาวเทียมประจำที่หรือสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน[8] **โดย SIA ได้วิเคราะห์ระยะ Line-of-Sight ระหว่างบริการ CBSD และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน ในรูปแบบฟังก์ชั่นของ OOBE Limit 3 ค่า ได้แก่ -13, -40, และ -50 dBm/MHz และมุม off-axis ของสถานีภาคพื้นดิน**

[7] Amendment of the Commission’s Rules with Regard to Commercial Operations in the 3550-3650 MHz Band – Report and Order and second further notice of proposed rulemaking, FCC15-47, April 21, 2015 (at https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-15-47A1.docx)

[8] See SIA FNPRM Comments at 15. https://ecfsapi.fcc.gov/file/7521384256.pdf



Required LOS separation distance between a CBSD and an FSS earth station as a function of OOBE limit and the FSS earth station off-axis angle (degrees), such that the out-of-band interference criterion is not exceeded.

Sources: SIA

รูป 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะ LOS ระหว่าง CBSD และการทำมุมกับสถานีภาคพื้นดิน (องศา)

จากการศึกษาของ SIA แสดงให้เห็นว่า ระยะห่าง 10 กิโลเมตรจำเป็นต่อการควบคุมสัญญาณรบกวนที่ OOBE Limit -13dBm/MHz ในขณะที่ระยะห่างที่จำเป็นต่อการควบคุมสัญญาณรบกวนที่ OOBE Limit -50 dBm/MHz อยู่ที่ระยะ 0.1 – 1 กิโลเมตร และระยะห่างที่จำเป็นต่อการควบคุมสัญญาณรบกวนที่ OOBE Limit ที่ -40 dBm/MHz อยู่ที่ระยะ 0.3 – 3 กิโลเมตร ทั้งนี้ขึ้นกับการทำมุม off-axis กับสถานีภาคพื้นดินด้วย

<u>ย่านความถี่ 28 GHz</u>

ในปี พ.ศ. 2559 FCC ได้นำเสนอรายงานและคำสั่ง (Report and Order)[9] เกี่ยวกับการวางแผนการใช้งานคลื่นในย่านความถี่สูง หรือ mmWave โดยกำหนดคลื่นความถี่ในช่วง 27.5 – 28.35 GHz เป็นคลื่นความถี่ที่ต้องขออนุญาตเพื่อนำไปใช้เพื่อให้บริการในกิจการเคลื่อนที่ โดยจะให้อนุญาตใช้คลื่นตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (County-sized Geographic Area License) ทั้งนี้การใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการดาวเทียมและกิจการภาคพื้นดินได้ถูกนำมาพิจารณา เนื่องจากเดิมทีตามตารางการจัดสรรคลื่นความถี่ของสหรัฐอเมริกานั้นได้กำหนดให้คลื่นความถี่ในย่าน 28 GHz ใช้กับกิจการดาวเทียมประจำที่เป็นกิจการหลัก (Primary Service) โดยจำกัดทิศทางจากโลกสู่อวกาศ หรือขาขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม **มีบันทึกแสดงให้เห็นว่าสถานีภาคพื้นดิน FSS ในย่านความถี่ 28 GHz สามารถใช้งานร่วมกันได้โดยมีผลกระทบน้อยที่สุดต่อการปฏิบัติการภาคพื้นดิน ตัวอย่างเช่น EchoStar ระบุว่าสถานี Earth-to-space 28 GHz จะไม่มีผลในการลดทอนการใช้งานระบบ 5G ในพื้นที่นอกเมืองขนาดเล็ก EchoStar และ ViaSat ต่างประเมินว่าสถานีฐานที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมสามารถใช้งานได้ในสถานที่ใกล้เคียงกับสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินที่ส่งสัญญาณจากโลกสู่อวกาศในระยะห่าง 170 เมตร** ซึ่งสอดคล้องกับ SES ในสหรัฐอเมริกาให้ความเห็นว่าพื้นที่ชนบทบางแห่งสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินที่ใช้เป็นเกตเวย์ในอนาคตจะสามารถได้รับอนุญาตให้ใช้ในย่านความถี่ 28 GHz ได้ **นอกจากนี้ผู้ประกอบการ AT&T, Nokia, Samsung, T-Mobile และ Verizon ประเมินว่าระยะห่างที่จำเป็นระหว่างสถานีฐานของโครงข่ายโทรคมนาคม และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน FSS ควรอยู่ระหว่าง**

[9] REPORT AND ORDER AND FURTHER NOTICE OF PROPOSED RULEMAKING FCC-16-89A1, July 14, 2016 (https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-16-89A1.pdf) paragraph 43 - 45

50 - 400 เมตร ขึ้นอยู่กับประเภทของสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินด้วย ดังนั้นการกำหนดกฎเกณฑ์จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการกำกับดูแลเพื่อให้การใช้งานร่วมกันเป็นไปอย่างต่อเนื่องและรองรับการขยายกิจการระหว่างกิจการโทรคมนาคมภาคพื้นดิน และกิจการดาวเทียมประจำที่ที่ใช้คลื่นความถี่ย่าน 28 GHz

4.1.2 สาธารณรัฐประชาชนจีน

กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศของจีน (Ministry of Industry and Information Technology หรือ MIIT) จัดประมูลคลื่นความถี่ 5G ในย่านความถี่ 2.5 GHz 3.5 GHz และ 4.8 GHz (n41 n78 และ n79) ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 มีผู้ให้บริการโทรคมนาคมในประเทศจีนได้รับอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ ดังแสดงในรูป

Spectrum allocation for 5G :

High-Band	40 – 42.5 GHz 37 – 40.0 GHz 24.75 – 27.5 GHz
Mid-Band	4.8 – 4.9 GHz 3.4 – 3.6 GHz 2.515 – 2.675 GHz
Low-Band[1)]	700 MHz

Band	Frequency	Auction Status	Operator
	700 MHz	Exclusive rights	CBN
n41	2.515 - 2.675 GHz	Auctioned	China Mobile
n78	3.3 – 3.4 GHz	Auctioned	China Telecom, China Unicom and CBN for 5G indoor use
n78	3.4 - 3.5 GHz	Auctioned	China Telecom
n78	3.5 - 3.6 GHz	Auctioned	China Unicom
n79	4.8 - 4.9 GHz	Auctioned	China Mobile, CBN (4.9-4.96 GHz)
n258	24.75 - 27.5 GHz	Upcoming[2)]	-
n260	37 - 40 GHz	Upcoming[2)]	-
n259	40 - 42.5 GHz	Upcoming[2)]	-

Note:
1) New entrant China Broadcast Network (CBN) has finally acquired its slice of 700MHz, but it is still seeking partners for 5G business.
2) MIIT is considering the allocation of mmWave 5G spectrum (24.75 – 27.5 GHz, 37 – 42.5 GHz) in the near future although no official date has been announced yet.

Sources: MITT, ITU, EverythingRF

รูป 7 การจัดสรรคลื่นความถี่ในประเทศจีน

นอกจากนี้ เมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2563 MIIT ได้อนุมัติการเปลี่ยนวัตถุประสงค์การใช้คลื่นความถี่จากสัญญาณแอนะล็อกเดิมสำหรับการกิจการกระจายเสียง เป็นกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ โดย China Broadcast Network (CBN) ได้รับอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ในย่าน 700 MHz เพื่อหาพันธมิตรในการทำธุรกิจโทรคมนาคม 5G

ส่วนสถานการณ์การเปิดให้บริการโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ในประเทศจีนนั้น ผู้ให้บริการโทรคมนาคมสามรายในจีนแผ่นดินใหญ่ ได้แก่ China Mobile China Telecom และ China Unicom ได้เปิดให้บริการเชิงพาณิชย์แล้ว โดย China Mobile เปิดตัวบริการ 5G ในปลายปี พ.ศ. 2562 ในขณะที่ China Unicom และ China Telecom เริ่มเปิดตัว 5G ในปี พ.ศ. 2563

4.1.2.1 การจัดสรรคลื่นความถี่

MIIT ได้จัดทำแผนความถี่เพื่อใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 โดยกำหนดคลื่นความถี่ในย่านความถี่กลาง 2.5 GHz, 3.5 GHz และ 4.8 GHz ย่านความถี่สูง 24.75 - 27.5

GHz และ 37 – 42.5 GHz โดยเริ่มนำมาใช้ดำเนินการทดสอบ ต่อมา MIIT ได้จัดสรรคลื่นความถี่ในย่านความถี่ 2.5 GHz 3.5 GHz และ 4.8 GHz เพื่อใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G จำนวน 460 MHz ให้แก่ผู้ให้บริการโดยการประมูลในปี พ.ศ. 2562 และปีถัดมา MIIT ได้กำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ในย่าน 3.3 – 3.4 GHz เฉพาะในการติดตั้งโครงข่ายในอาคาร (Indoor use) และเพื่อเพิ่มพื้นที่ครอบคลุมการให้บริการโครงข่ายโทรคมนาคม 5G MIIT จึงจัดสรรคลื่นความถี่ในย่านความถี่ต่ำ 700 MHz จำนวน 80 MHz มาใช้ร่วมด้วย ถึงแม้ว่าแผนความถี่จะกำหนดให้นำคลื่นความถี่ในย่านความถี่สูงมาจัดสรรให้แก่กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G แต่จนถึงกลางปี พ.ศ. 2563 ความถี่ในย่านดังกล่าวยังไม่ได้ถูกนำจัดสรรเพื่อนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์ ผู้ให้บริการรายใหญ่ทั้ง 3 รายยังคงใช้ความถี่ในย่านความถี่ 26 GHz ในทำการทดสอบเท่านั้น เนื่องจากความต้องการของตลาดยังไม่สูงนัก

Band	Frequency	Bandwidth	Earliest Release Date	Remark
700 MHz	703 – 798 MHz 758 – 793 MHz	80 MHz	2020	MIIT approved the repurposing of the former analog broadcast spectrum for mobile communications on April 1, 2020.
2500 MHz	2515 – 2675 MHz	160 MHz	2018	
3300 MHz	3300 – 3400 MHz	100 MHz	2020	Indoor 5G use
3500 MHz	3400 – 3600 MHz	200 MHz	2019	5G system shall not use radio frequency astronomy service in the same frequency band or adjacent frequency band according to law And other radio services.
4900 MHz	4800 – 4900 MHz	100 MHz	2019	
26 GHz	24.75 - 27.5 GHz	2750 MHz	-	MIIT, is reportedly exploring mmWave for 5G in the 26 GHz band (24.75-27.5 GHz) as of May 2020, with no set timeline yet for allocation to operators. Trials and building pilot networks using 26 GHz in preparation for a large-scale demonstration of mmWave 5G had been conducted.
37 GHz	37 - 40 GHz	3000 MHz	-	
40 GHz	40 - 42.5 GHz	2500 MHz	-	

ตาราง 1 การจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ในประเทศจีน

ที่มา : MIIT

4.1.2.2 การบริหารการใช้ความถี่ร่วมกัน

สาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นประเทศแรกของโลกที่ประกาศแผนการใช้คลื่นความถี่ในย่านความถี่กลาง ช่วง 3000 – 5000 MHz มาใช้สำหรับดำเนินกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ทั้งนี้ MIIT ได้กล่าวประกาศแผนความถี่ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 โดยอ้างตามกฎระเบียบของสาธารณรัฐประชาชนจีนว่าด้วยกองความถี่วิทยุ ย่านความถี่ในการทำงานของระบบ 5G ได้แก่ คลื่นความถี่ย่าน 3300-3400 MHz ใช้สำหรับการใช้งานภายในอาคาร คลื่นความถี่ย่าน 3400-3600 MHz และ 4800-5000 MHz ทั้งนี้ยังกำหนดว่าโครงข่ายโทรคมนาคมระบบ 5G จะต้องไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนที่เป็นอันตรายต่อบริการกิจการดาวเทียมที่ได้รับอนุญาต รวมถึงบริการวิทยุอื่น ๆ ในย่านความถี่เดียวกัน และช่องสัญญาณที่อยู่ติดกัน และจะไม่อนุญาตกิจการดาวเทียมขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ในย่าน 3400 - 3700 MHz และการวัดและควบคุมความถี่วิทยุอวกาศในย่านความถี่ 3400 - 3600 MHz อีกต่อไป

นอกจากการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันในย่านความถี่กลางแล้ว คลื่นความถี่ในย่านความถี่สูง 24.75 - 27.5 GHz และ 37 – 42.5 GHz ที่กำหนดให้ใช้สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G นั้น อาจมี

ผลกระทบต่อผู้ใช้งานในบริการอื่นที่มีการใช้คลื่นความถี่ในย่านที่ติดกัน อาทิ สำนักงานอุตุนิยมวิทยาของจีนได้ใช้คลื่นความถี่ในย่าน 23.6-24 GHz 36-37 GHz 50.2-50.4 GHz และ 86-90 GHz สำหรับการตรวจจับระยะไกลแบบพาสซีฟ (Passive Remote Sensing) และ 35.5-36 GHz สำหรับการตรวจจับระยะไกลแบบแอคทีฟ (Active Remote Sensing) และกิจการดาวเทียมสำรวจโลก ใช้คลื่นความถี่ในย่าน 25.5-27 GHz เป็นต้น

ดังนั้นการศึกษาเพื่อให้การใช้งานร่วมกันระหว่างสถานีฐานในโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน รวมทั้งสถานีไร้สายหรือสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ จึงมีความจำเป็นก่อนที่จะจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อให้บริการ ตัวอย่างการศึกษา “Sharing and compatibility studies of IMT systems with Earth Exploration Satellite Service in 26 GHz frequency band” [10] “Preliminary Coexistence Studies between IMT-2020 systems and inter-satellite service in 26 GHz”[11] และ “On Coexistence and Spectrum Sharing between IMT-Advanced and Existing Fixed Systems”[12] เป็นต้น

1) Sharing and compatibility studies of IMT systems with Earth Exploration Satellite Service in 26 GHz frequency band[13]

North China Electric Power University ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบปัญหาการก่อกวนและการทำงานร่วมกันระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและสถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G โดยแบ่งแยกลักษณะการทดลองและผลลัพธ์เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- **ดาวเทียมวงโคจรประจำที่ (Geostationary Satellite Orbit)** โดยมีสถานีภาคพื้นดิน ณ Beijing เมื่อทำการตั้งค่าให้สถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G มีค่า Activity factor 50% ระยะห่างจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน 1 กิโลเมตร และค่า Clutter loss median เท่ากับ 37.1 dB พบว่า Interference margin มีค่าอยู่ระหว่าง 32.56 dB ถึง 44 dB ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การป้องกันที่เพียงพอ โดยเมื่อแสดงออกมาเป็นฟังก์ชันค่าการกระจายสะสม

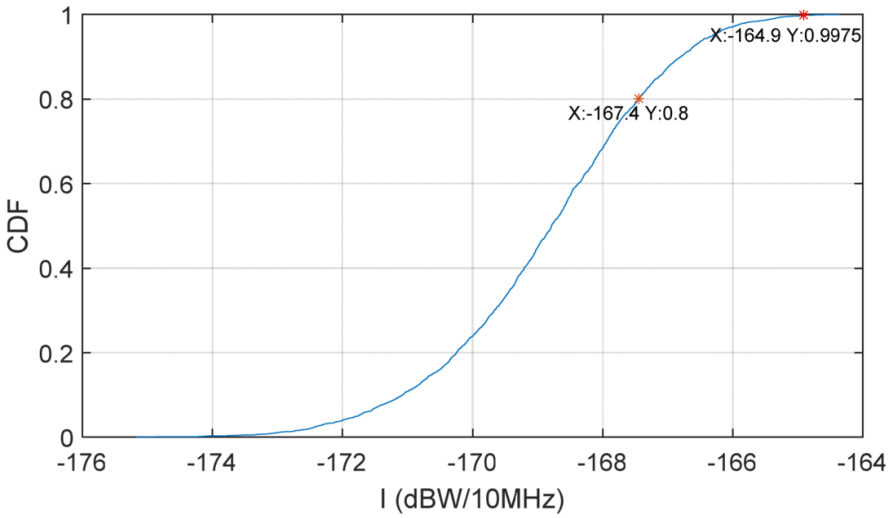
[10] Sharing and compatibility studies of IMT systems with Earth Exploration Satellite Service in 26 GHz frequency band, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1087/4/042021

[11] Preliminary Coexistence Studies between IMT-2020 systems and inter-satellite service in 26 GHz , https://www.researchgate.net/publication/321535115_Preliminary_Coexistence_Studies_between_IMT-2020_systems_and_inter-satellite_service_in_26_GHz

[12] On Coexistence and Spectrum Sharing between IMT-Advanced and Existing Fixed Systems, https://www.researchgate.net/publication/228888453_On_Coexistence_and_Spectrum_Sharing_between_IMT-Advanced_and_Existing_Fixed_Systems

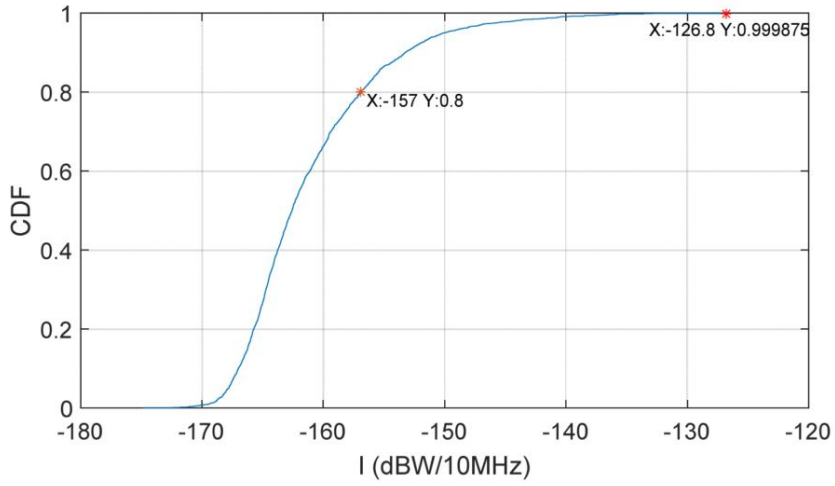
[13] Sharing and compatibility studies of IMT systems with Earth Exploration Satellite Service in 26 GHz frequency band, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1087/4/042021

(CDF) จะพบว่า Total interference มีน้อยกว่า Interference criterion ที่ร้อยละ 20 ดังรูป



รูป 8 CDF Curve ของผลการทดลอง

- **ดาวเทียมวงโคจรไม่ประจำที่ (Non - Geostationary Satellite Orbit)** โดยมีสถานีภาคพื้นดิน ณ Jiamusi เมื่อทำการตั้งค่าให้สถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G มีค่า Activity factor 50% ระยะห่างจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน 1 กิโลเมตร และค่า Clutter loss median เท่ากับ 37.183 dB พบว่า ค่า Aggregate interference นั้นเกินจากค่ามาตรฐานการป้องกัน โดยคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 0.82 ทั้งนี้ พบว่า เมื่อแสดงออกมาเป็นฟังก์ชันค่าการกระจายสะสม (CDF) จะพบว่า Total interference มีน้อยกว่า Interference criterion
ที่ร้อยละ 20 ดังรูป



รูป 9 CDF Curve ของผลการทดลอง

กล่าวโดยสรุปสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและสถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G สามารถดำเนินการร่วมกันได้ โดยสามารถอ้างอิงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองไปเป็นสมมติฐานในการออกแบบสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและสถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G

2) Preliminary Coexistence Studies between IMT-2020 systems and inter-satellite service in 26 GHz[14]

Beijing University ได้ร่วมกับ The State Radio Spectrum Management Center และ North China Electric Power University ทำการทดลองการศึกษาการทำงานร่วมกันเบื้องต้นระหว่างระบบ IMT-2020 (ซึ่งเป็นเทคโนโลยี 5G) และการให้บริการดาวเทียมในความถี่ย่าน 26 GHz โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบ ซึ่งมีการใช้พารามิเตอร์ทางเทคนิค ดังนี้

พารามิเตอร์ของสถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G

Frequency	26 GHz
Duplex mode	TDD
Network topology density	30 BSs/km^2
Network loading factor	20%
Antenna height	6 m (above ground level)
Sectorization	Single sector
Downtilt	10 degrees
Antenna pattern	Refer to Recommendation ITU-R M.2101
Element gain	5 dBi
Horizontal/vertical 3 dB beamwidth of single element	65°for both H/V

[14]Preliminary Coexistence Studies between IMT-2020 systems and inter-satellite service in 26 GHz , https://www.researchgate.net/publication/321535115_Preliminary_Coexistence_Studies_between_IMT-2020_systems_and_inter-satellite_service_in_26_GHz

Horizontal/vertical front-to-back ratio	30 dB for both H/V
Antenna polarization	Linear ±45°
Antenna array configuration (Row x Column)	8x8 elements
Horizontal/vertical radiating element spacing	0.5 of wavelength for both H/V
Array Ohmic loss	3 dB
Conducted power (before Ohmic loss) per antenna element	10 dBm/200MHz
Base station maximum coverage angle in the horizontal plane	degrees

พารามิเตอร์สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินประเภทประจำที่ (GSO data-relay satellite: DRS)

Transmitting spacecraft	
Network	China
Orbital locations	300-500 m (400 m for simulation)
Frequency range	25.25-27.50 GHz
Transmission rate	≤ 600 Mbit/s
Modulation	PSK
Polarization	Circular
Antenna size	≤ 0.8 m
Tx antenna gain	≤ 44.5 dBi
Tx antenna pattern	Rec. ITU-R S.672
Necessary bandwidth	≤ 600 MHz
Maximum e.i.r.p spectral density	-5.5 dBw/Hz

Receiving DRS	
Network	China
Orbital locations	Rec. ITU-R SA.1275 or Rec. ITU-R SA.1276
Antenna size	4.2 m
Rx antenna gain	57.5 dBi

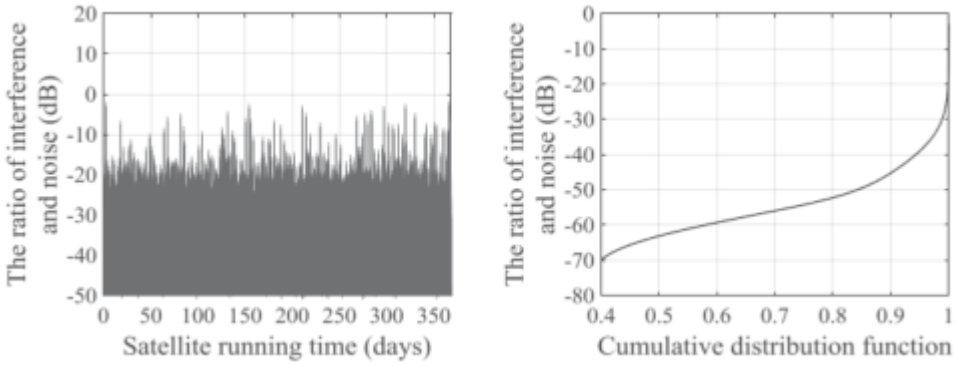
Rx antenna pattern	Rec. ITU-R S.672
System noise temperature	1000 K
Interference criterion	*I/N* = -10 dB [11]

โดยเมื่อพิจารณาผลการทดลอง พบว่า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีได้แก่

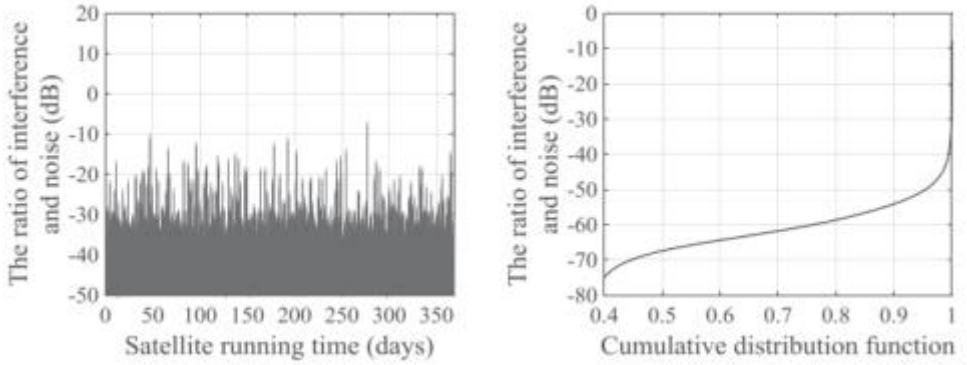
- Spatial distribution โดยตั้งสมมติฐานการทดลองให้ดาวเทียมชนิด LEO นั้นเคลื่อนที่เหนือแผ่นดิน โดยที่ระบบ DRS กำลังทำงานเพื่อ Tracking ในพื้นที่ 50 ตารางกิโลเมตร โดยผลลัพธ์การทดลอง พบว่า Interference ทั้ง 3 แบบของ DRS ณ มุม E 169°, E 113° และ E 59° อยู่ต่ำกว่า *I/N* = -10 dB โดยมีบางพื้นที่มีค่า Interference สูงถึง -20 dB และค่าเฉลี่ย Interference margin ของการทดลองในทั้ง 3 มุมของ DRS อยู่ที่ 10 dB

- Temporal distribution มีสมมติฐานการทดลองแยกย่อยเป็น 2 แบบ ได้แก่

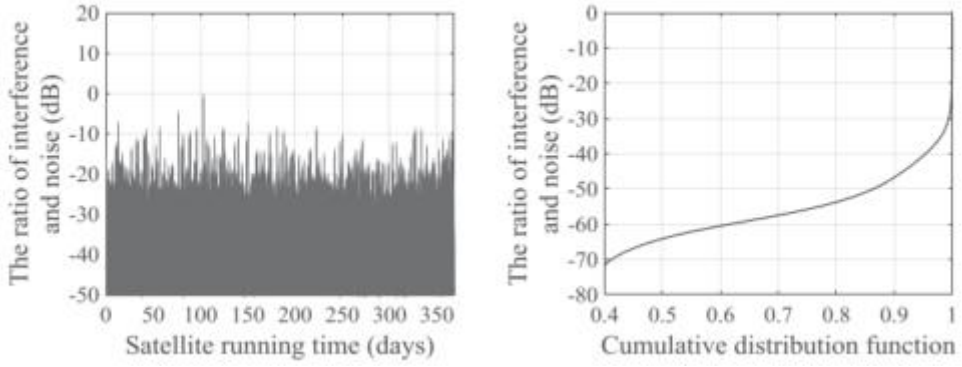
  - DRS & Low orbiting satellite จะทำการเลือกติดตามดาวเทียม 1 ดวง ซึ่งมีการทดลอง 3 แบบตามมุม E 169°, E 113° และ E 59° โดยผลการทดลองแสดงออกมาผ่านฟังก์ชัน CDF ดังนี้



รูป 10 CDF Curve ของผลการทดลองที่มุม E 59°

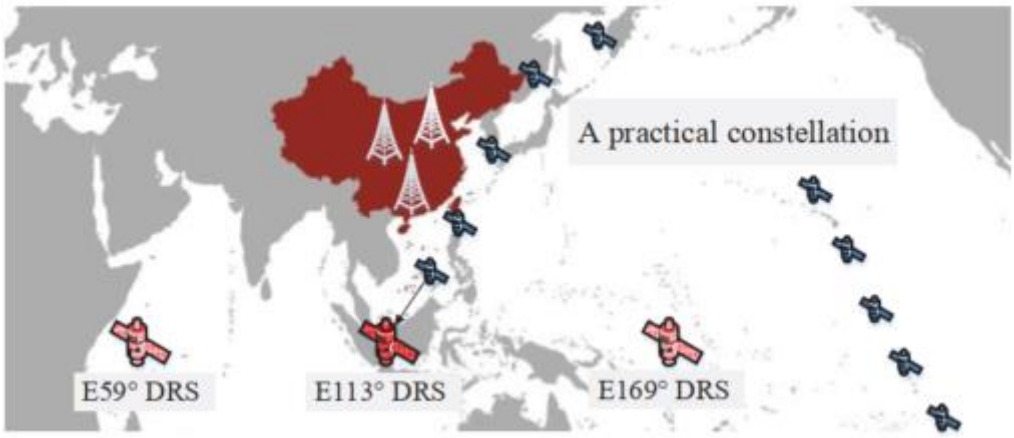


รูป 11 CDF Curve ของผลการทดลองที่มุม E 113°



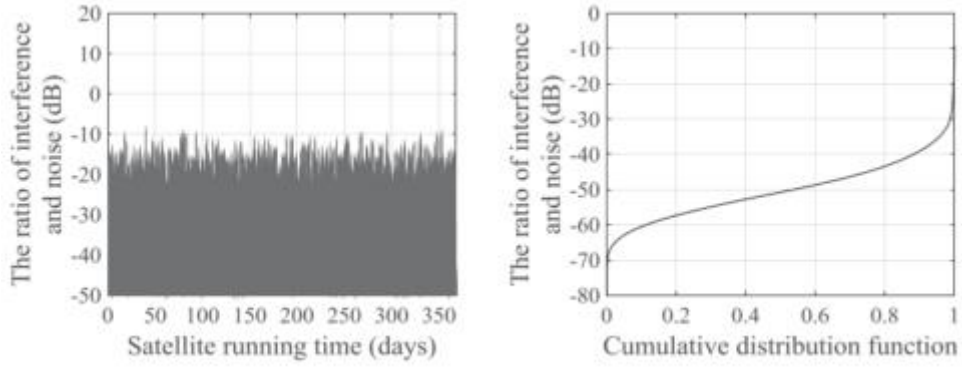
รูป 12 CDF Curve ของผลการทดลองที่มุม E 169°

- DRS & Low orbiting satellite constellation จะทำการเลือกติดตามกลุ่มเครือข่ายดาวเทียมวงโคจรต่ำจำนวน 10 ดวง โดยทั้ง 3 แบบจะมีมุมในการทดสอบ DRS ณ มุม E 169°, E 113° และ E 59° ดังรูป

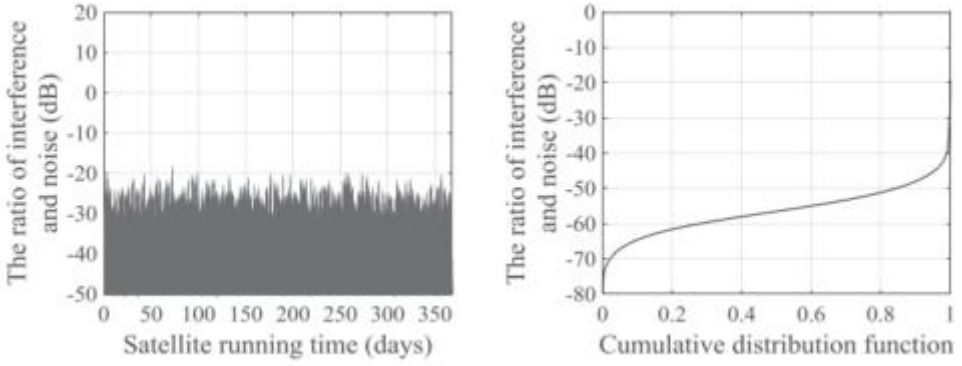


รูป 13 การจำลองการทดสอบกลุ่มดาวเทียม LEO Constellation

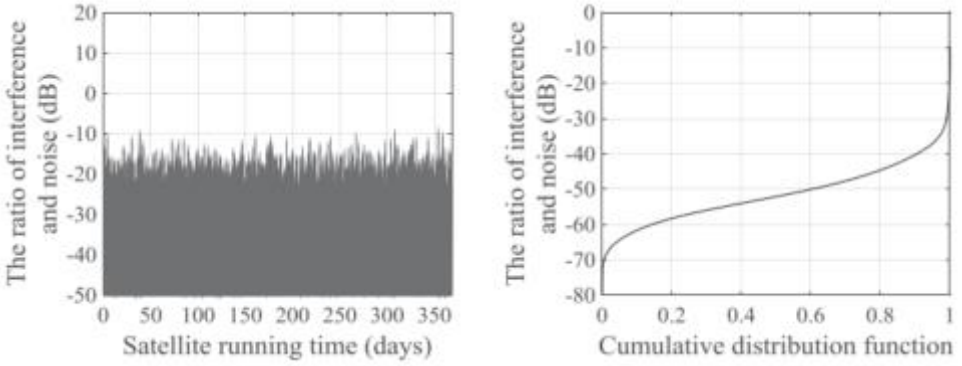
โดยผลการทดลองแสดงออกมาผ่านฟังก์ชัน CDF ดังนี้



รูป 14 CDF Curve ของผลการทดลองที่มุม E 59°



รูป 15 CDF Curve ของผลการทดลองที่มุม E 113°



รูป 16 CDF Curve ของผลการทดลองที่มุม E 169°

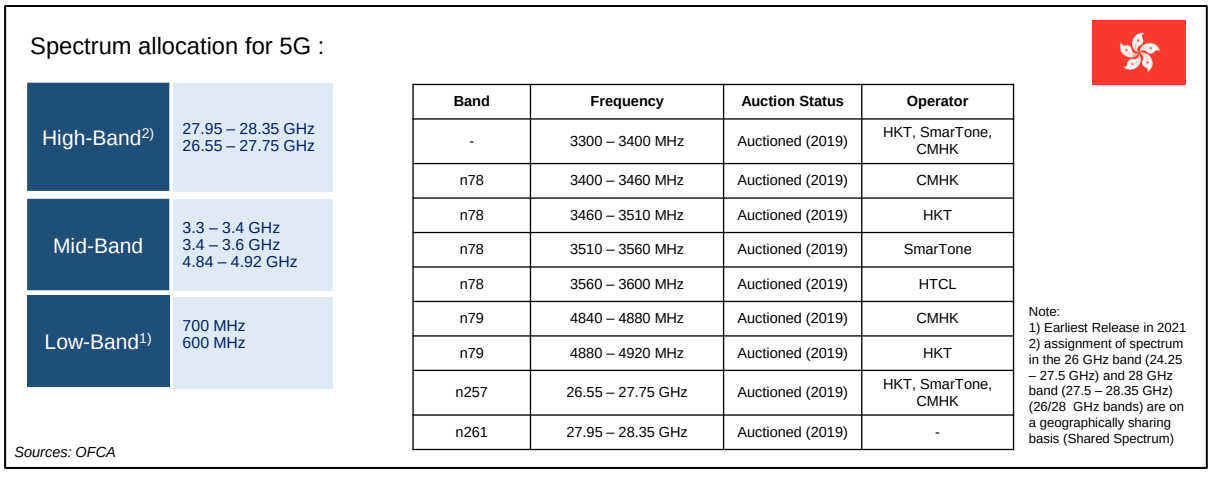
สรุปผลการทดลองการทำงานร่วมกันระหว่างระบบ IMT-2020 (ซึ่งเป็นเทคโนโลยี 5G) และการให้บริการดาวเทียมในความถี่ย่าน 26 GHz เพื่อกำหนดค่าเกณฑ์การป้องกันการรบกวน (Interference Criterion) แสดงดังตารางด้านล่าง

Scenario	The percent of time with I/N>-10dBin satellite running time
GSO 59°, Custom non-GSO	0.00679%
GSO 113°, Custom non-GSO	0.00019%
GSO 169°, Custom non-GSO	0.00245%
GSO 59°, Constellation	0.00057%
GSO 113°, Constellation	0.00000%
GSO 169°, Constellation	0.00038%

จากผลการทดลองของทั้ง 2 กรณี Spatial distribution และ Temporal distribution พบว่า การให้บริการ IMT ผ่านเทคโนโลยีภายใต้เงื่อนไขการทดลองดังกล่าว ไม่ส่งผลกระทบที่รุนแรงต่อการให้บริการของสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน

4.1.3 เขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน

Hong Kong's Office of Communications Authority หรือ OFCA ได้จัดประมูลคลื่นความถี่ 5G ในปี พ.ศ. 2563 ในย่านความถี่ 3.5 GHz 4.9 GHz และ 28 GHz (n78, n79, n257 และ n261) โดยมีผู้ให้บริการโทรคมนาคม 4 รายได้รับอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ดังแสดงในรูป



รูป 17 การจัดสรรคลื่นความถี่ในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน

ทั้งนี้การกำหนดคลื่นความถี่ในย่านความถี่ 26 GHz (24.25 - 27.5 GHz) และแถบความถี่ 28 GHz (27.5 - 28.35 GHz) อยู่บนพื้นฐานการแบ่งปันทางภูมิศาสตร์ (Shared Spectrum) ซึ่งหมายถึงคลื่นความถี่ที่ใช้ร่วมกันจะถูกกำหนดให้ใช้งานในสถานที่ต่างๆ ที่ระบุไว้ เช่น วิทยาเขตของมหาวิทยาลัย นิคมอุตสาหกรรม สนามบิน และสวนเทคโนโลยีบนพื้นฐานที่ใช้ร่วมกันทางภูมิศาสตร์โดยมีเครือข่ายครอบคลุมของผู้ได้รับอนุญาตแต่ละรายไม่เกิน 50 ตารางกิโลเมตร

ส่วนสถานการณ์การเปิดให้บริการเชิงพาณิชย์ในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีนนั้น ผู้ให้บริการ 3 ราย ได้แก่ HKT Hutchison 3 และ China Mobile Hong Kong (CMHK) ได้เปิดให้บริการโครงข่ายเทคโนโลยี 5G เดือนเมษายน พ.ศ. 2563 โดย CMHK อ้างว่าเครือข่าย 5G ครอบคลุมพื้นที่หลักกว่าร้อยละ 90 ของเกาะเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน ส่วน HKT กล่าวว่าความครอบคลุมในขั้นต้น 11 เขตจากทั้งหมด 18 เขต

4.1.3.1 การจัดสรรคลื่นความถี่

เพื่อให้สอดคล้องกับกรอบนโยบายที่รัฐบาลได้ประกาศเมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2550 Communication Authority หรือ CA จะประกาศแผนการใช้คลื่นความถี่ (Spectrum Release Plan หรือ SRP) ทุก 3 ปี ซึ่ง SRP ฉบับล่าสุดจะเป็นแผนสำหรับปี พ.ศ. 2564 – 2566 (Spectrum Release Plan for 2021 - 2023[15]) เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมใช้อ้างอิงในการดำเนินการ อาทิ การเปิดการประมูลคลื่นความถี่ การประกวดราคา หรือวิธีการอื่นที่เหมาะสม ตารางแผนการใช้คลื่นความถี่ แสดงรายละเอียดในตาราง

[15] Spectrum Release Plan for 2021 – 2023
(https://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/common/Industry/broadcasting/spectrum_plan2021_en.pdf)

Band	Frequency	Bandwidth	Earliest Release Date	Target Consultation Date	Remark
600 MHz	617 – 652 MHz 663 – 698 MHz	140 MHz	2021	Completed	Assignment of new spectrum for provision of indoor mobile services
700 MHz	703 – 738 MHz 758 – 793 MHz				Assignment of new spectrum for provision of mobile services
800 MHz	825 – 832.5 MHz 870 – 877.5 MHz	15 MHz	2021	Completed	Re-assignment of existing spectrum for provision of mobile/wireless fixed services
2500 MHz 2600 MHz	2500 – 2515 MHz 2540 – 2570 MHz 2620 – 2635 MHz 2660 – 2690 MHz	90 MHz	2021	Completed	Re-assignment of existing spectrum for provision of mobile services from Q1 2024
3300 MHz	3300 – 3400 MHz	100 MHz	2019	Complete	Limited to indoor use and was auctioned off in Nov 2019, with the assignment taking effect from Dec 2019.
3500 MHz	3400 – 3600 MHz	200 MHz	2019	Complete	This band was auctioned off in Oct 2019, with the assignment taking effect on April 2020.
4900 MHz	4800 – 4840 MHz 4920 – 4960 MHz	80 MHz	2021	Completed	Assignment of new spectrum for provision of mobile services
	4840 – 4920 MHz	80 MHz	2019	Completed	Auction 2019
26 GHz	26.55 – 27.75 GHz	1200 MHz	2019	Completed	Spectrum in this band was administratively assigned for the provision of large scale public mobile service in April 2019.
28 GHz	27.95 - 28.35 GHz	400 MHz	2019	Completed	CA assigned this band on a geographically sharing basis for the provision of innovative localized wireless broadband services.
39 GHz	39.5 – 43.5 GHz	4000 MHz	2022/2023	2022/2023	Assignment of new spectrum for provision of mobile/wireless fixed services.

ตาราง 2 การจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน

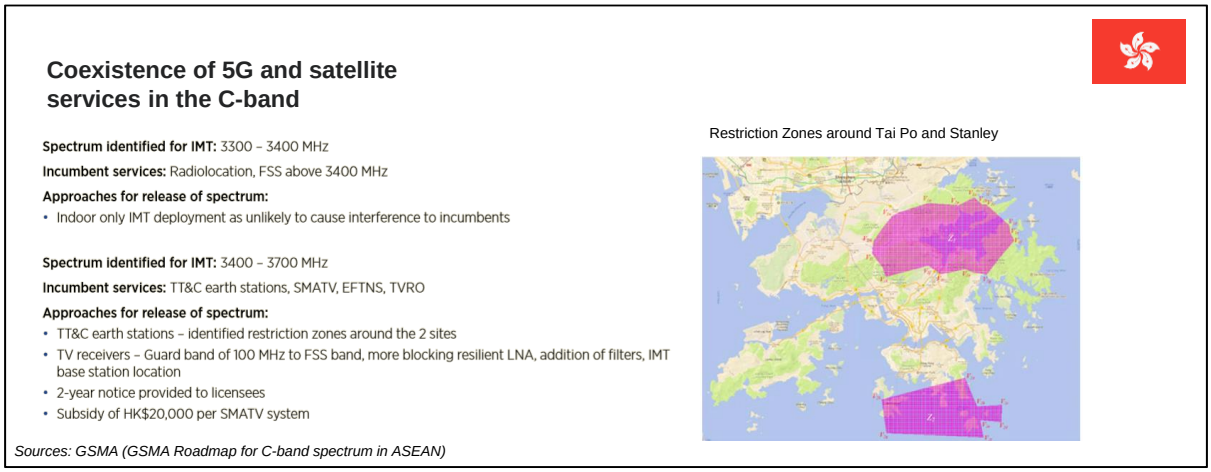
4.1.3.2 การบริหารการใช้ความถี่ร่วมกัน

สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีนที่จะให้บริการในย่านความถี่ 3.4 - 3.6 GHz (“ย่านความถี่ 3.5 GHz”) ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ในย่าน C-Band (ย่านความถี่ 3.4 - 4.2 GHz) ที่ต้องใช้ย่านความถี่ร่วมกับกิจการบริการดาวเทียมประจำที่ (“FSS”) ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบริหารการใช้ความถี่ร่วมกัน และการกำหนดมาตรการทางเทคนิคเพื่อให้กิจการทั้งสองสามารถให้บริการโดยไม่เกิดการรบกวนกัน ส่วนย่านความถี่ 28 GHz นั้น การให้บริการอยู่บนพื้นฐานการแบ่งปันทางภูมิศาสตร์ (Shared Spectrum) ดังนั้น การใช้ความถี่บนคลื่นดังกล่าวจึงอยู่ในสถานที่ที่ระบุไว้ และมีการจำกัดความครอบคลุมของเครือข่ายของการให้บริการบนย่านความถี่ดังกล่าวของผู้ได้รับอนุญาตแต่ละราย

<u>ย่านความถี่ 3.5 GHz</u>

กิจการบริการดาวเทียมประจำที่ที่ได้รับผลกระทบในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน เช่น ระบบ Satellite Master Antenna Television หรือ SMTV ซึ่งทำงานในย่านความถี่ 3.7 - 4.2 GHz ควรใช้มาตรการบรรเทาที่จำเป็นเพื่อให้ SMTV สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนวิทยุที่เกิดจากสถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ 5G ที่ทำงานในย่านความถี่ 3.5 GHz ผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาตสำหรับให้บริการคลื่นความถี่ 5G ในย่านความถี่ 3.5 GHz จะต้องจัดตั้งและบริหารกองทุนสำหรับโครงการเงินอุดหนุนเพื่อสนับสนุนการอัพเกรดระบบ SMATV ที่ได้รับผลกระทบจากการใช้คลื่นความถี่ย่าน 3.5 GHz สำหรับการให้บริการ 5G

นอกจากนี้ ยังมีการป้องกันเพิ่มเติมสำหรับสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลทางไกล การติดตามและการควบคุมดาวเทียมในวงโคจร (Telemetry, Tracking and Control หรือ TT&C) ที่ปฏิบัติการในย่านความถี่ 3.4 - 3.7 GHz โดยถูกกำหนดให้ดำเนินการในเขต Tai Po และ Stanley ที่สถานี TT&C ตั้งอยู่เพื่อจำกัดและควบคุมการใช้งานสถานีฐานของโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ที่ทำงานในย่านความถี่ 3.5 GHz[16] ทั้งนี้จากการสนับสนุนของ OFCA ในการสำรวจเชิงรุกเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียมที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการย้ายสถานี TT&C ที่ได้รับผลกระทบใน Tai Po เพื่อแก้ไขปัญหาการใช้คลื่นความถี่ 5G ในย่านความถี่ 3.5 GHz ในเขต Tai Po ในระยะยาว



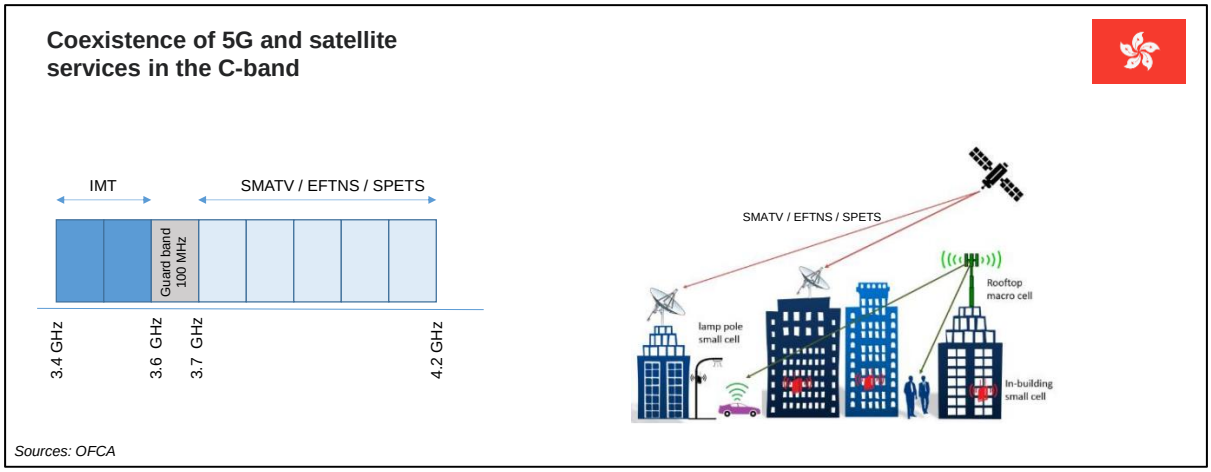
รูป 18 การจัดสรรคลื่นความถี่ย่าน C-Band ในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน

จากที่ OFCA ได้ประกาศอย่างเป็นทางการในการจัดสรรคลื่นใหม่ในย่านความถี่ 3.4 - 3.7 GHz ให้ใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล IMT ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2020[17] **ตามการศึกษาทางเทคนิคที่ดำเนินการในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน[18] ได้มีการนำเสนอการแยกความถี่ 100 MHz ระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล IMT และ FSS** นอกเหนือจากเทคนิคการลดผลกระทบที่กล่าวถึงแล้วนั้น ย่านความถี่ 3.6-3.7 GHz จะยังคงเป็นแถบความถี่ป้องกันการรบกวน เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากสถานีฐานไปยัง FSS ที่ใช้งานในย่านความถี่ที่สูงกว่า 3.7 GHz ดังรูปด้านล่าง

[16] “Guidelines for Installation of RBSs operating in the 3.4 – 3.6 GHz Band within the Restriction Zones Delineated by the CA” issued in July 2019, which is available at https://www.coms-auth.hk/filemanager/statement/en/upload/514/gn142019e.pdf.

[17] Communications Authority's Change in the Allocation of the 3.4 – 3.7 GHz Band from Fixed Satellite Service to Mobile Service, https://www.comsauth.hk/filemanager/statement/en/upload/441/ca_statements20180328_en.pdf

[18] Consultancy Report – Assessments on and Recommendations to Enable the Electromagnetic Compatibility between Public Mobile Services and Fixed Satellite Service Operating in the C-Band, Rhode & Schwarz Hong Kong Limited https://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/common/reports/consultancy/cr_201803_28_en.pdf



รูป 19 การจัดสรรคลื่นความถี่ย่าน C-Band ในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน

อย่างไรก็ตาม จะยังคงมีบริการดาวเทียมที่ใช้งานอยู่จำนวนมากในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งประเด็นสำคัญที่น่ากังวลสำหรับอุตสาหกรรมดาวเทียม และแนวทางหรือมาตรการดำเนินการป้องกันการรบกวนกัน สรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การป้องกันสถานีภาคพื้นดิน TT&C ที่ใช้ความถี่ในย่าน 3.4 – 3.7 GHz OFCA เสนอให้มีการจำกัดเขต และขนาดพื้นที่ครอบคลุมเพื่อปกป้องสถานี TT&C ในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน

2. การป้องกันเครือข่ายที่ให้บริการดาวเทียมต่าง ๆ ที่ได้รับใบอนุญาตในย่านความถี่ 3.7 - 4.2 GHz ทั้ง Satellite Master Antenna Television (SMATV) External Fixed Telecommunications Network Services (EFTNS) และระบบ Self-Provided External Telecommunications Systems (SPETS)

   OFCA ได้ว่าจ้างผู้เชี่ยวชาญให้ทำการศึกษาทางเทคนิคเพื่อพิจารณาว่าจะต้องมีการอัพเกรดทางเทคนิคบนระบบ SMATV ที่ได้รับใบอนุญาตซึ่งมีอยู่ประมาณ 1,600 ใบอนุญาตที่มีผู้ใช้งาน หรือจำนวนอุปกรณ์ในการรับสัญญาณที่ต้องอัพเกรดทั้งหมดประมาณ 886,569 อุปกรณ์ (ข้อมูลเดือนมกราคม พ.ศ. 2561) รวมทั้งศึกษาการจำกัดการแพร่แปลกปลอม (Spurious Emission Limit) ของสถานีฐานในเครือข่ายโทรคมนาคมสากล IMT ในย่านความถี่ 3.4 - 3.6 GHz และ FSS ในย่าน 3.7 - 4.2 GHz[19]

[19] Assessments on and Recommendations to Enable the Electromagnetic Compatibility between Public Mobile Services and Fixed Satellite Service
Operating in the C-Band (https://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/common/reports/consultancy/cr_201803_28_en.pdf)

ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าจะต้องอัพเกรด LNB และต้องติดตั้งวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter) ที่ด้านหน้า LNB และในกรณีที่สถานีฐานของโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ที่ทำงานในย่านความถี่ 3.4 - 3.6 GHz ทำให้เกิดการรบกวนระบบ SMATV / EFTNS / SPETS ที่ใช้งานในย่านความถี่ 3.7 - 4.2 GHz ในบริเวณใกล้เคียง จะต้องมีมาตรการบรรเทาที่จำเป็นที่นำมาใช้โดยผู้ให้บริการกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ (MNO) ที่เกี่ยวข้องควรรับผิดชอบการดำเนินการแก้ไข

3. Overdrive เกิดจาก LNB แบนด์วิดท์กว้างรับพลังงานต่ำกว่า 3600 MHz

เนื่องจากสัญญาณจากสถานีฐานของโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่มีกำลังสูงกว่าสัญญาณที่อุปกรณ์รับสัญญาณของ FSS หลายเท่า ถึงแม้จะอยู่นอกย่านความถี่อย่างมีนัยสำคัญยังสามารถผลัก LNB เข้าสู่ความอิ่มตัว หรือ Overdrive ได้ ทำให้สัญญาณขนาดเล็กลดระดับของสัญญาณลงและส่งผลต่อการทำงานของ LNB ไม่สามารถเพิ่มระดับของสัญญาณ FSS ที่ต้องการไปสู่ระดับที่ต้องการได้

4. แม้แต่สถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน FSS ที่ติดตั้งวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter) ก็อาจถูกรบกวนจากการส่งสัญญาณโทรคมนาคมเคลื่อนที่ในย่านความถี่ที่อยู่ติดกัน (แม้จะมีแถบความถี่ป้องกันการรบกวน) ภายใต้สถานการณ์บางอย่าง ในกรณีเช่นนี้อาจต้องใช้ระยะห่างในการป้องกัน

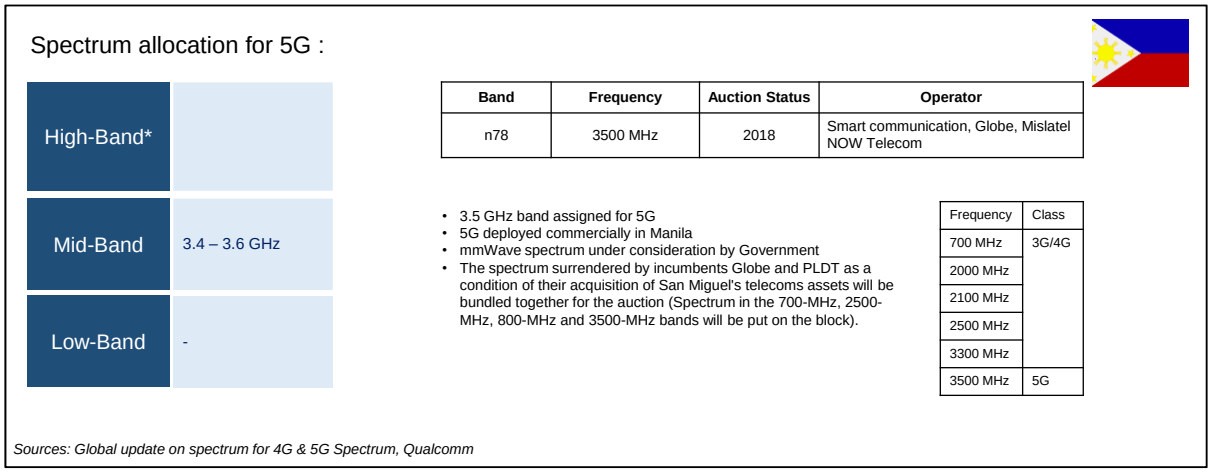
ระบบ SMATV ที่อัพเกรดแล้ว พร้อมติดตั้งตัววงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter) สัญญาณในย่านความถี่ 3.7- 4.2 GHz แต่ถ้าได้รับสัญญาณจากเสาอากาศของสถานีฐานขนาดใหญ่ของโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ สูงกว่าเสาของระบบ SMATV ในระยะใกล้กับเสาอากาศที่หันเข้าหากันโดยตรงอาจเกิดการรบกวนได้ ภายใต้สถานการณ์เช่นนี้เสาอากาศของสถานีฐานขนาดใหญ่ที่เกี่ยวข้องควรถูกย้าย โดยควรมีระยะทางออกไปในทิศทางตะวันออกหรือตะวันตกประมาณ 65 เมตร ในทางปฏิบัติผู้ให้บริการมักจะย้ายสถานีฐานขนาดใหญ่ดังกล่าวไปยังอาคารที่อยู่ถัดออกไปในบริเวณนั้น ๆ

โดยสรุปแล้ว แนวทางในการใช้ความถี่ในย่าน C-Band ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ IMT และกิจการดาวเทียมประจำที่ในเขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีนมีหลายวิธี ทั้งการกำหนดเขตภูมิศาสตร์เพื่อป้องกันการรบกวนต่อสถานี TT&C การกำหนดให้มีแถบความถี่ป้องกันการรบกวน การอัพเกรด LNB การติดตั้งวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter) และการกำหนดระยะห่างระหว่างสถานีส่งสัญญาณของทั้งสองกิจการ

4.1.4 สาธารณรัฐฟิลิปปินส์

หน่วยงานกำกับดูแลด้านโทรคมนาคม หรือ National Telecommunications Commission (NTC) ของฟิลิปปินส์วางแผนที่จะจัดประมูลคลื่นความถี่ย่าน 700 MHz 2500 MHz 800 MHz และ 3500 MHz (ซึ่ง

เป็นไปตามเงื่อนในตอนที่ PLDT และ Globe เข้าถือซื้อกิจการของ San Miguel Telecom ซึ่งตามเงื่อนไขของการเข้าซื้อกิจการ Globe และ PLDT จำเป็นต้องสละส่วนหนึ่งของย่านความถี่ 700 MHz เช่นเดียวกับคลื่นความถี่ในย่านความถี่ 850 MHz 2500 MHz และ 3500 MHz ที่มีอยู่เพื่อให้สามารถนำมาจัดสรรให้แก่ผู้ให้บริการหลักรายที่สามได้) สำหรับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่รายที่สามในตลาดในช่วงกลางปี 2560 โดย Mislatel (ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น DITO) ได้ชนะการประมูลผู้ให้บริการรายที่สามและได้รับใบอนุญาตในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 และผู้ให้บริการรายที่สี่ หรือ NOW Telecom ได้รับอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz จำนวน 20 MHz ในปีถัดมา



รูป 20 การจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G ในสาธารณรัฐฟิลิปปินส์

สำหรับสถานการณ์การพัฒนาโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G และการเปิดให้บริการเชิงพาณิชย์ในสาธารณรัฐฟิลิปปินส์นั้น เมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563 PLDT-Smart (Smart Communications, บริษัทในเครือ PLDT) ได้เปิดตัวบริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G เชิงพาณิชย์ในย่านธุรกิจของกรุงมะนิลา และในเดือนถัดมา Smart ได้ประกาศที่จะขยายการติดตั้งโครงข่ายทั่วประเทศในโบราไกย์ เซบูอิโลอิโล และดาเวา ซึ่งเป็นเมืองสำคัญในวิซายา และมินดาเนา

Globe Telecom ผู้ให้บริการโทรคมนาคมหลักอีกรายในฟิลิปปินส์ได้รับหน้าที่ในการติดตั้งสถานีฐานขนาดเล็ก (5G Small Cell) ในกรุงมะนิลาในปี 2018 ขณะนี้ Globe กำลังขยายโครงข่าย 5G ไปยังอีก 17 เมืองหลักในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น ในเขตเมืองหลวงแห่งชาติ (National Capital Region หรือ Metro Manila) วิซายา และมินดาเนา ทั้งนี้ประมาณการณ์ว่าจะสามารถการขยายพื้นที่ครอบคลุมร้อยละ 80 ของพื้นที่เป้าหมายภายในปี พ.ศ. 2563

4.1.4.1 การจัดสรรคลื่นความถี่

National Telecommunications Commission หรือ NTC ในสาธารณรัฐฟิลิปปินส์ได้จัดสรรแผนการใช้คลื่นความถี่ให้แก่บริการต่าง ๆ รวมทั้งบริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G โดย NTC ได้ประกาศ

แผนล่าสุด หรือตาราง National Radio Frequency Allocation Table (NRFAT) โดยมีการจัดสรรคลื่นความถี่หลักในย่านความถี่ 700 MHz 800 MHz 2000 MHz 2100 MHz 2500 MHz 3300 MHz และ 3500 MHz ของผู้ให้บริการหลักสามรายของประเทศ ได้แก่ PLDT-Smart Globe Telecom และ Mislatel (ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น DITO) และคลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz ให้แก่ NOW Telecom เพื่อใช้ในการให้บริการเทคโนโลยี 5G

Band	Frequency	Bandwidth	Mobile	NATIONAL (NTC) FREQUENCY ALLOCATIONS
3300 MHz	3400 – 3500 MHz	100 MHz	BWA	FIXED FIXED SATELLITE (space-to-Earth) Amateur Mobile Radiolocation
3500 MHz	3500 – 3600 MHz	100 MHz	BWA	FIXED FIXED-SATELLITE (space-to-earth) MOBILE except aeronautical mobile Radiolocation

ตาราง 3 คลื่นความถี่ที่ใช้กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ในสาธารณรัฐฟิลิปปินส์

ที่มา : NTC

4.1.4.2 การบริหารการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน

จากการประชุม WRC-15 ได้มีการอนุญาตให้สาธารณรัฐฟิลิปปินส์ ใช้คลื่นความถี่ย่าน 3400 -3600 MHz สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล IMT ภายในอาณาเขตของตนเอง แต่อย่างไรก็ตาม การใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่จะไม่รบกวนกิจการดาวเทียมประจำที่ เช่นเดียวกับประเทศอื่น ๆ

จากการประชุม WRC-15 NTC ได้จัดทำหนังสือบริคณห์สนธิ (Memorandum Circular) เรื่อง การใช้ความถี่ร่วมกันและการประสานงานระหว่างกิจการดาวเทียมประจำ และกิจการประจำที่ โดยเปิดให้มีการรับฟังความคิดเห็นสาธารณะต่อ Memorandum Circular[20]

ย่านความถี่ 3400 - 3600 MHz ซึ่งก่อนหน้านี้ได้รับการยอมรับว่าเป็นย่านความถี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบการเข้าถึงไร้สายแบบประจำที่ (FWA) และแบบจุดต่อหลายจุด (Point-to- multipoint Point) ซึ่งต่อมาย่านความถี่ 3400-3600 MHz ยังได้รับการจัดสรรสำหรับการใช้งานในบริการการเข้าถึงบรอดแบนด์ไร้สาย (Broadband Wireless Access : BWA) ซึ่งสาธารณรัฐฟิลิปปินส์ได้เข้าร่วมการประชุม WRC-15 ในฐานะประเทศที่ต้องการใช้งานกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล IMT **โดยมีการเพิ่มกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล IMT และ FWA ในย่านดังกล่าว ดังนั้น บริการ VSAT จึงไม่ได้รับอนุญาตใช้งานในย่านความถี่ 3400 - 3700 MHz หรือ extended C-band**

[20] NOTICE OF PUBLIC HEARING , 21 June 2016, (https://ntc.gov.ph/wp-content/uploads/2016/publichearings/Notice_of_Public_Hearing_MC_Frequency_Sharing_and_Coordination.pdf)

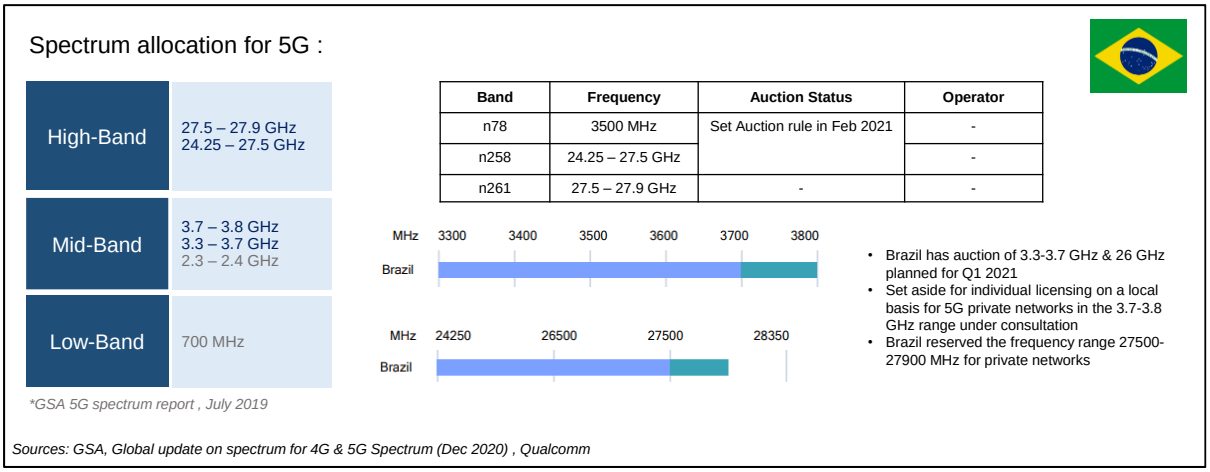
ทั้งนี้ในเอกสาร Memorandum Circular มีการเสนอแนวทางที่บริการ VSAT จะสามารถใช้คลื่นในย่านความถี่เดียวกันโดยวิธีการลดสัญญาณรบกวนต่อไปนี้

- ระบบการเข้าถึงไร้สายแบบประจำที่ (Fixed Wireless Systems) จะต้องใช้เสาอากาศประสิทธิภาพสูงหรือสูงกว่า
- ถ้าเป็นไปได้ VSAT ควรถูกติดตั้งโดยเพิ่มการป้องกันการรับสัญญาณรบกวนจากระบบการเข้าถึงไร้สายแบบประจำที่ (Fixed Wireless Systems interferers)
- เสาอากาศ VSAT ไม่ควรติดตั้งให้สูงเกินกว่าที่จำเป็น
- อุปกรณ์สายอากาศรับสัญญาณของ VSAT ควรมีความสามารถในการ Reject สัญญาณรบกวน
- จะต้องติดตั้งระบบ FS และ FSS โดยใช้การป้องกันโดยธรรมชาติเพื่อเพิ่มการสูญเสียสิ่งกีดขวาง / การเลี้ยวเบนเพื่อลดสัญญาณรบกวน

ในกรณีที่เกิดการรบกวนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFI) ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตที่ได้รับผลกระทบจะต้องส่งคำร้องเรียนเป็นลายลักษณ์อักษรไปยังคณะกรรมการ โดยระบุรายละเอียดของปัญหา RFI ที่สังเกตหรือตรวจสอบได้ จากนั้นคณะกรรมการจะให้ความช่วยเหลือผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตที่ได้รับผลกระทบจนกว่า RFI จะได้รับการแก้ไข แต่เนื่องจากระบบ FS และ FSS นั้นเป็น Co-Primary ในย่านความถี่ 3700-4200 MHz การรบกวนจะได้รับการแก้ไขร่วมกันโดยทั้งฝ่ายที่ส่งสัญญาณรบกวนและฝ่ายที่ถูกรบกวน โดยจะต้องใช้วิธีการทางเทคนิคที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อกำจัด หรือบรรเทาสัญญาณการรบกวนดังกล่าว

4.1.5 สหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล

Brazilian National Telecommunications Agency หรือ ANATEL ซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมของบราซิล กำหนดคลื่นความถี่ที่จะนำไปใช้เพื่อให้บริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ในย่านความถี่ต่ำ ความถี่กลาง และความถี่สูง ดังแสดงในรูปด้านล่าง



รูป 21 การจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G ในสหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล

เนื่องจากการประมูลคลื่นความถี่ย่าน 3.5 GHz ซึ่งเป็นคลื่นความถี่หลักที่นำมาใช้กับเทคโนโลยี 5G ทั่วโลก รวมทั้งสหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล ถูกเลื่อนออกไป โดยคาดว่าจะจัดขึ้นในปี พ.ศ. 2021 ผู้ให้บริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่จึงเตรียมแผนในการพัฒนาโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G และการเปิดให้บริการเชิงพาณิชย์ในบราซิลโดยใช้คลื่นความถี่ที่มีอยู่เดิม โดยผู้ให้บริการทั้งสามรายจะใช้เทคโนโลยี Dynamic Spectrum Sharing (DSS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการแชร์ใช้งานคลื่นความถี่แบบไดนามิก (DSS) สำหรับเครือข่าย 5G ทำให้ผู้ให้บริการสามารถให้บริการ 4G และ 5G ผ่านย่านความถี่เดียว การแชร์การใช้งาน Spectrum ร่วมกันระหว่าง 4G LTE กับ 5G NR จุดประสงค์หลักของการใช้ DSS คือการใช้ Spectrum ที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยเฉพาะในช่วงที่เพิ่งเริ่มวางโครงข่าย 5G ซึ่งผู้ใช้บริการ 5G ยังมีจำนวนไม่มากนัก

ตามรายงานใน TeleGeography ผู้ให้บริการ TIM จะเปิดตัวเพื่อให้บริการ 5G เชิงพาณิชย์ในเดือนกันยายนปี พ.ศ. 2563 ในสามเมืองในภูมิภาคต่างๆ ในขณะที่ Vivo และ Claro Brazil เปิดให้บริการ 5G เชิงพาณิชย์ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563 โดยผู้ให้บริการทั้งสามรายนี้ใช้เทคโนโลยี Dynamic Spectrum Sharing (DSS) ส่วนผู้ให้บริการ Oi ได้ประกาศที่จะให้บริการเชิงพาณิชย์ (Commercial Pilot) บางส่วนในเขตเมืองหลวง ครอบคลุม 460 ตารางกิโลเมตร โดยจะโยกย้ายคลื่นความถี่ 2.1 GHz จำนวน 10 MHz เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G โดยมิได้ใช้เทคโนโลยี DSS

4.1.5.1 การจัดสรรคลื่นความถี่

กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีนวัตกรรมและการสื่อสาร (Brazil's Ministry of Science, Technology, Innovations and Communications) และ Brazilian National Telecommunications Agency หรือ ANATEL ซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมของบราซิล ได้อนุมัติหลักเกณฑ์กระบวนการประมูลคลื่นความถี่ 5G ของบราซิลในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 โดยมีคลื่นความถี่ที่จะร่วม

ประมูลได้แก่ คลื่นความถี่ย่าน 700 MHz 2.3 GHz และ 3.5 GHz พร้อมจำหน่ายควบคู่ไปกับคลื่นความถี่ย่าน 26 GHz

Band	Frequency	Bandwidth	Auction	Remark
700 MHz	709 – 718 / 763 - 773	20 MHz	2021	The spectrum is expected to be awarded on a technology-neutral basis
2300 MHz	2300 – 2390 MHz	90 MHz	2021	TDD , The spectrum is expected to be awarded on a technology-neutral basis
3500 MHz	3300 – 3800 MHz	500 MHz	2021	TDD, The spectrum is expected to be awarded on a technology-neutral basis. 3.7-3.8 GHz is range under consultation for private network
26 GHz	24.25 – 27.5 GHz	3250 MHz	2021	
28 GHz	27.5 – 27.9 GHz	400 MHz	-	For private networks

ตาราง 4 คลื่นความถี่ที่ใช้กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G ในสหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล

ที่มา : GSA 5G spectrum report , July 2019 GSA and Global update on spectrum for 4G & 5G Spectrum (Dec 2020) , Qualcomm[21]

จากตารางจะเห็นว่าคลื่นความถี่ในย่านความถี่กลางและความถี่สูงบางส่วน ได้ถูกกำหนดให้ใช้สำหรับ Private Network ซึ่งได้แก่ คลื่นความถี่กลางในช่วง 3700 – 3800 MHz จำนวน 100 MHz และคลื่นความถี่สูงในช่วง 27.5 – 27.9 GHz จำนวน 400 MHz

นอกจากคลื่นความถี่ที่ประมูลดังกล่าวแล้ว ANATEL ได้ดำเนินการศึกษาและรับฟังความคิดเห็นสาธารณะเกี่ยวกับการกำหนดการใช้คลื่นความถี่ใหม่ใน L-Band (1427–1518 MHz) เพื่อใช้สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล IMT[22]

4.1.5.2 การบริหารการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน

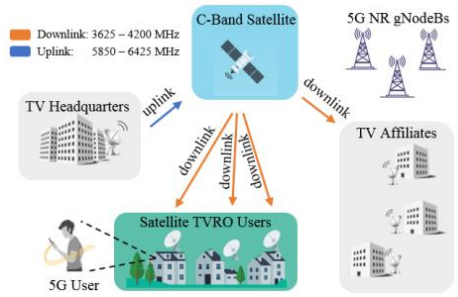
TVRO (Television Receive-Only) หรือ “การรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม เพื่อการรับชมโดยเฉพาะ” เป็นที่แพร่หลายมาอย่างยาวนาน ปัจจุบันมีผู้ใช้บริการ TVRO ประมาณ 22 ล้านคนในบราซิล[23] ดังนั้นการบริหารการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่าง TVRO และ 5G เป็นความท้าทายทางเทคนิค โดยทั่วไปแล้ว TVRO downlink จะใช้คลื่นความถี่ช่วง 3625 - 4200 MHz ซึ่งอยู่ติดกับย่านความถี่หลักของกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ IMT เทคโนโลยี 5G ดังนั้นความเสี่ยงในการรบกวนกันของสัญญาณขึ้นอยู่กับระดับกำลังส่งของโครงข่าย 5G และระยะทางจากสถานีฐานโครงข่าย 5G ไปยังบ้านผู้ใช้บริการ TVRO

[21] Global update on spectrum for 4G & 5G Spectrum (Dec 2020)
https://www.qualcomm.com/media/documents/files/spectrum-for-4g-and-5g.pdf

[22] คลื่นความถี่สำหรับโครงข่ายโทรคมนาคมภาคพื้นดิน โดยใช้เทคโนโลยี Spectrum for Terrestrial 5G Networks: Licensing Developments Worldwide

[23] Brazil - IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD), Retrieved 2019, October 15 from https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101631_informativo. pdf.

Coexistence of 5G and TVRO in the C-band



COMPARISON OF THE PROTECTION DISTANCE INCLUDING AN RF FILTER BEFORE THE LNBF FIRST AMPLIFICATION STAGE.

LNBF	*RF filter*	*LNBF P1dB*	*Protection distance*
Comercial	no	-60 dBm	12.02 km
Proposed solution 1	yes	-60 dBm	672.6 m
Proposed solution 2	yes	-45 dBm	111 m

1) use low-cost planar RF filters with low insertion loss before the low noise amplifier (LNA) stage of the LNBF for avoiding interference from 5G NR in TVRO systems.
2) Additionally, the TV signal saturation can be alleviated and, consequently, the protection distance can be further lessened, by improving the LNBF P1dB

Sources: Coexistence Analysis Between 5G NR and TVRO in C-Band , by L.C. Alexandre, L.O. Veiga, Agostinho Linhares, José R. P. Moreira, M. Abreu and Arismar Cerqueira S. Jr

รูป 22 การศึกษาการใช้ความถี่ร่วมกันระหว่าง 5G และ TVRO ในสหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล

ตัวอย่างผลการศึกษาในบราซิลที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์การใช้งานร่วมกันระหว่าง 5G New Radio และ ระบบ TVRO ดาวเทียม[24] มีดังต่อไปนี้: **1) การทดสอบเพื่อตรวจสอบผลกระทบจากโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ 5G ที่กระทบต่อผู้ใช้งาน TVRO ในบราซิลโดยการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณรบกวนที่ได้รับโดยปรับกำลังส่ง และวิเคราะห์คุณภาพ TVRO จากภาพทีวีทั้งช่องแอนะล็อกและดิจิตอล 2) การวิเคราะห์ระยะการป้องกัน (Protection Distance) โดยการเปรียบเทียบ LNB_F ที่แตกต่างกัน ผลของแนวทางนี้ขึ้นอยู่กับการใช้ วงจรกรองความถี่ (RF Filter) และวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) ที่มีค่า -1dB gain compression point เพื่อลดระดับการรบกวนของสัญญาณ และทำให้โครงข่ายโทรคมนาคม เทคโนโลยี 5G และ TVRO สามารถให้บริการร่วมกันได้อย่างราบรื่น**

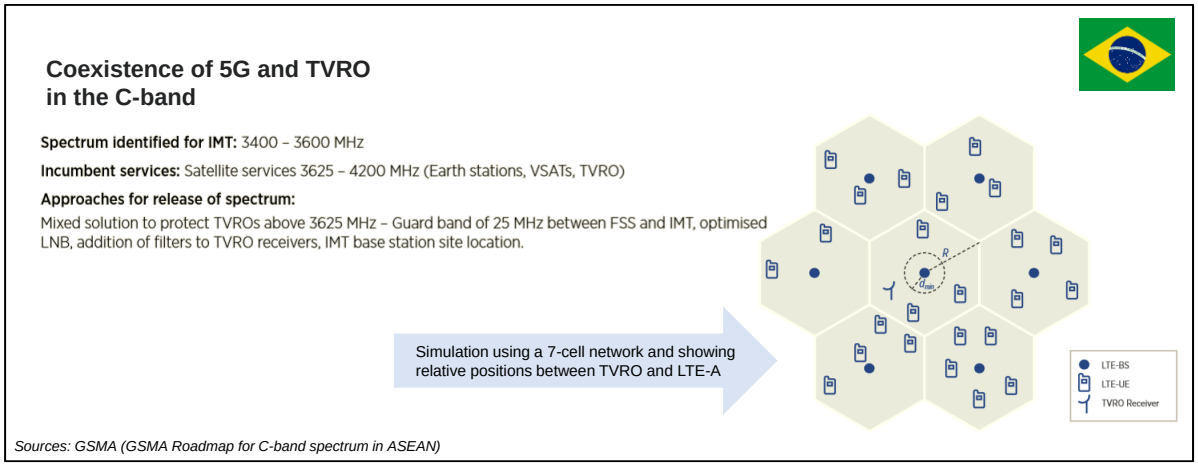
ผลการทดลองแสดงให้ว่า ปัญหาการรบกวนเนื่องจากสถานีฐาน 5G ตั้งอยู่ใกล้กับบ้านผู้ใช้ TVRO จะต้องลดกำลังของช่องสัญญาณ 5G ที่สูงกว่า -46 dBm นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาการใช้ความถี่ร่วมกันระหว่างระบบ 5G และระบบ TVRO **โดยแนวทางแรกใช้ Lowcost planar RF filters และเพิ่ม Low Insertion Loss ก่อน LNB_F ในขั้นตอนการขยายสัญญาณครั้งแรก จะสามารถลดระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G NR และผู้ใช้ TVRO จาก 12.02 กิโลเมตร (ตาม ITU-R SF.1486 recommendation) ลงเหลือ 672.6 เมตร และหากเพิ่ม TVRO LNB_F 1 dB compression point 15 dB จะสามารถลดระยะการป้องกันเหลือเพียง 111 เมตร**

นอกจากนี้ ANATEL ยังได้ทำการศึกษาเพื่อทดสอบจำลองสถานการณ์การใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่าง โครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ 4G/LTE-A ที่ติดตั้งในย่านความถี่ 3400 - 3600 MHz[25] พร้อมกับ

[24] Coexistence Analysis Between 5G NR and TVRO in C-Band by L.C. Alexandre, L.O. Veiga, Agostinho Linhares, José R. P. Moreira, M. Abreu and Arismar Cerqueira S. Jr. , JOURNAL OF COMMUNICATION AND INFORMATION SYSTEMS, VOL. 35, NO.1, 2020.

[25] Roadmap for C-band spectrum in ASEAN, August 2019, https://plumconsulting.co.uk/roadmap-for-c-band-spectrum-in-asean/#

แอปพลิเคชัน TVRO ในช่วง 3625 - 4200 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ประเภท “Blanket licensing procedure” ด้วยวิธีการและแบบจำลอง “Monte Carlo” ทั้งนี้ไม่สามารถทราบได้ว่ามีการใช้งาน TVRO บริเวณไหนจำนวนประมาณ 20 ล้านครัวเรือน และอุปกรณ์ TVRO ดังกล่าวเป็นชนิดคุณภาพต่ำราคาถูกไม่มีวงจรกรองความถี่ โดยพบว่าปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากวงจรแปลงสัญญาณรบกวนต่ำ (LNB) ที่ใช้ในอุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งไม่มีการติดตั้งวงจรกรองความถี่ C-band ดังนั้นจึงตอบสนองในย่านความถี่ 3400 - 4200 MHz เต็มทั้งย่านซึ่งส่งผลให้ TVRO มีโหลดมากเกินไป **แนวทางการแก้ปัญหานี้คือติดตั้งวงจรกรองความถี่อย่างน้อย 30 dB นอกจากนี้ยังพบว่าหากระยะห่างขั้นต่ำระหว่างสถานีฐาน LTE และตัวรับสัญญาณ TVRO เพิ่มขึ้นระบบทั้งสองสามารถอยู่ร่วมกันได้ในบางสถานการณ์โดยไม่ต้องใช้วงจรกรองความถี่ C-band**



รูป 23 การศึกษาการใช้ความถี่ร่วมกันระหว่างโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ 4G และ TVRO ในสหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล

ข้อสรุปโดยรวมของการศึกษา คือ **การใช้เสาอากาศหรืออุปกรณ์รับสัญญาณที่ดีกว่าและ LNB ที่เหมาะสม และติดตั้งให้มีระยะห่างที่เพียงพอระหว่างสิ่งรบกวนที่ถูกรบกวนจะสามารถช่วยลดปัญหา TVRO ได้รับโหลดมากเกินไปได้อย่างมาก และหากกำหนด Guard Band 25 MHz ขึ้นมาป้องกันอาจเพียงพอสำหรับที่จะกรองความถี่สำหรับเครื่องรับ TVRO คุณภาพต่ำเหล่านั้น**

4.2 สรุปประเด็นและแนวทางการใช้ความถี่ร่วมกัน

ประเทศที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบทั้ง 5 ประเทศนั้น มีการจัดสรรคลื่นความถี่ในย่าน 3.5 GHz และ 28 GHz เพื่อนำไปใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล IMT เทคโนโลยี 5G ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ในย่านที่ต้องแชร์ใช้ร่วมกับกิจการอื่นๆ โดยเฉพาะกิจการดาวเทียมประจำที่ โดยได้จัดสรรคลื่นความถี่ดังกล่าวให้แก่ผู้ให้บริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ยกเว้นสหพันธ์สาธารณรัฐบราซิลที่คาดว่าจะทำการประมูลภายในปี พ.ศ. 2564 ส่วนสถานการณ์ในการเปิดให้บริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G โดยใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวนั้น แตกต่างกันในแต่ละประเทศ สรุปได้ดังตาราง

	สหรัฐอเมริกา	สาธารณรัฐประชาชนจีน	ฮ่องกง	ฟิลิปปินส์	บราซิล
C-Band allocation	3450 – 3980 MHz	3400 – 3600 MHz	3400 – 3600 MHz	3400 – 3600 MHz	3300 – 3800 MHz
26 and 28 MHz Band allocation	27.95 - 28.35 GHz	24.75 – 27.5 GHz	26.55 – 27.75 GHz 27.95 - 28.35 GHz		24.25 – 27.50 GHz 27.50 – 27.90 GHz
5G commercial launch with					
- 3.5 GHz (C-Band)	Target 2021	Yes	Yes	Yes	No
- 26 and/or 28 MHz	Yes	No	Yes	-	No

ตาราง 5 เปรียบเทียบการจัดสรรคลื่นความถี่ย่าน 3.5 GHz และ 28 GHz ในประเทศที่ทำการศึกษา

จาก WRC-15 คลื่นความถี่ย่าน 3.5 GHz ได้ถูกกำหนดให้เป็นคลื่นความถี่หลักในการให้บริการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล IMT เทคโนโลยี 5G หน่วยงานกำกับดูแลในแต่ละประเทศต่างให้ความสำคัญต่อประเด็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับบริการอื่นๆ ที่ใช้คลื่นความถี่ในย่านเดียวกันหรือติดกัน ทำให้อาจเกิดสัญญาณรบกวน ทั้งนี้ ในเบื้องต้นอาจสรุปสถานการณ์ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณ และแนวทางการป้องกันที่แต่ละประเทศนำมาประยุกต์ใช้ได้ดังต่อไปนี้

สถานการณ์ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณ ได้แก่

1) การใช้คลื่นความถี่ในช่องเดียวกัน (Co-channel)

2) การใช้คลื่นความถี่ในช่องข้างเคียง (Adjacent channel)

3) LNB overdrive (เฉพาะกรณีภาครับดาวเทียม)

แนวทางในการหลีกเลี่ยงหรือลดปัญหากรณีอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมถูกรบกวนจากสถานีฐานส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับ – ส่งสัญญาณของโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ 5G มีแนวทางในการบริหารจัดการและมาตรการทางเทคนิคดังนี้

- กำหนดความแรงของสัญญาณที่ทำให้สามารถใช้งานร่วมกันได้
- กำหนด Guard Band ขึ้นมาป้องกัน
- กำหนดกรอบการแพร่แปลกปลอม (Spurious emissions mask)
- กำหนดระยะห่างที่สามารถใช้งานร่วมกันได้ (Separation Distance)
- การอัพเกรดอุปกรณ์รับสัญญาณ LNB และการเพิ่มวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter)
- การกำหนดเขตในการให้บริการ 5G และเขตพื้นที่ที่ใช้ติดตั้งสถานี TT&C

- การไม่รับการยื่นขออนุญาตเพิ่มเติมจากเดิมที่มีอยู่

โดยแต่ละประเทศที่ทำการศึกษาต่างมีรายละเอียดในการป้องกันและแก้ไขปัญหาแตกต่างกันไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

ประเทศ	แนวทาง
สหรัฐอเมริกา	• กำหนดคลื่นความถี่ในช่วง 3.7-3.98 GHz จำนวน 280 MHz ให้ใช้กับบริการไร้สาย (Wireless Services) และจัดให้คลื่นความถี่ที่ใช้ในกิจการดาวเทียมใช้คลื่นความถี่ในช่วง 4.0 – 4.2 GHz หรือ 200 MHz ถัดจากกิจการเคลื่อนที่ โดยมีแถบความถี่ป้องกันการรบกวน (Guardband) ขนาด 20 MHz ป้องกันไว้ • ดาวเทียมใช้คลื่นความถี่ในช่วง 4000 – 4200 MHz กำหนดระยะห่าง และจำกัด Out of Band Emissions Limit (OOBE) ไว้เพื่อป้องกันการรบกวนกันของคลื่นความถี่ที่ติดกันระหว่างบริการ CBSD และกิจการดาวเทียมประจำที่หรือสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน โดยกำหนดระยะ Line-of-Sight ระหว่างบริการ CBSD และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน ในรูปแบบฟังก์ชั่นของ OOBE Limit 3 ค่าได้แก่ ✓ -13 dBm/MHz ต้องมีระยะห่าง 10 กิโลเมตรจำเป็นต่อการควบคุมสัญญาณรบกวน ✓ -40 dBm/MHz ต้องมีระยะห่างอยู่ที่ระยะ 0.3 – 3 กิโลเมตร จำเป็นต่อการควบคุมสัญญาณรบกวน ✓ -50 dBm/MHz ต้องมีระยะห่างอยู่ที่ระยะ 0.1 – 1 กิโลเมตร จำเป็นต่อการควบคุมสัญญาณรบกวน • ในย่านความถี่ 28 GHz ผู้ให้บริการดาวเทียม EchoStar ได้ประเมินระยะห่างที่เหมาะสมที่สถานีภาคพื้นดินและสถานีโทรคมนาคม 5G จะสามารถทำงานร่วมกันได้โดยไม่มีการลดทอนสัญญาณ โดยมีระยะห่างที่ 170 เมตร ในขณะที่ผู้ให้บริการโทรคมนาคมหลายราย เช่น AT&T, Nokia, Samsung, T-Mobile และ Verizon ประเมินว่าระยะห่างที่จำเป็นระหว่างสถานีฐานของโครงข่ายโทรคมนาคม และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน FSS ควรอยู่ระหว่าง 50 - 400 เมตร ขึ้นอยู่กับประเภทของสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินด้วย
ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน	• ไม่อนุญาตกิจการดาวเทียมขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ในย่าน 3400 - 3700 MHz และการวัดและควบคุมความถี่วิทยุอวกาศในย่านความถี่ 3400 - 3600 MHz

ประเทศ	แนวทาง
	• สำหรับย่านความถี่ 26 GHz ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบปัญหาการรบกวนและการทำงานร่วมกันระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและสถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G โดยมีผลลัพธ์ สำหรับดาวเทียมวงโคจรประจำที่และดาวเทียมวงโคจรไม่ประจำที่ ดังนี้ ✓ ดาวเทียมวงโคจรประจำที่ (Geostationary Satellite Orbit) เมื่อทำการตั้งค่าให้สถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G มีค่า Activity factor 50% ระยะห่างจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน 1 กิโลเมตร และค่า Clutter loss median เท่ากับ 37.1 dB พบว่า Interference margin มีค่าอยู่ระหว่าง 32.56 dB ถึง 44 dB ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การป้องกันที่เพียงพอ ✓ ดาวเทียมวงโคจรไม่ประจำที่ (Non - Geostationary Satellite Orbit) เมื่อทำการตั้งค่าให้สถานีฐานโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่เทคโนโลยี 5G มีค่า Activity factor 50% ระยะห่างจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน 1 กิโลเมตร และค่า Clutter loss median เท่ากับ 37.183 dB พบว่าค่า Aggregate interference นั้นเกินจากค่ามาตรฐานการป้องกันโดยคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 0.82
เขตบริหารพิเศษฮ่องกง แห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน	• ย่านความถี่ 3400 - 3600 MHz ใช้สำหรับให้บริการ 5G และดาวเทียมใช้ย่านความถี่ 3400 – 4200 MHz โดยผู้ให้บริการโทรคมนาคม 5G จะต้องจัดตั้งและบริหารกองทุนสำหรับโครงการเงินอุดหนุนเพื่อสนับสนุนการอัพเกรดระบบ SMATV ที่ได้รับผลกระทบจากการใช้คลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz • เสนอให้ใช้แถบความถี่ป้องกันการรบกวน (Guardband) จำนวน 100 MHz ระหว่างสถานีโทรคมนาคมและสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน • ติดตั้งวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter) ให้กับสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินจากการรบกวนของสถานีโทรคมนาคม 5G
ประเทศฟิลิปฟินส์	• บริการ VSAT ไม่ได้รับอนุญาตให้ทำงานในย่านความถี่ 3400 - 3700 MHz หรือ extended C-band โดยย่านนี้ถูกสงวนไว้ให้ใช้สำหรับการใช้งานในบริการการเข้าถึงบรอดแบนด์ไร้สาย (Broadband Wireless Access : BWA) • มี MOU ที่เสนอแนวทางการใช้งาน VSAT ในย่านความถี่ 3400 - 3700 MHz โดยมีเงื่อนไขคือ

ประเทศ	แนวทาง
	✓ ระบบการเข้าถึงไร้สายแบบประจำที่ (Fixed Wireless Systems) จะต้องใช้เสาอากาศประสิทธิภาพสูงหรือสูงกว่า ✓ ถ้าเป็นไปได้ VSAT ควรถูกติดตั้งโดยเพิ่มการป้องกันการรับสัญญาณรบกวนจากระบบการเข้าถึงไร้สายแบบประจำที่ (Fixed Wireless Systems interferers) ✓ เสาอากาศ VSAT ไม่ควรติดตั้งให้สูงเกินกว่าที่จำเป็น ✓ อุปกรณ์สายอากาศรับสัญญาณของ VSAT ควรมีความสามารถในการ Reject สัญญาณรบกวน ✓ จะต้องติดตั้งระบบ FS และ FSS โดยใช้การป้องกันโดยธรรมชาติเพื่อเพิ่มการสูญเสียสิ่งกีดขวาง / การเลี้ยวเบนเพื่อลดสัญญาณรบกวน
สหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล	● สถานีฐาน 5G ตั้งอยู่ใกล้กับบ้านผู้ใช้ TVRO จะต้องลดกำลังของช่องสัญญาณ 5G ที่สูงกว่า -46 dBm ● ใช้ Lowcost planar RF filters และเพิ่ม Low Insertion Loss ก่อน LNB_F ในขั้นตอนการขยายสัญญาณครั้งแรก จะสามารถลดระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G NR และผู้ใช้ TVRO จาก 12.02 กิโลเมตร (ตาม ITU-R SF.1486 recommendation) ลงเหลือ 672.6 เมตร และหากเพิ่ม TVRO LNB_F 1 dB compression point 15 dB จะสามารถลดระยะการป้องกันเหลือเพียง 111 เมตร ● ติดตั้งวงจรกรองความถี่อย่างน้อย 30 dB สำหรับ TVRO ที่ใช้งานย่าน 3400 - 4200 MHz เพื่อป้องกันการรบกวนจาก โครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ 4G/LTE-A ที่ติดตั้งในย่านความถี่ 3400 - 3600 MHz และมี Guard Band ที่ความกว้าง 25 MHz

ตาราง 6 แนวทางป้องกันและแก้ปัญหาหารบกวนระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและสถานีโทรคมนาคม 5G

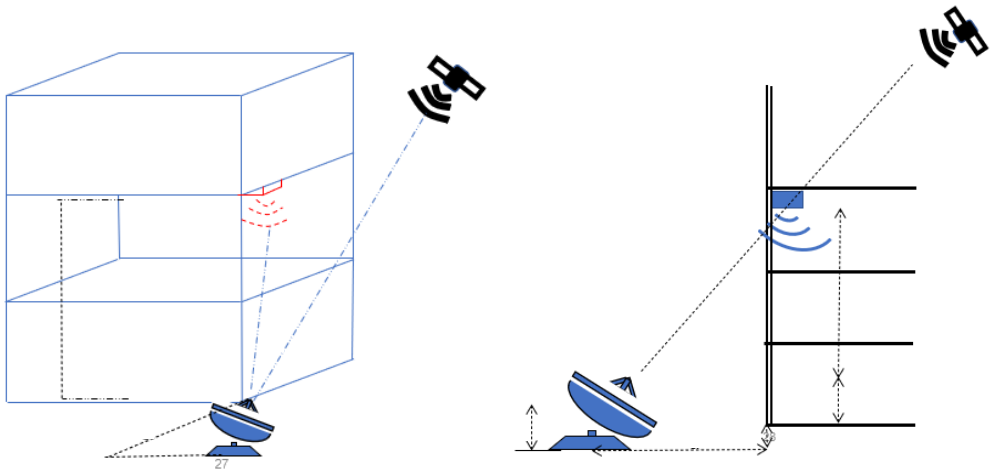
ทั้งนี้ ในการหลีกเลี่ยงหรือบรรเทาปัญหาสัญญาณรบกวนกันที่เกิดจากการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน จำเป็นต้องใช้การบริหารจัดการและมาตรการทางเทคนิคหลายๆ วิธีประกอบกัน เพื่อให้กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ เทคโนโลยี 5G สามารถให้บริการร่วมกับกิจการดาวเทียมประจำที่ หรือกิจการอื่นๆ ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อกัน

5 มาตรฐานและวิธีการทดสอบคลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz

คณะวิจัยได้แบ่งกรณีทดสอบการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 MHz ออกเป็น 2 กรณีคือ **การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร (Indoor) และการทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor)** ซึ่งจะเป็นการสะท้อนถึงการนำเอาระบบ 5G มาใช้จริงในประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่สถานีฐานในย่านความถี่ 3500 MHz จะประกอบไปด้วย 2 ประเภทคือ ประเภทที่ถูกติดตั้งใช้งานภายในอาคาร ซึ่งจะเป็นสถานีฐานระดับขนาดเล็ก (Pico cell) หรือขนาดเล็กมาก (Femto cell) เป็นต้น ส่วนสถานีฐานที่นิยมติดตั้งภายนอกอาคารจะเป็นสถานีฐานขนาดใหญ่ (Macro cell) เป็นต้น

5.1 การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร (Indoor)

การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร จะเป็นการทดสอบในกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case) คือเป็นกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ในบริเวณอาคาร (ขอบกำแพงอาคาร) ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของสัญญาณไปยังบริเวณภายนอกมากที่สุด จากนั้นคณะวิจัยจะทำการตั้งจานรับดาวเทียมในบริเวณใกล้เคียงโดยให้จานนั้นหันหัวไปในทิศทางเดียวกับสถานีฐาน 5G มากที่สุดดังรูป 24

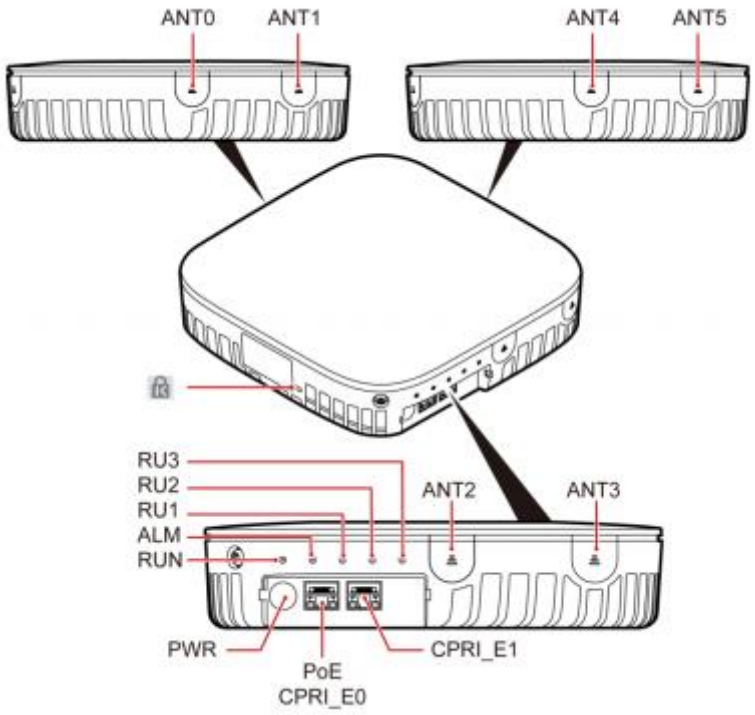


รูป 24 ตำแหน่งของสถานีฐาน 5G และจานดาวเทียมสำหรับการทดสอบกรณีภายในอาคารแบบ Worst Case

5.1.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ

สำหรับการทดสอบในกรณี Indoor โครงการนี้ได้ทำการกำหนดกรณีทดสอบขึ้น โดยใช้

1. **สถานีฐาน 5G ในรูปแบบของ Indoor รุ่น 5G pRRU 5935 ของบริษัท Huawei โดยใช้ค่าสัญญาณดังนี้**



รูป 25 สถานีฐาน 5G ภายในอาคาร รุ่น 5G pRRU 5935 ของบริษัท Huawei

Center Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	IBW (MHz)
3550	3500-3600	3500-3600	100

Mode	Capacity	Tx/RX Channel

NR	1 carrier	4T4R

Center Frequency Band (MHz)	Maximum Output Power (mW)
3550	4x250 mW

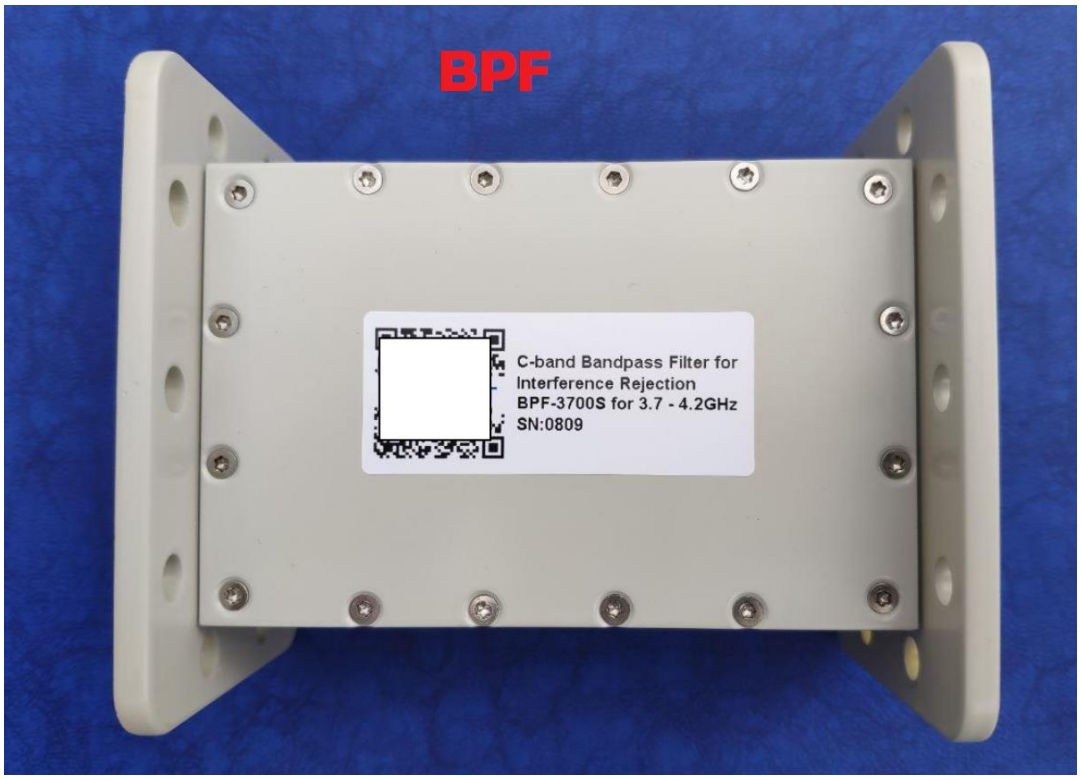
Center Frequency Band (MHz)	Gain (dBi)	Polarization mode	Directivity
3550	4	Linear	Omnidirectional

2. ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม

2.1. หัวรับ Low-Noise Block downconverter (LNB), Low-Noise Block downconverter with 5G Filter (LNB_F) และ Band-Pass Filter (BPF)

ทางคณะวิจัยได้จัดหาหัวรับ LNB, LNB_F[26] และ BPF หลากหลายตราอักษรเพื่อใช้ในการทดสอบครั้งนี้ **โดยใช้เลือกใช้หลักเกณฑ์การคัดเลือกเป้าหมาย (Key Informants) ด้วยวิธีการเลือกหัวรับ LNB ประเภท C band แบบสุ่ม (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นหัวรับ LNB ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และได้รับความนิยมจากผู้บริโภคในการเลือกซื้อจำนวนมาก**[27]

โดยหัวรับ LNB ในที่นี้หมายถึงหัวรับ LNB ที่ไม่มีตัวกรองสัญญาณ 5G หรือ 5G Filter เลย ทำงานในย่าน 3.4 ถึง 4.2 GHz และ หัวรับ LNB_F **ในที่นี้หมายถึงหัวรับ LNB ที่มีตัวกรองสัญญาณ 5G หรือ 5G Filter ทำงานในย่าน 3.7 ถึง 4.2 GHz**



[26] หัวรับสัญญาดาวเทียม (Low-Noise Block Downconverter + 5G Filter (LNB_F)) ชนิดมีตัวกรองสัญญาณ 5G หรือ 5G Filter

[27] ผลการสำรวจจากร้านค้าปลีกอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่กรุงเทพมหานครและต่างจังหวัดทั้ง 5 ภูมิภาค

รูป 26 หัวรับ LNB, LNB_F และ BPF

2.2. ตัวรับสัญญาณ TVRO จานรับดาวเทียมและทีวีแอลซีดี

รูป 27 ระบบการรับสัญญาณดาวเทียม

ในการรับสัญญาณดาวเทียมนั้น คณะวิจัยจะอาศัยจานรับดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร (จานดำ) ขนาดมาตรฐานมาใช้รวมสัญญาณเข้าสู่ อุปกรณ์ LNB หรือ LNB_F เพื่อแปลงสัญญาณให้เหมาะสมเข้าไปสู่อุปกรณ์ TVRO และแสดงผลออกมาในรูปแบบสัญญาณทีวีตามลำดับ

2.3. เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียม

รูป 28 เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียม

ในที่นี้คณะวิจัยใช้เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียมตราอักษร Promax ที่มีความสามารถในการตรวจวิเคราะห์สัญญาณโทรทัศน์ และทีวีดาวเทียม รองรับ DVB – T2 / S2 / C2 จอสัมผัส Touch Screen + ปุ่มควบคุมการทำงาน สเปกตรัมความละเอียดสูง Sweep Rate 70 ms รองรับ HEVC H.265 demodulation

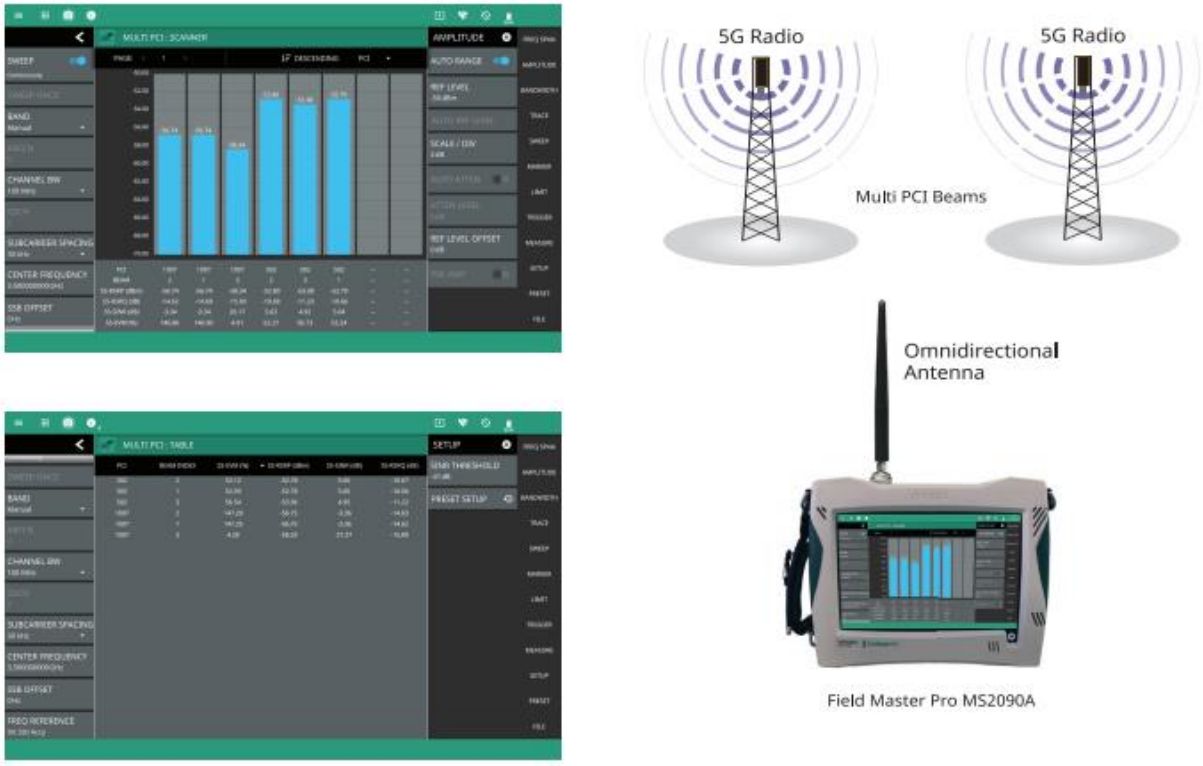
2.4. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ 5G

รูป 29 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ ตราอักษร Anritsu รุ่น Field Master Pro

ในที่นี้คณะวิจัยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ ตราอักษร Anritsu รุ่น Field Master Pro (High-Performance RF Spectrum Analyzer) รองรับค่าความถี่ตั้งแต่ 9 KHz ถึง 32 GHz มีค่าข้อกำหนดเฉพาะผลิตภัณฑ์ดังนี้

Parameter	Specification
Frequency range	9 kHz to 9/14/20/26.5/32/43.5/54 GHz
Analysis bandwidth	110 MHz
Demodulation	5G NR demodulation, RF and modulation quality plus SSB signal analysis
TOI	+20 dBm
DANL (with pre amp)	–164 dBm
Amp range	DANL to +30 dBm
Phase noise @ 1 GHz	-110 dBc/Hz @ 100 kHz offset (typical)
RBW/VBW	1 Hz to 10 MHz
Input SWR	1.5
Amplitude accuracy	< 14 GHz ±1.3 dB (±0.5 dB typ)
RTSA bandwidth	22 MHz, 55 MHz, 110 MHz (option dependent)

Feature	Specification
Display	10.1 inch, 1280 x 800 color touchscreen
Traces	6
Detectors	Peak, RMS/Avg., Negative
Gated sweep	For time gated spectrum measurements
Markers	12, fully featured with table
Limit lines	Complex limit lines with Pass/Fail
IQ	Capture and streaming of IQ data
Trace record and playback	Record and replay spectrum traces to/from internal memory
GNSS	GPS, GLONASS, Galileo
Interfaces and connectivity	USB 3.0, USBTMC, Ethernet, 802.11b/g/a/n/ac
Battery life	>2 hours (function dependent)



รูป 30 การวัดสัญญาณรบกวนสถานีฐาน 5G

เครื่องมือวัดดังกล่าวได้ถูกออกแบบเฉพาะให้สามารถจับสัญญาณจากสถานีฐาน 5G ครอบคลุมทุกบีม (Beamforming) ของสถานีฐาน 5G

5.1.2 สถานที่ทดสอบ

การทดสอบจะกระทำในพื้นที่ทดสอบ DEPA Sandbox ณ สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล โดยสถานีฐาน 5G จะถูกติดตั้งอยู่ในชั้น 2 ของตัวอาคารสำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล ส่วนตำแหน่งของจานดาวเทียมที่ใช้วัดสัญญาณจะอยู่ที่ลานจอดรถของบริษัท พ.มีทรัพย์ ซึ่งอยู่ห่างจากตำแหน่งของสถานีฐาน 5G ประมาณ 30 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 8

รูป 31 ตำแหน่งของสถานีฐาน 5G และจานดาวเทียมสำหรับการทดสอบกรณี Indoor ที่สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล

5.1.3 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

1. บริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี่ (ประเทศไทย)
2. บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (ไอเดียแซท)
3. บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
4. บริษัท อินโฟแซท จำกัด
5. บริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
6. บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)

5.1.4 วิธีการทดสอบ

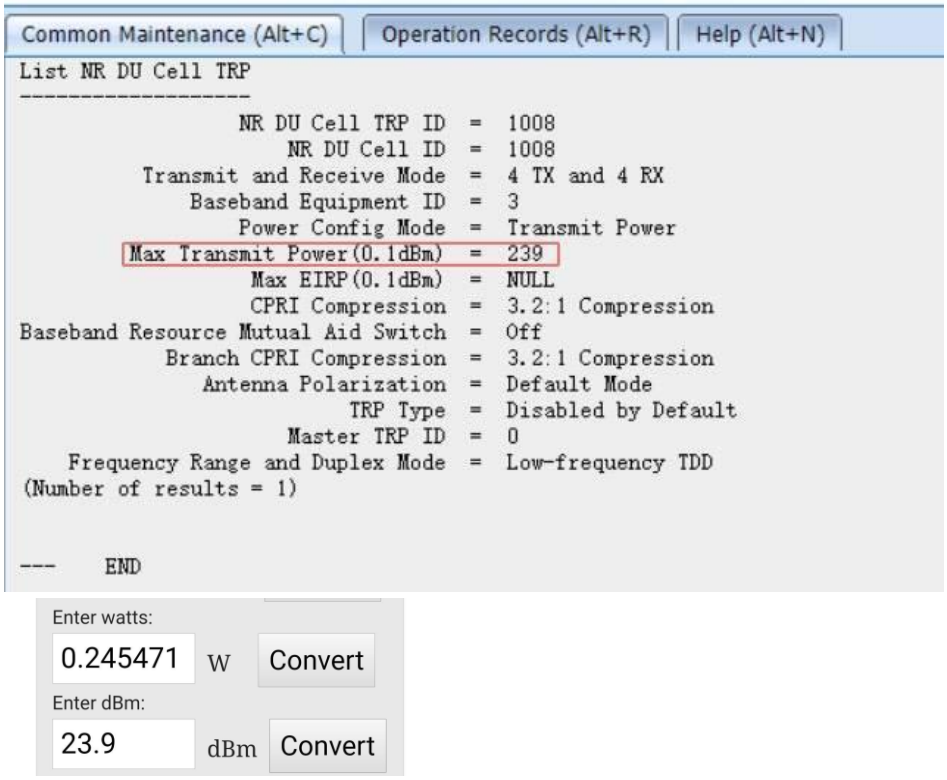
1. ทำการปรับค่ากำลังส่งของสถานีฐาน 5G ในรูปแบบของ Indoor รุ่น 5G pRRU 5935 ของบริษัท Huawei โดยใช้ค่าสัญญาณดังนี้

Center Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	IBW (MHz)
3550	3500-3600	3500-3600	100

Mode	Capacity	Tx/RX Channel
NR	1 carrier	4T4R

Center Frequency Band (MHz)	Maximum Output Power (mW)
3550	4x250 mW

Center Frequency Band (MHz)	Gain (dBi)	Polarization mode	Directivity
3550	4	Linear	Omnidirectional

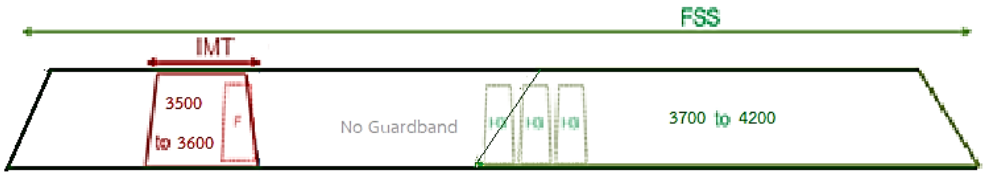


รูป 32 การตั้งค่าให้กับสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคาร

ทำให้ได้สเปกตรัมของการวัดสัญญาณ 5G IMT ที่ขนาด 100 MHz และค่ากำลังส่งสูงสุด 1 วัตต์ดังนี้

1.1. <u>กรณีทดสอบที่ 1 (Case 1): LNB = 3400 ถึง 4200 MHz</u>

- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3500 ถึง 3600 MHz
- Guard band: ไม่มี
  (สัญญาณ IMT ใช้งานอยู่ใกล้กับย่านสัญญาณดาวเทียม)
- LNB: 3400 ถึง 4200 MHz

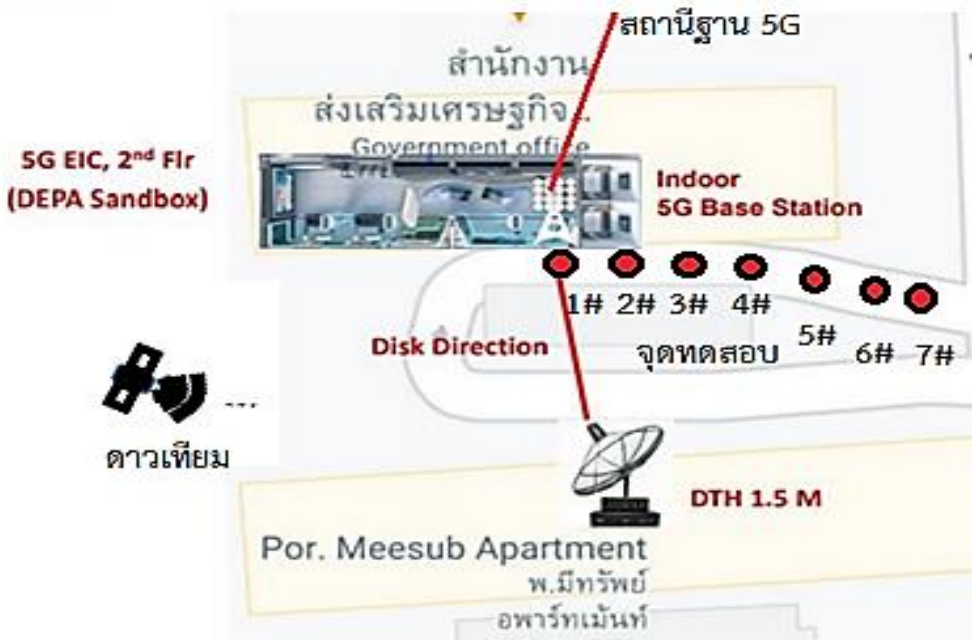


รูป 33 ช่วงความถี่ของสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคารและความถี่ของสัญญาณดาวเทียม

* คณะวิจัยเลือกใช้ค่ากำลังส่งและแบนด์วิดธ์สูงสุดเพื่อกำลังกรณีที่แย่ที่สุดที่เป็นไปได้ (Worst Case)

2. ทำการวัดสัญญาณจากสถานีฐาน 5G โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ ตราอักษร Anritsu รุ่น Field Master Pro (High-Performance RF Spectrum Analyzer) รองรับค่าความถี่ตั้งแต่ 9KHz ถึง 32 GHz โดยปรับค่าแบนด์วิทธ์ที่ 100 MHz และนำสายอากาศ Omnidirectional มาวางใกล้กับสถานีฐาน 5G แบบภายในอาคาร จากนั้นบันทึกผล

3. ทำการตั้งจานรับดาวเทียมในบริเวณใกล้เคียง โดยให้จานนั้นหันหัวไปในทิศทางเดียวกับสถานีฐาน 5G มากที่สุด โดยมีการวางตำแหน่งตามรูปจุดที่ 1 ถึง 7 โดยร้องขอให้บริษัท เอ็ม เจ. แซท เทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (ไอเดียแซท) บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด บริษัท อินโฟแซท จำกัด และบริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด เข้าร่วมทดสอบ



รูป 34 การวางตำแหน่งจากรับดาวเทียมตามตำแหน่งที่ 1 ถึง 7

4. เริ่มปรับใช้หัวรับ LNB และหัวรับ LNB_F แต่ละหัวมาใช้ในระบบการรับสัญญาณดาวเทียม โดยเริ่มจากการใช้หัวรับ LNB ปกติย่านความถี่ 3.4 ถึง 4.2 GHz จากนั้นจึงใช้หัวรับ LNB_F ชนิดที่มีตัวกรองความถี่ 5G ทั้งนี้หากหัวรับปกติสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมได้ นั่นหมายความว่าหัวรับ LNB_F ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าก็สามารถรับสัญญาณได้เช่นกัน โดยร้องขอให้บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (ไอเดียแซท) บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด บริษัท อินโฟแซท จำกัด และบริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด เข้าร่วมทดสอบ

5. ทำการวัดสัญญาณด้วยเครื่องวัดสัญญาณดาวเทียมตราอักษร Promax ที่มีความสามารถในการตรวจวิเคราะห์สัญญาณโทรทัศน์ และทีวีดาวเทียม แล้วทำการบันทึกผล

6. ทำการบันทึกค่าที่ได้เป็นแบบแอนะล็อกโดยใช้สายตาวิเคราะห์ว่าภาพสัญญาณทีวีที่รับได้มีลักษณะอย่างไรเช่น 1) Macro blocking 2) Blackout 3) Freeze และ 4) Audio Silence ตามลำดับ

5.1.5 สมมติฐานในการทดสอบ

1) ในการทดสอบครั้งนี้ คณะวิจัยจะยึดกรณีการทดสอบในสภาวะที่แย่ที่สุดเป็นหลัก กล่าวคือ ในการรับสัญญาณของดาวเทียมนั้น หน้าจานรับสัญญาณดาวเทียมต้องหันไปในทิศทางเดียวกับสายอากาศของสถานีฐาน 5G ด้วย ทำให้ได้แนวในการขยับจานรับดาวเทียมในแนวเดียวเท่านั้น เพื่อคงรักษามุมของจานรับดาวเทียมให้หันไปทางเดียวกับทั้งดาวเทียมและสถานีฐาน 5G
2) ในการทดสอบนี้จานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ถูกใช้โดยถือว่าเป็นตัวแทนของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตรและจาน VSAT ด้วย เนื่องจากในการรับสัญญาณดาวเทียม สัญญาณรบกวน (Noise) จาก IMT จะถูกขยายโดยอัตราขยาย (Gain) ของจานเป็นอัตราส่วนเท่ากัน ทำให้อัตราขยายของจานไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณตามทฤษฎี
3) ในการทดสอบครั้งนี้ ถือว่าไม่มีสัญญาณรบกวนอื่นใดจากภายนอก

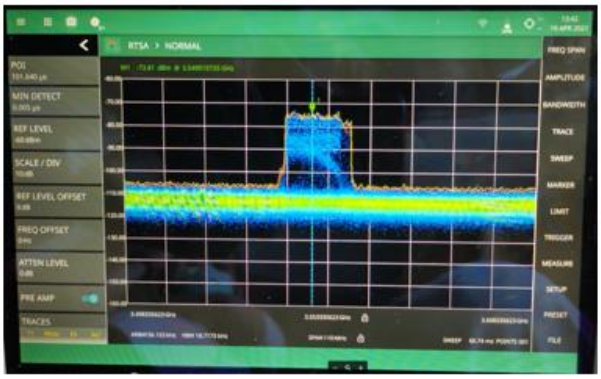
5.1.6 ข้อจำกัดในการทดสอบ

1) พื้นที่ทดสอบจำเป็นต้องได้รับอนุญาตจาก กสทช. โดยได้พิจารณาเลือกใช้พื้นที่สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล (DEPA) เพื่อเชื่อมกับระบบ Core Network ของ Huawei ในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งมีระยะการทดสอบใกล้สุดอยู่ที่ 25 เมตรและระยะไกลสุด 60 เมตรเท่านั้น นอกจากนั้นในสถานที่ทดสอบ ยังพบว่ามีตึกสูงขนาดใหญ่บดบังแนวการรับสัญญาณระหว่างจานรับดาวเทียม และดาวเทียม ทำให้มุมของจานรับดาวเทียมไม่สามารถปรับให้อยู่ในแนวรับสัญญาณเดียวกับกับทั้งดาวเทียมและสถานีฐาน 5G
2) อุปกรณ์สถานีฐาน 5G กรณีอยู่ภายในอาคารได้รับการสนับสนุนจากบริษัท Huawei มีเพียงแค่รุ่นเดียวเท่านั้น และค่ากำลังส่งสูงสุดที่ใช้คือ 1 วัตต์ ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์รุ่นอื่นอาจได้ผลการทดสอบที่แตกต่างออกไป
3) จานรับดาวเทียมที่ใช้จะเป็นชนิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร เพียงขนาดเดียวเนื่องจากในการทดสอบจะยึดกรณีสภาวะที่แย่ที่สุดเป็นหลัก

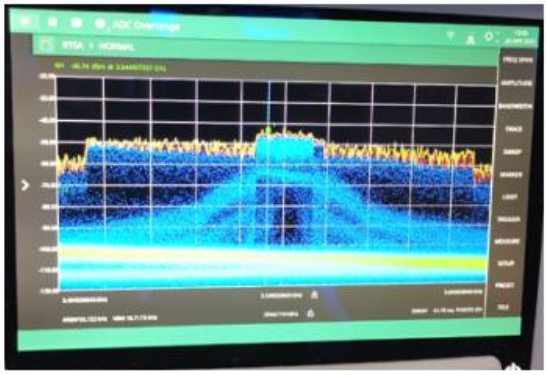
5.1.7 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และ กิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 MHz กรณีสถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร (Indoor) **พบว่า ค่าสเปกตรัมของสถานีฐาน 5G ที่วัดได้นั้นมีอยู่ 2 โหมดคือ โหมดสแตนบายส์ (Standby) และโหมดแอคทีฟ (Active Mode)** คือสเปกตรัมและกำลังส่งสัญญาณจะถูกส่งแบบเต็มกำลัง โดยในขณะทำการวัดสเปกตรัมของสัญญาณจะต้องอยู่ในโหมดแอคทีฟเสมอ โดยเมื่อวัดสัญญาณจากสถานีฐาน 5G โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ ตราอักษร Anritsu รุ่น Field Master Pro (High-Performance RF Spectrum Analyzer) รองรับค่าความถี่ตั้งแต่ 9 KHz ถึง 32 GHz โดยปรับค่าแบนด์วิทธ์ที่ 100 MHz และนำสายอากาศ Omnidirectional มาวางใกล้กับสถานีฐาน 5G แบบภายในอาคาร ในโหมด สแตนบายส์ คณะวิจัยวัดค่ากำลังส่งสัญญาณ (Channel Power) ได้ที่ -75 dBm/Hz และในโหมดแอคทีฟ คณะวิจัยวัดค่ากำลังส่งสัญญาณ (Channel Power) ได้ที่ -45 dBm/Hz

รูปการวางสายอากาศของเครื่องมือวัดใกล้กับสถานีฐาน 5G



รูปสเปกตรัมของสัญญาณในโหมดสแตนบายส์



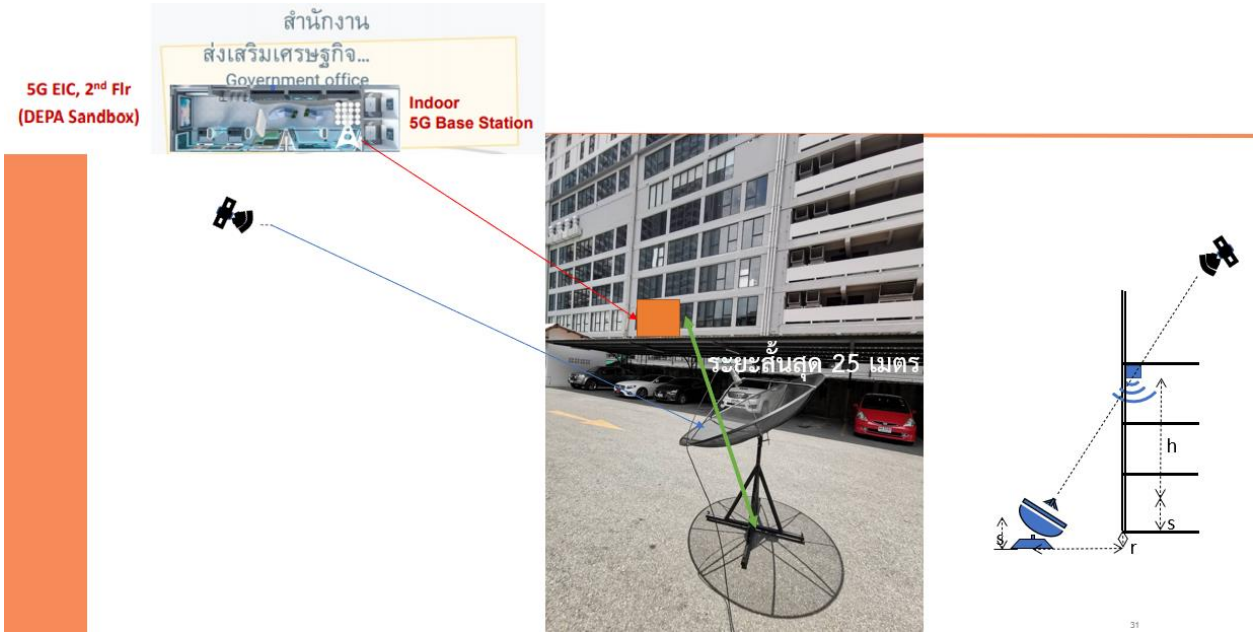
รูปสเปกตรัมของสัญญาณในโหมดแอคทีฟ

รูป 35 สเปกตรัมของสัญญาณของสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคาร

ทั้งนี้ค่ากำลังส่งสัญญาณ (Channel Power) ได้ที่ -45 dBm/Hz นั้น สามารถทำให้คณะวิจัยมั่นใจว่าสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคารนั้นแพร่กระจายสัญญาณมาตามสูตรคือ = $10\log_{10}$(1000•กำลังส่ง (Watt)/แบนด์วิดธ์ของสถานีฐาน) + อัตราขยายของ Omnidirectional ของสถานีฐาน + อัตราขยายของงสายอากาศเครื่องวัด = 1 Watt /100 MHz + 4 dBi + 5dBi = -50 + 4 + 5 = -41 dBm /Hz โดยค่าที่คำนวณนั้นใกล้เคียงกับที่วัดได้มาก ทำให้มั่นใจว่าสัญญาณที่วัดได้ตรงตามข้อกำหนดเฉพาะผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคาร

จากนั้นผลจากการปรับค่าโดยให้จานนั้นหันหัวไปในทิศทางเดียวกับสถานีฐาน 5G มากที่สุด โดยมีการวางตำแหน่งตามรูปจุดที่ 1 ถึง 7 โดยร้องขอให้บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (ไอเดียแซท) บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด บริษัท อินโฟแซท จำกัด และบริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง

จำกัด เข้าร่วมทดสอบตั้งจานรับดาวเทียมในบริเวณใกล้เคียงพบว่าคณะวิจัยสามารถวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตามรูปได้ดังนี้



รูป 36 การวางแนวจานและระยะทดสอบสั้นสุดที่ 25 เมตร

โดยจากรูป คณะวิจัยสามารถแสดงผลเป็นค่าตัวเลขมุมก้มมุมเงยและระยะของสถานีฐาน 5G และตำแหน่งดาวเทียมได้ดังนี้

- **ตำแหน่งของสถานีฐาน 5G**

ละติจูด 13.811975 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.561639 องศาตะวันออก ความสูง 6 เมตร

- **ตำแหน่งจานดาวเทียม**

ละติจูด 13.811838 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.561820 องศาตะวันออก ความสูง 1 เมตร

- **ทิศทางของจานดาวเทียมหันหน้าเข้าหาสถานีฐาน 5G**

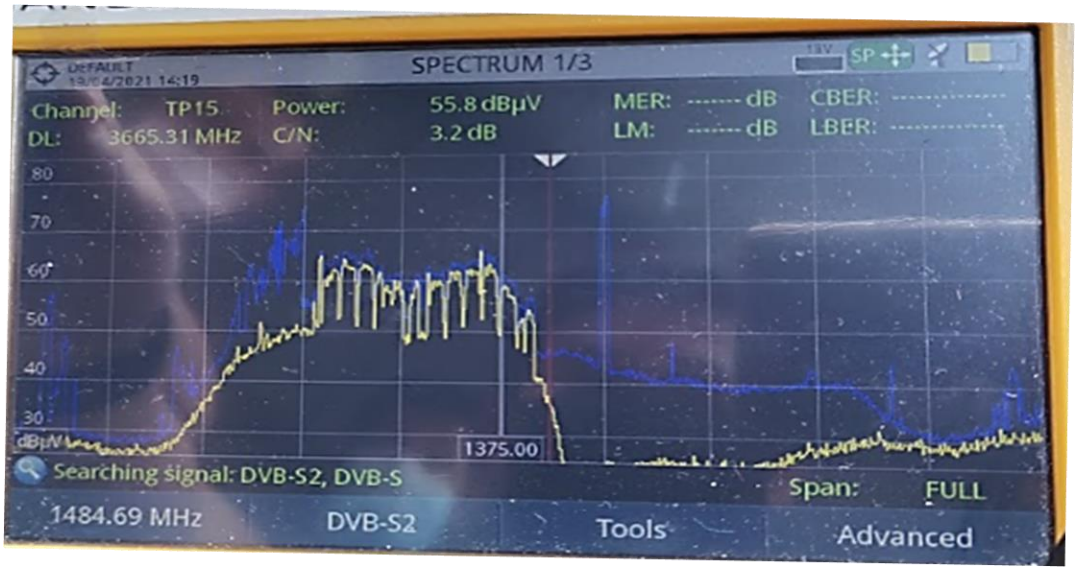
มุมอาซิมุท 307.7756 องศา มุมเงย 11.4196 องศา

- **ทิศทางของจานดาวเทียมหันหน้าเข้าหาดาวเทียมไทยคม 6**

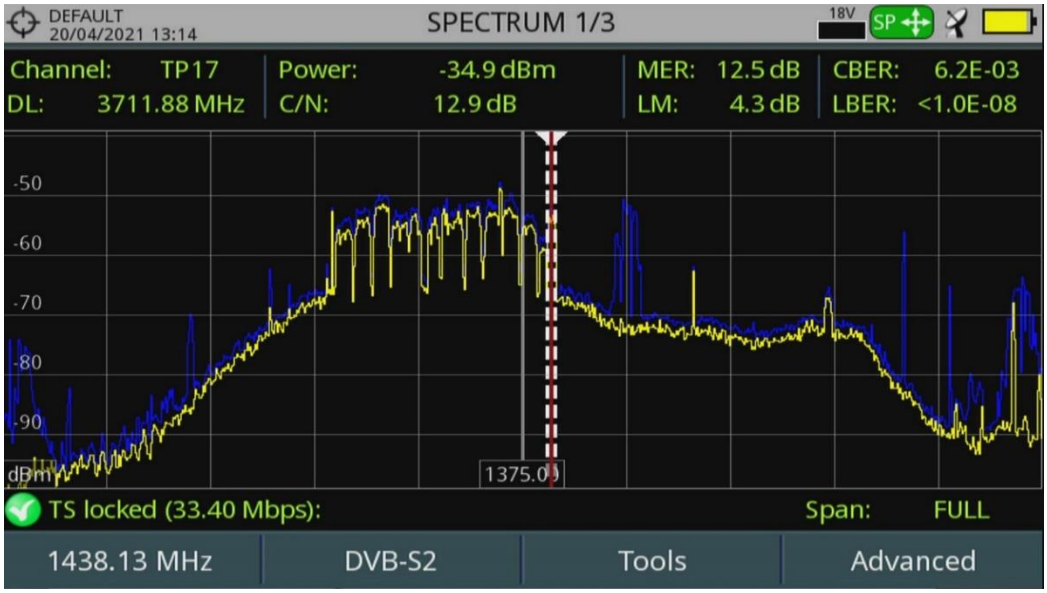
มุมอาซิมุท 239.6580 องศา มุมเงย 59.7984 องศา

- **ระยะสั้นสุดระหว่างสถานีฐาน 5Gและจานดาวเทียม**: 25 เมตร

โดยคณะวิจัยได้เก็บค่าสเปกตรัมของสัญญาณดาวเทียมภายหลังปล่อยสัญญาณ 5G เพื่อแสดงว่าคณะวิจัยยังสามารถรับชมรายการทีวีได้ทุกช่องดังรูปต่อไปนี้ และ (ข้อมูลตามภาคผนวก ก)



รูป 37 สเปกตรัมของสัญญาณดาวเทียมกรณียังไม่มีปล่อยสัญญาณ 5G จากสถานีฐาน 5G

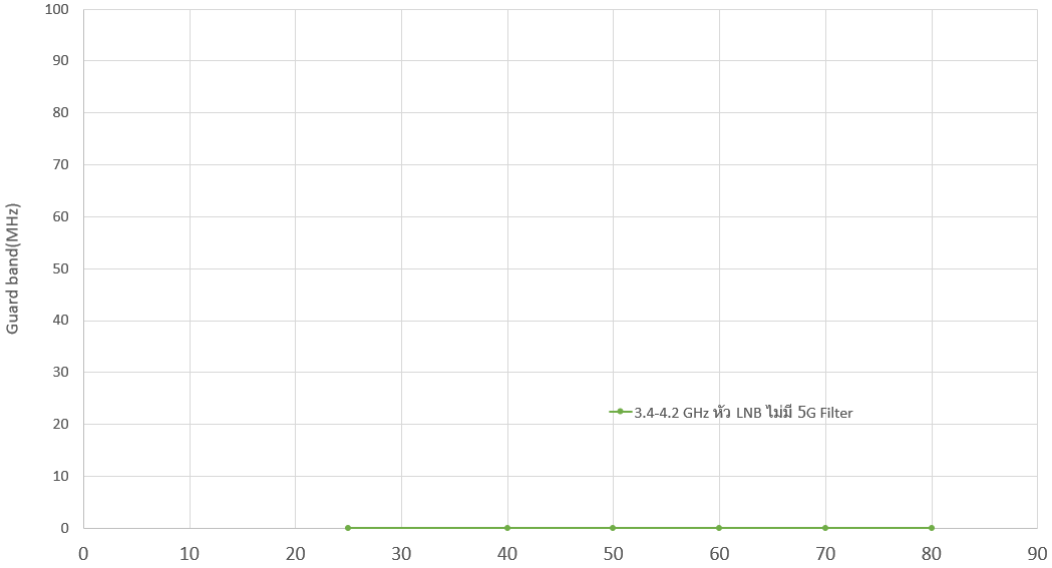


รูป 38 สเปกตรัมของสัญญาณดาวเทียมกรณีปล่อยสัญญาณ 5G จากสถานีฐาน 5G

คณะวิจัยพบว่าเมื่อปล่อยสัญญาณ 5G ออกจากสถานีฐาน 5G แล้ว จะทำให้ระดับสเปกตรัมของสัญญาณทั้งหมดยกขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากคณะวิจัยเริ่มทดสอบจากหัวรับ LNB ชนิดที่ไม่มี 5G Filter ก่อน แต่อย่างไรก็ตามระดับสัญญาณที่เพิ่มขึ้น ยังส่งผลให้คณะวิจัยสามารถดูสัญญาณได้ครบทุกช่อง ในที่นี้ขอให้ดูผลการทดสอบเป็นค่าสเปกตรัมในภาคผนวก ก

รูป 39 ตัวอย่างภาพจากสัญญาณดาวเทียมกรณีปล่อยสัญญาณ 5G จากสถานีฐาน 5G

ทั้งนี้คณะวิจัยได้นำผลการทดสอบที่ได้มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Guardband และระยะทางสั้นสุดที่เป็นไปได้ดังกราฟรูปข้างล่าง

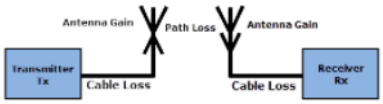


รูป 40 สเปกตรัมของสัญญาณดาวเทียมกรณีปล่อยสัญญาณ 5G จากสถานีฐาน 5G

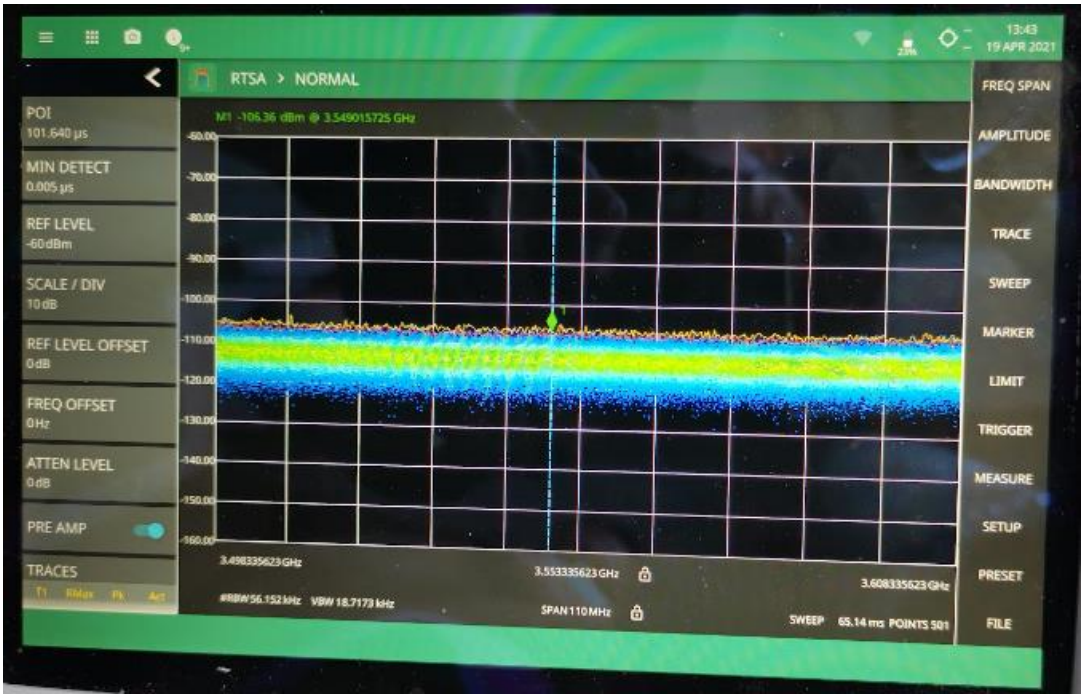
จากรูปกราฟ คณะวิจัยพบว่าระยะทางสั้นสุดที่วัดได้ 25 เมตร คือเนื่องจากสภาพแวดล้อม ทำให้คณะทำงานไม่สามารถขยับจานดาวเทียมเข้าใกล้สถานีฐาน 5G มากกว่านี้เนื่องจาก จะโดนตึกบังสัญญาณดาวเทียมจากดาวเทียมไทยคม 6 โปรดสังเกตว่าไม่มีค่า Guard band ระหว่างสัญญาณ 5G และสัญญาณดาวเทียม เนื่องจากสเปกตรัมระหว่างสัญญาณทั้งสองทับซ้อนกันพอดี สาเหตุที่คณะวิจัยสามารถใช้งานความถี่ร่วมกันได้เนื่องจากสัญญาณจากสถานีฐาน 5G ถูกลดทอนลงมามากกว่าจะถึงจานรับสัญญาณดาวเทียม โดย

สามารถคำนวณได้ค่ากำลังส่งสัญญาณ (Channel Power) ได้ที่ -45 dBm/Hz เมื่อถูกลดทอนโดยผนังประมาณ 10 dB และค่า Path Loss ที่ระยะทาง 25 เมตรจะได้เป็น 65.28 dB จากสูตร

$$FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) - G_t - G_r$$



ทำให้ค่ากำลังรับสัญญาณดาวเทียมจะมีค่าประมาณ -45-10-65.28 = -120.28 dBm/Hz ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า Sensitivity ของระบบการรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากการนำเอาเครื่องวัดสเปกตรัมของสัญญาณไปวัดหน้าจานรับดาวเทียมแล้วไม่พบค่าสัญญาณเนื่องจากต่ำกว่าระดับ Noise floor ของเครื่องที่ประมาณ -110 dBm/Hz จึงสามารถยืนยันได้ว่าสัญญาณที่วัดได้ต่ำกว่า -110 dBm/Hz



รูป 41 สเปกตรัมของสัญญาณ 5G ที่ด้านหน้าจานรับดาวเทียมที่ระยะ 25 เมตร

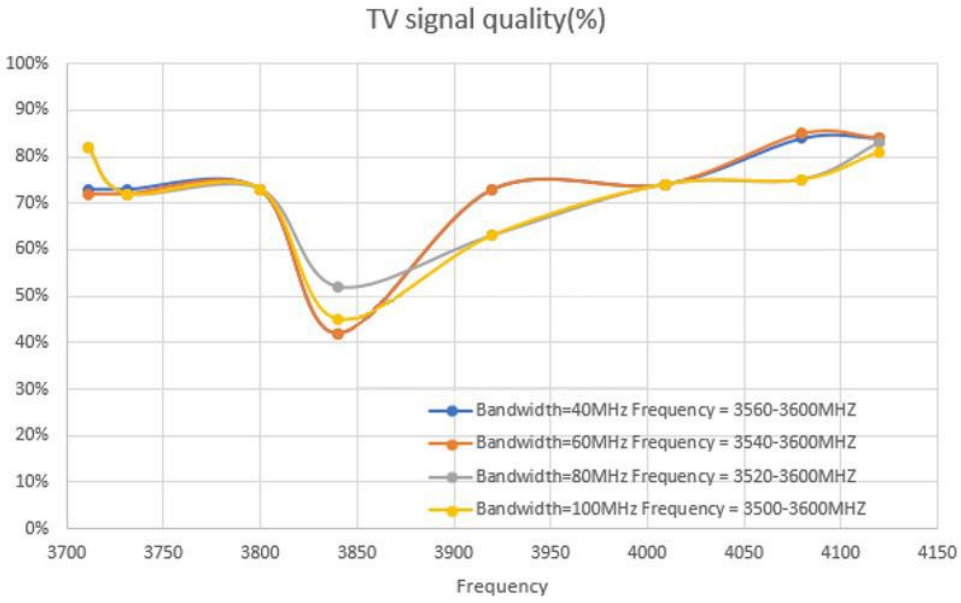
สำหรับการทดสอบในกรณี Indoor จะทำการบันทึกค่า Signal Quality, C/N margin และค่า Bit error rate ของสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

ผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณจาก **LNB** แบบไม่มี **Filter** ยี่ห้อ **A**

5G Transmitter		Power = 1W					Power = 1W					Power = 1W					Power = 1W				
Indoor Type		Bandwidth = 40MHz					Bandwidth = 60MHz					Bandwidth = 80MHz					Bandwidth = 100MHz				
		Frequency = 3560-3600MHz					Frequency = 3540-3600MHz					Frequency = 3520-3600MHz					Frequency = 3500-3600MHz				
		Result					Result					Result					Result				
LNB/LNBF	Sattellite Frequency	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)
LNB Frequency 3400MHz - 4200MHz (No Filter 5G)	3711	-32.9	10.2	10.5	4.90E-07	73	-32.8	10.5	8.6	<1.0E-07	72	-33	10.4	10.8	<1.0E-08	82	-32.9	11.5	10.6	<1.0E-08	82
	3731	-39.5	5.6	6	<1.0E-07	73	-39.5	5.6	6.1	<1.0E-07	72	-39.2	5.5	6	<1.0E-07	72	-39.3	5.5	6	<1.0E-07	72
	3800	-29.7	8.7	9.3	4.90E-07	73	-29.6	9.1	9	1.00E-07	73	-29.6	8.7	9.3	8.40E-07	73	-29.6	8.7	9.3	8.40E-07	73
	3840	-31.4	5.8	6.5	3.60E-04	42	-31.6	5.6	6.5	7.20E-04	42	-31.5	6.1	7.3	8.90E-05	52	-31.5	6	7	7.20E-04	45
	3920	-30.5	7.4	7.7	9.10E-07	73	-30.4	7.5	8.4	8.70E-07	73	-30.5	7.2	8.4	2.20E-06	63	-30.5	7.2	8.2	4.90E-06	63
	4009	-31.5	9.7	9.4	<1.0E-07	74	-31.1	10.4	10.8	<1.0E-07	74	-31.4	10.2	10.4	<1.0E-07	74	-31.5	10.4	10.4	<1.0E-07	74
	4080	-27.3	11.3	9.5	<1.0E-08	84	-27.2	11.8	11.2	<1.0E-08	85	-27.2	11.9	10.4	<1.0E-07	75	-27.2	11.5	10.4	<1.0E-07	75
	4120	-28.2	10.1	8.7	6.50E-08	84	-28.4	10.3	9.6	<1.0E-08	84	-28	9.8	9.3	2.70E-08	83	-28.8	9.6	9.6	2.70E-08	81

รูป 42 ผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ LNB แบบไม่มี Filter ตราอักษร A

หมายเหตุ ค่าสัญญาณต่ำสุดที่ดาวเทียมรับได้ควรมีค่าต่ำสุดคือ -103.98 dBm (อ้างอิงตามเอกสาร C-Band TWG-1 Best Practices Annexes D-P (fcc.gov) หน้า 3 TWG1-006 ทั้งนี้เราพบว่าสัญญาณ 5G ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า -128.28 dBm ทำให้มั่นใจว่าสัญญาณรบกวนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าสัญญาณดาวเทียมขั้นต่ำที่รับได้



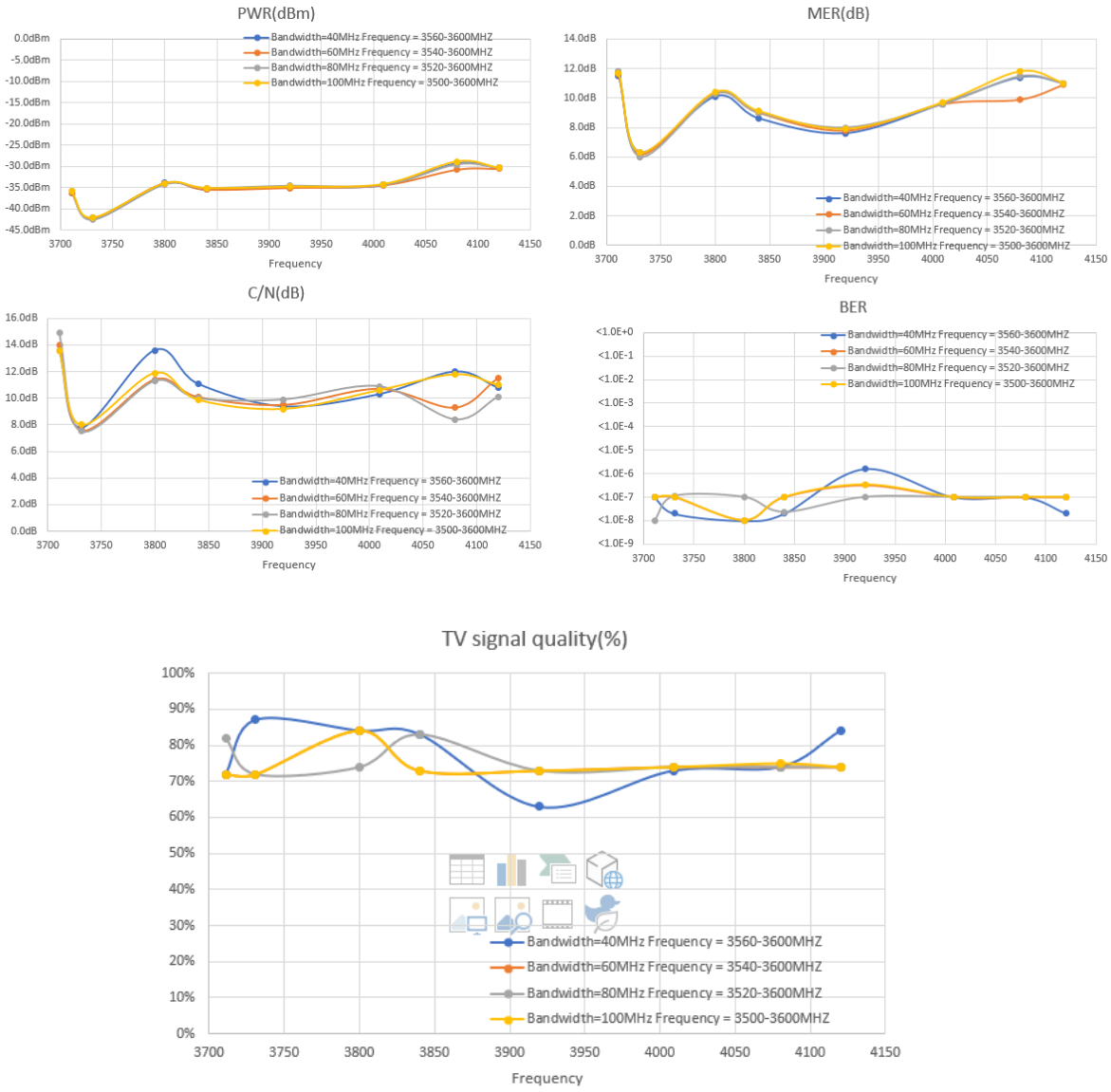
รูป 43 กราฟผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ LNB แบบไม่มี Filter ตราอักษร A

ผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณจาก **LNB** แบบมี **Filter** ยี่ห้อ **A**

Click to add text

5G Transmitter Indoor Type		Power = 1W Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz Result					Power = 1W Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz Result					Power = 1W Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz Result					Power = 1W Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz Result				
LNB/LNBF	Sattellite Frequency	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)
LNB Frequency 3400MHz - 4200MHz (No Filter 5G)	3711	-36.2	11.5	13.6	<1.0E-07	72	-36.2	11.6	14	<1.0E-07	72	-35.9	11.8	14.9	<1.0E-08	82	-35.9	11.7	13.6	<1.0E-07	72
	3731	-42.2	6.3	7.8	2.00E-08	87	-42.3	6.2	7.6	<1.0E-07	72	-42.5	6	7.5	1.10E-07	72	-42	6.3	8	<1.0E-07	72
	3800	-33.9	10.1	13.6	<1.0E-08	84	-34	10.3	11.4	<1.0E-08	84	-34.3	10.3	11.3	<1.0E-07	74	-34	10.4	11.9	<1.0E-08	84
	3840	-35.4	8.6	11.1	2.00E-08	83	-35.5	9	10.1	<1.0E-07	73	-35.1	9	10	2.30E-08	83	-35.1	9.1	9.9	<1.0E-07	73
	3920	-34.8	7.6	9.4	1.60E-06	63	-35.1	7.8	9.5	3.30E-07	73	-34.6	8	9.9	<1.0E-07	73	-34.8	7.9	9.2	3.40E-07	73
	4009	-34.4	9.6	10.3	<1.0E-07	73	-34.5	9.6	10.7	<1.0E-07	74	-34.4	9.6	10.9	<1.0E-07	74	-34.2	9.7	10.6	<1.0E-07	74
	4080	-29.2	11.4	12	<1.0E-07	74	-30.8	9.9	9.3	<1.0E-07	74	-29.6	11.5	8.4	<1.0E-07	74	-28.9	11.8	11.8	<1.0E-07	75
	4120	-30.3	11	10.8	2.10E-08	84	-30.6	10.9	11.5	<1.0E-07	74	-30.4	11	10.1	<1.0E-07	74	-30.4	11	11	<1.0E-07	74

รูป 44 ผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ LNB แบบมี Filter ตราอักษร A

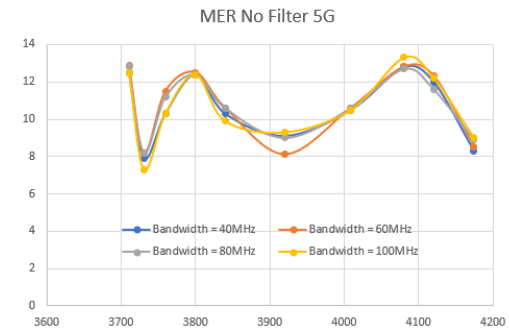


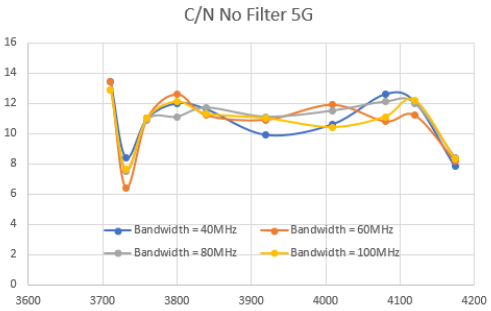
รูป 45 กราฟผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ LNB แบบมี Filter ตราอักษร A

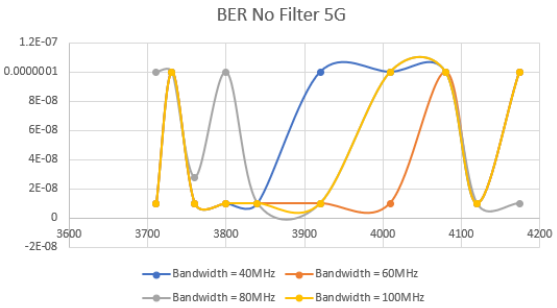
ผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณจาก **LNB** แบบไม่มี **Filter** ยี่ห้อ **B**

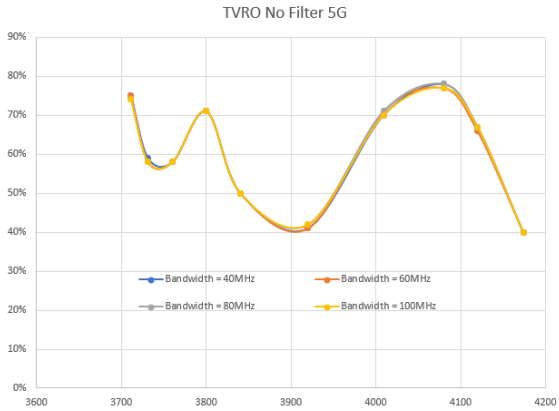
5G Base Station Indoor		Power = 0.25Wx4Port Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz					Power = 0.25Wx4Port Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz					Power = 0.25Wx4Port Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz					Power = 0.25Wx4Port Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz				
LNB/LNBF	Sattellite Frequency	Recorded Parameter					Recorded Parameter					Recorded Parameter					Recorded Parameter				
		PWR	MER	C/N	BER	TVRO	PWR	MER	C/N	BER	TVRO	PWR	MER	C/N	BER	TVRO	PWR	MER	C/N	BER	TVRO
LNB Frequency 3400MHz - 4200MHz (No Filter 5G)	3711	-34.4dBm	12.5dB	13.4dB	1x10-8	75%	-34.1dBm	12.9dB	13.4dB	1x10-8	75%	-34.3dBm	12.8dB	12.9dB	1x10-7	74%	-34.9dBm	12.5dB	12.9dB	1x10-8	74%
	3731	-39.6dBm	7.9dB	8.4dB	1x10-7	59%	-39.4dBm	8.2dB	6.4dB	1x10-7	58%	-39.4dBm	8.2dB	7.5dB	1x10-7	58%	-40.5dBm	7.3dB	7.6dB	1x10-7	58%
	3760	-32.3dBm	10.3dB	11.0dB	1x10-8	58%	-32.1dBm	11.5dB	11.0dB	1x10-8	58%	-32.3dBm	11.2dB	10.9dB	2.8x10-8	58%	-33.0dBm	10.3dB	11.0dB	1x10-8	58%
	3800	-30.7dBm	12.4dB	12.0dB	1x10-8	71%	-30.4dBm	12.5dB	12.6dB	1x10-8	71%	-30.6dBm	12.4dB	11.1dB	1x10-7	71%	-31.2dBm	12.4dB	12.1dB	1x10-8	71%
	3840	-30.2dBm	10.3dB	11.6dB	1x10-8	50%	-30.2dBm	10.6dB	11.2dB	1x10-8	50%	-30.2dBm	10.6dB	11.7dB	1x10-8	50%	-31.2dBm	9.9dB	11.3dB	1x10-8	50%
	3920	-31.3dBm	9.1dB	9.9dB	1x10-7	41%	-30.9dBm	8.1dB	10.9dB	1x10-8	41%	-30.9dBm	9.0dB	11.1dB	1x10-8	42%	-31.9dBm	9.3dB	11.0dB	1x10-8	42%
	4009	-33.9dBm	10.5dB	10.6dB	1x10-7	70%	-33.9dBm	10.6dB	11.9dB	1x10-8	71%	-34.0dBm	10.6dB	11.5dB	1x10-7	71%	-34.2dBm	10.5dB	10.4dB	1x10-7	70%
	4080	-29.7dBm	12.8dB	12.6dB	1x10-7	78%	-29.4dBm	12.8dB	10.8dB	1x10-7	77%	-29.2dBm	12.7dB	12.1dB	1x10-7	78%	-29.8dBm	13.3dB	11.1dB	1x10-7	77%
	4120	-31.5dBm	12.0dB	12.1dB	1x10-8	67%	-31.0dBm	12.3dB	11.2dB	1x10-8	66%	-30.9dBm	11.6dB	12.0dB	1x10-8	67%	-32.2dBm	12.2dB	12.2dB	1x10-8	67%
	4174	-40.0dBm	8.3dB	7.8dB	1x10-7	40%	-39.8dBm	8.5dB	8.2dB	1x10-7	40%	-39.5dBm	8.9dB	8.4dB	1x10-8	40%	-40.7dBm	9.0dB	8.3dB	1x10-7	40%

รูป 46 ผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ LNB แบบไม่มี Filter ตราอักษร B









รูป 47 กราฟผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ LNB แบบไม่มี Filter ตราอักษร B

ผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณจาก **LNB** แบบมี **Filter** ยี่ห้อ **B**

5G Base Station Indoor		Power = 0.25Wx4Port Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz					Power = 0.25Wx4Port Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz					Power = 0.25Wx4Port Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz					Power = 0.25Wx4Port Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz				
LNB/LNBF	Sattellite	Recorded Parameter					Recorded Parameter					Recorded Parameter					Recorded Parameter				
	Frequency	PWR	MER	C/N	BER	TVRO	PWR	MER	C/N	BER	TVRO	PWR	MER	C/N	BER	TVRO	PWR	MER	C/N	BER	TVRO
LNBF Frequency 3700MHz - 4200MHz (Filter 5G)	3711	-34.9dBm	11.8dB	12.9dB	1x10-8	71%	-35.0dBm	11.8dB	12.2dB	1x10-8	70%	-35.0dBm	12.1dB	13.3dB	1x10-8	70%	-35.5dBm	10.2dB	12.1dB	1x10-8	70%
	3731	-38.1dBm	7.2dB	7.0dB	1x10-7	54%	-38.3dBm	7.2dB	7.6dB	1x10-7	55%	-38.6dBm	7.1dB	8.2dB	1x10-8	55%	-37.7dBm	7.0dB	8.0dB	1x10-8	55%
	3760	-28.2dBm	10.7dB	12.0dB	1x10-8	57%	-28.2dBm	10.6dB	10.8dB	1x10-7	56%	-28.9dBm	10.8dB	11.5dB	1x10-7	57%	-28.2dBm	9.3dB	10.5dB	1x10-7	56%
	3800	-24.9dBm	11.7dB	11.7dB	1x10-8	70%	-24.9dBm	12.3dB	12.2dB	1x10-8	70%	-24.6dBm	12.4dB	12.5dB	1x10-8	70%	-23.8dBm	11.9dB	12.1dB	1x10-8	70%
	3840	-27.4dBm	10.9dB	11.3dB	1x10-8	54%	-27.3dBm	10.8dB	12.5dB	1x10-8	55%	-27.2dBm	11.0dB	11.4dB	1x10-8	54%	-26.0dBm	10.9dB	12.6dB	1x10-7	55%
	3920	-32.1dBm	8.7dB	10.3dB	1x10-8	41%	-32.1dBm	8.7dB	10.3dB	1x10-8	41%	-32.4dBm	9.0dB	10.5dB	1x10-7	41%	-26.7dBm	8.7dB	10.0dB	1x10-8	41%
	4009	-36.1dBm	10.1dB	11.0dB	1x10-7	69%	-36.7dBm	10.0dB	10.9dB	1x10-7	69%	-36.8dBm	10.3dB	10.6dB	1x10-7	69%	-28.5dBm	10.2dB	9.8dB	1x10-7	68%
	4080	-31.5dBm	12.3dB	12.6dB	1x10-8	75%	-31.9dBm	12.5dB	11.7dB	1x10-7	75%	-32.1dBm	12.5dB	11.2dB	1x10-7	74%	-22.6dBm	13.2dB	12.3dB	1x10-7	75%
	4120	-31.1dBm	12.4dB	11.1dB	1x10-8	69%	-31.2dBm	12.3dB	12.0dB	1x10-7	70%	-30.9dBm	12.0dB	11.8dB	1x10-8	69%	-30.3dBm	11.7dB	11.3dB	1x10-8	69%
	4174	-43.3dBm	5.8dB	6.7dB	1x10-6	38%	-41.1dBm	8.0dB	8.7dB	3x10-6	39%	-41.0dBm	8.8dB	9.4dB	1x10-7	40%	-41.0dBm	7.8dB	8.2dB	1x10-8	39%

รูป 48 ผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ LNB แบบมี Filter ตราอักษร B

รูป 49 กราฟผลการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ LNB แบบมี Filter ตราอักษร B

<u>**ข้อสังเกต</u> ในการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ คณะวิจัยจะใช้เกณฑ์การตัดสินหลักจากความสามารถในการรับชมภาพจากจอทีวีได้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 วินาทีเป็นหลัก โดยมีเกณฑ์การให้ทั้งสิ้น 4 รูปแบบคือ 1) Macro blocking 2) Blackout 3) Freeze และ 4) Audio Silence โดยคณะวิจัยจะกำหนดให้ผู้ทดสอบใช้แบบฟอร์มในการเลือกกากบาทในช่องที่ผู้ทดสอบพบเห็นจากการทดสอบจริงเป็นหลัก ทั้งนี้หากภาพที่ได้เป็นภาพปกติ นั่นหมายความว่าสัญญาณดิจิทัลสามารถถูกถอดรหัสจากเครื่องรับได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นเพื่อความโปร่งใสของการเก็บผลข้อมูล จึงมีการบันทึกผลเป็นค่าพารามิเตอร์ PWR, MER, C/N และ BER ไว้เป็นหลักฐานสำคัญ เพื่อยืนยันว่าผู้ทดสอบบันทึกค่าที่ได้อย่างถูกต้องอย่างแท้จริง

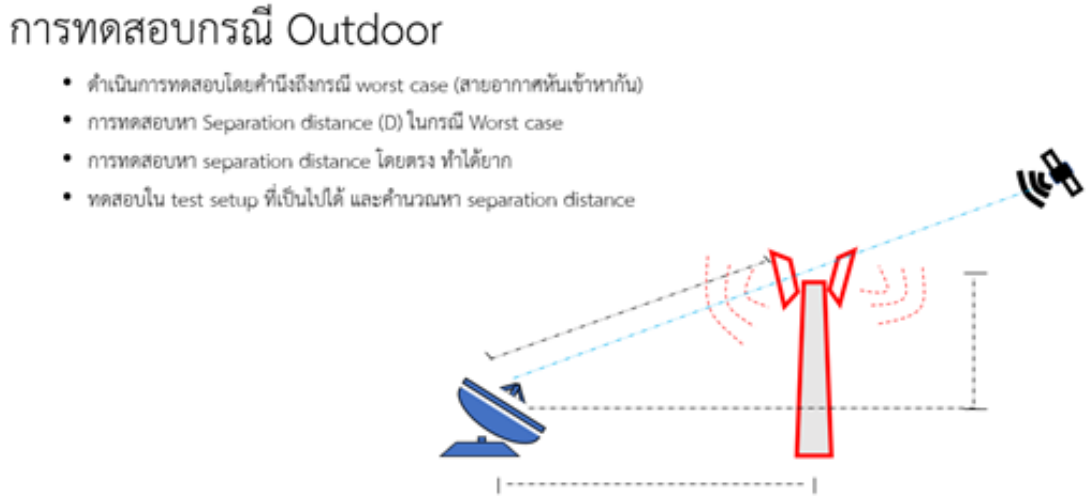
5.1.8 สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนจากสถานีฐาน 5G ที่อยู่ภายในอาคารของสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคารรุ่น 5G pRRU 5935 ของบริษัท Huawei ให้ค่ากำลังส่งที่หน้าสถานีฐานที่ -45 dBm/Hz และเมื่อแพร่กระจายไปด้านล่างอาคารที่ระยะ 25 เมตร พบว่าสัญญาณถูกลดทอนลงไปเหลือที่ -120.28

dB/Hz ทำให้สัญญาณ (Channel Power) ที่วัดหน้าจานรับดาวเทียมมีขนาดน้อยกว่า -110 dBm/Hz โดยค่าที่ได้รับดังกล่าว สามารถจับได้จากการใช้เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียมตราอักษร Promax **เนื่องจากในระบบการวัดสัญญาณดาวเทียมนั้นมีการใช้จานรับดาวเทียมและหัวรับ LNB ซึ่งภายในมีอุปกรณ์ขยายสัญญาณ LNA ภายใน ทำให้คณะวิจัยเห็นระดับสัญญาณรบกวนสูงขึ้น แต่ที่ระยะ 25 เมตรและค่ากำลังส่งดังกล่าวยังไม่มีความแรงของสัญญาณพอเพียงที่จะทำให้ระบบภาพดาวเทียมเกิดความเสียหาย ทำให้ยังดูภาพได้ปกติ และจากการที่คณะวิจัยสามารถใช้หัวรับ LNB ชนิดที่ไม่มี 5G Filter แล้วยังสามารถรับชมสัญญาณดาวเทียมได้เป็นปกติ นั่นหมายความว่าหัวรับ LNB_F ชนิดที่มี 5G หรือดีกว่า ก็สามารถใช้งานได้ปกติ**

5.2 การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor)

การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายนอกอาคาร จะเป็นการทดสอบในกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case) คือเป็นกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่นอกอาคาร จากนั้นคณะวิจัยจะทำการตั้งจานรับดาวเทียมในบริเวณใกล้เคียง โดยให้จานนั้นหันหัวไปในทิศทางเดียวกับสถานีฐาน 5G มากที่สุดดังรูป 50



รูป 50 ตำแหน่งของสถานีฐาน 5G และจานดาวเทียมสำหรับการทดสอบกรณีภายในอาคารแบบ Worst Case

5.2.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ

สำหรับการทดสอบในกรณี Outdoor โครงการนี้ได้ทำการกำหนดกรณีทดสอบขึ้น โดยใช้

1. **สถานีฐาน 5G ในรูปแบบของ Outdoor รุ่น 5G AAU5613 ของบริษัท Huawei จำนวน 2 ชุด โดยใช้ค่าสัญญาณดังนี้**

Huawei Active Antenna Unit (AAU) 5613

Technical standard	3GPP Release 15
Frequency Band	3400Mhz - 3800Mhz
TX RX channel	64T64R
Polarization	+45°, '-45°
Gain (dBi)	24
Horizontal sweep range (°)	-60 - 60
Vertical sweep range (°)	-15 - 15

รูป 51 สถานีฐาน 5G ภายในอาคาร รุ่น 5G AAU5613 และ BBU5900 ของบริษัท Huawei

2. ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม

2.1. หัวรับ Low-Noise Block downconverter (LNB), Low-Noise Block downconverter with 5G Filter (LNB_F) และ Band-Pass Filter (BPF)

ทางคณะวิจัยได้จัดหาหัวรับ LNB, LNB_F และ BPF หลากหลายตราอักษรเพื่อใช้ในการทดสอบครั้งนี้ **โดยใช้เลือกใช้หลักเกณฑ์การคัดเลือกเป้าหมาย (Key Informants) ด้วยวิธีการเลือกหัวรับ LNB ประเภท C band แบบสุ่ม (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นหัวรับ LNB ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และได้รับความนิยมจากผู้บริโภคในการเลือกซื้อจำนวนมาก**[28]

โดยหัวรับ LNB ในที่นี้หมายถึงหัวรับ LNB ที่ไม่มีตัวกรองสัญญาณ 5G หรือ 5G Filter เลย ทำงานในย่าน 3.4 ถึง 4.2 GHz และ หัวรับ LNB_F **ในที่นี้หมายถึงหัวรับ LNB ที่มีตัวกรองสัญญาณ 5G หรือ 5G Filter ทำงานในย่าน 3.7 ถึง 4.2 GHz**

[28] ผลการสำรวจจากร้านค้าปลีกอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่กรุงเทพมหานครและต่างจังหวัดทั้ง 5 ภูมิภาค

รูป 52 หัวรับ LNB และ LNB_F

2.2. ตัวรับสัญญาณ TVRO จานรับดาวเทียมและทีวีแอลซีดี

รูป 53 ระบบการรับสัญญาณดาวเทียม

ในการรับสัญญาณดาวเทียมนั้น คณะวิจัยจะอาศัยจานรับดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร (จานดำ) ขนาดมาตรฐานมาใช้รวมสัญญาณเข้าสู่ อุปกรณ์ LNB หรือ LNB_F เพื่อแปลงสัญญาณให้เหมาะสมเข้าไปสู่อุปกรณ์ TVRO และแสดงผลออกมาในรูปแบบสัญญาณทีวีตามลำดับ

2.3. เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียม

รูป 54 เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียม

ในที่นี้คณะวิจัยใช้เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียมตราอักษร Promax ที่มีความสามารถในการตรวจวิเคราะห์สัญญาณโทรทัศน์ และทีวีดาวเทียม รองรับ DVB – T2 / S2 / C2 จอสัมผัส Touch Screen + ปุ่มควบคุมการทำงาน สเปกตรัมความละเอียดสูง Sweep Rate 70 ms รองรับ HEVC H.265 demodulation

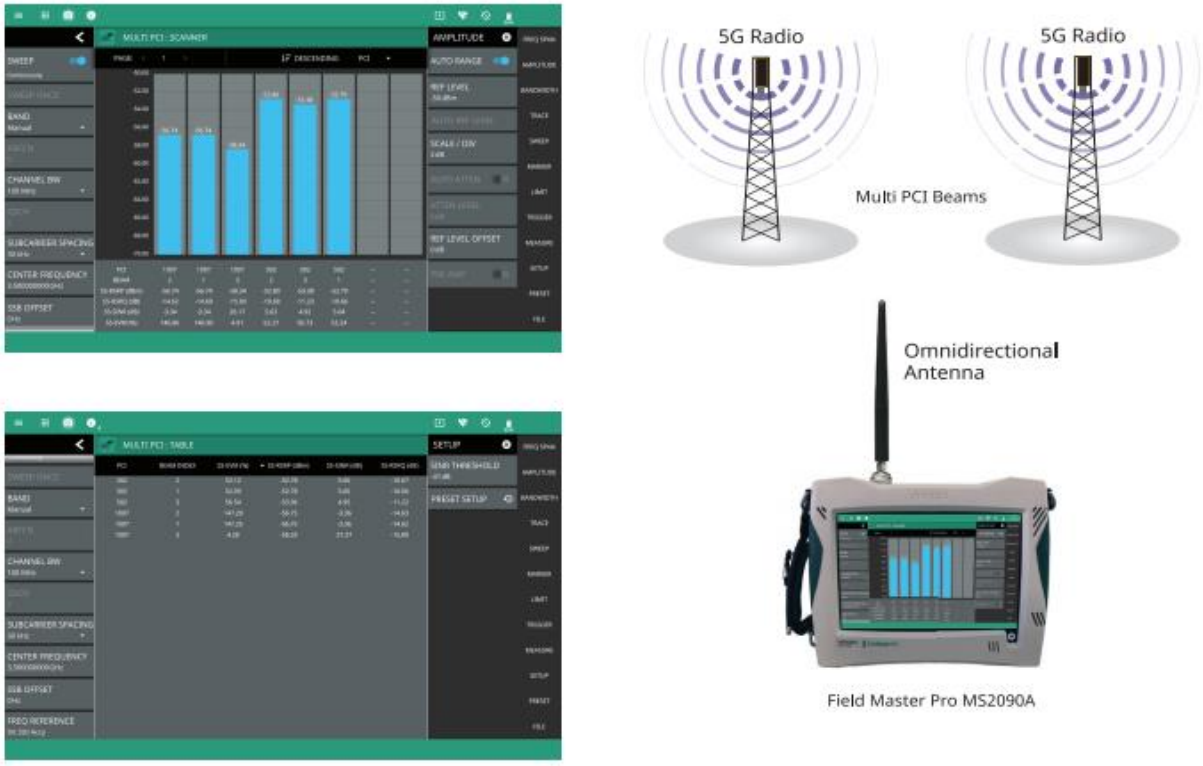
2.4. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ 5G

รูป 55 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ ตราอักษร Anritsu รุ่น Field Master Pro

ในที่นี้คณะวิจัยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ ตราอักษร Anritsu รุ่น Field Master Pro (High-Performance RF Spectrum Analyzer) รองรับค่าความถี่ตั้งแต่ 9KHz ถึง 32 GHz มีค่าข้อกำหนดเฉพาะผลิตภัณฑ์ดังนี้

Parameter	Specification
Frequency range	9 kHz to 9/14/20/26.5/32/43.5/54 GHz
Analysis bandwidth	110 MHz
Demodulation	5G NR demodulation, RF and modulation quality plus SSB signal analysis
TOI	+20 dBm
DANL (with pre amp)	–164 dBm
Amp range	DANL to +30 dBm
Phase noise @ 1 GHz	-110 dBc/Hz @ 100 kHz offset (typical)
RBW/VBW	1 Hz to 10 MHz
Input SWR	1.5
Amplitude accuracy	< 14 GHz ±1.3 dB (±0.5 dB typ)
RTSA bandwidth	22 MHz, 55 MHz, 110 MHz (option dependent)

Feature	Specification
Display	10.1 inch, 1280 x 800 color touchscreen
Traces	6
Detectors	Peak, RMS/Avg., Negative
Gated sweep	For time gated spectrum measurements
Markers	12, fully featured with table
Limit lines	Complex limit lines with Pass/Fail
IQ	Capture and streaming of IQ data
Trace record and playback	Record and replay spectrum traces to/from internal memory
GNSS	GPS, GLONASS, Galileo
Interfaces and connectivity	USB 3.0, USBTMC, Ethernet, 802.11b/g/a/n/ac
Battery life	>2 hours (function dependent)

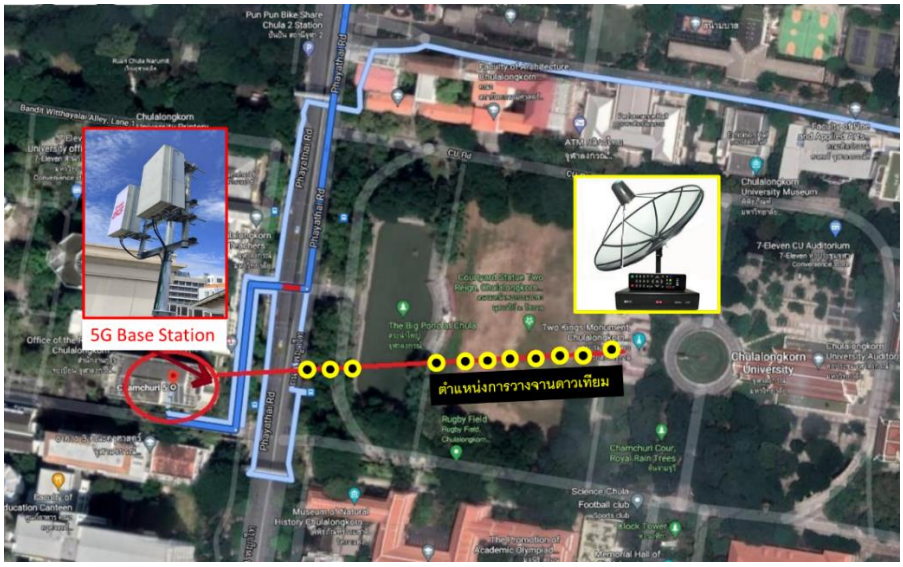


รูป 56 การวัดสัญญาณรบกวนสถานีฐาน 5G

เครื่องมือวัดดังกล่าวได้ถูกออกแบบเฉพาะให้สามารถจับสัญญาณจากสถานีฐาน 5G ครอบคลุมทุกบีม (Beamforming) ของสถานีฐาน 5G

5.2.2 สถานที่ทดสอบ

การทดสอบวัดสัญญาณสำหรับกรณี Outdoor จะกระทำในพื้นที่ทดสอบ Sandbox ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสถานีฐาน 5G จะถูกติดตั้งอยู่ที่ดาดฟ้าของอาคารจามจุรี 5 ซึ่งภายในสถานีฐานได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ AAU โมเดล Huawei AAU5613 จำนวน 2 เครื่องเพื่อใช้สำหรับส่งสัญญาณ 5G ที่ความถี่ 3.4 – 3.8 GHz และอุปกรณ์ BBU โมเดล Huawei BBU5900 จำนวน 1 เครื่องเพื่อใช้สำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายแกน (core network) และควบคุมการทำงานของ AAU ทั้งสอง โดยการเชื่อมต่อของโครงข่าย 5G ที่ใช้สำหรับการทดสอบจะแสดงดังรูปที่ 35



รูป 57 ตำแหน่งของสถานีฐาน 5G และจานดาวเทียมสำหรับการทดสอบกรณี Outdoor ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

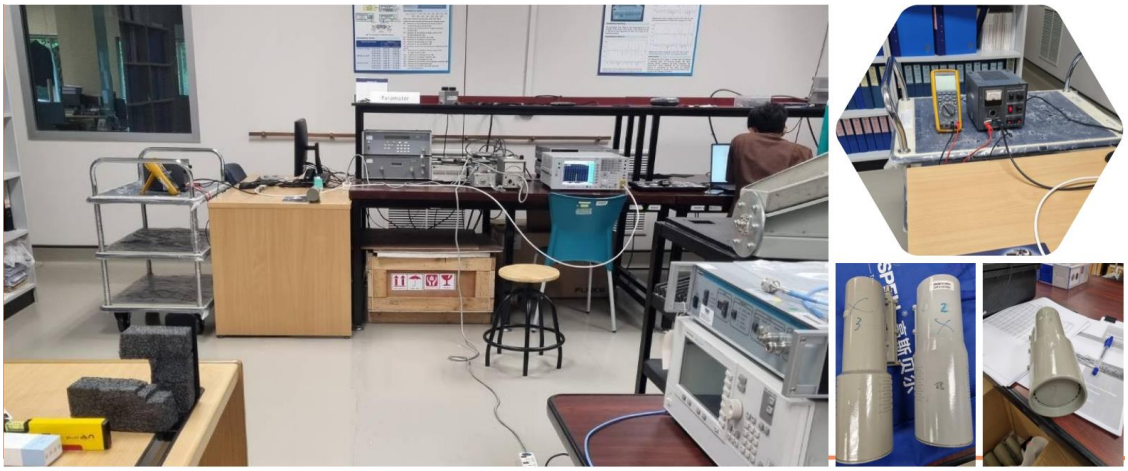
5.2.3 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

1. บริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี่ (ประเทศไทย)
2. บริษัท ทรู มูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมิวนิเคชั่น จำกัด
3. บริษัท ดีแทค ไตรเน็ต จำกัด
4. บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (ไอเดียแซท)
5. บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
6. บริษัท อินโฟแซท จำกัด
7. บริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
8. บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)
9. บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)
10. บริษัท จีเอ็มเอ็ม แกรมมี่ จำกัด

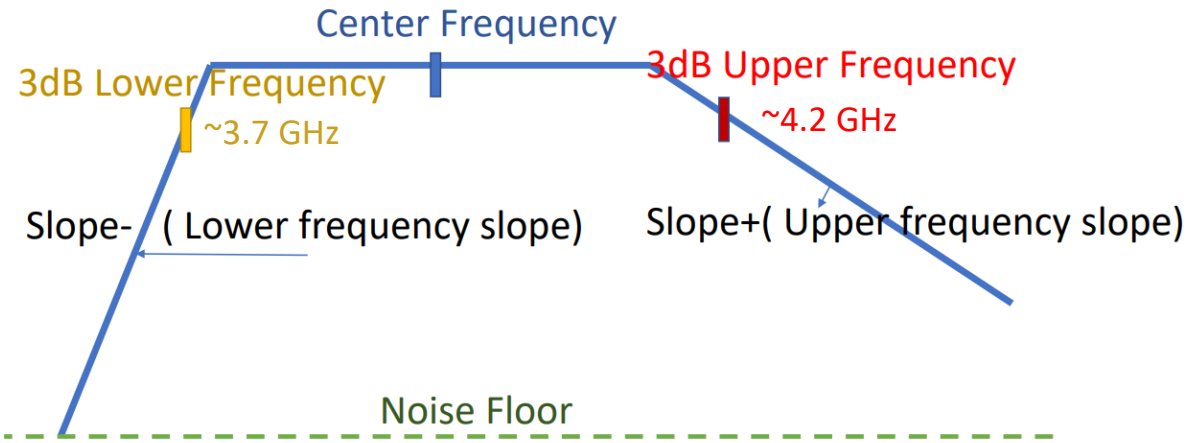
5.2.4 วิธีการทดสอบ

1. ทำการวัดอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF โดยโมเดลของอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF จะถูกนำไปทดสอบที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ เพื่อหาค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของตัวอุปกรณ์ โดย

อุปกรณ์ทั้งหมดที่นำมาทดสอบจำนวน 22 โมเดลจะถูกนำมาวัดหาค่าคุณลักษณะดังรูปซึ่งผลที่ได้จากการวัดจะทำให้ทราบถึงช่วงความถี่กลาง Noise floor ความชัน และอื่นๆ



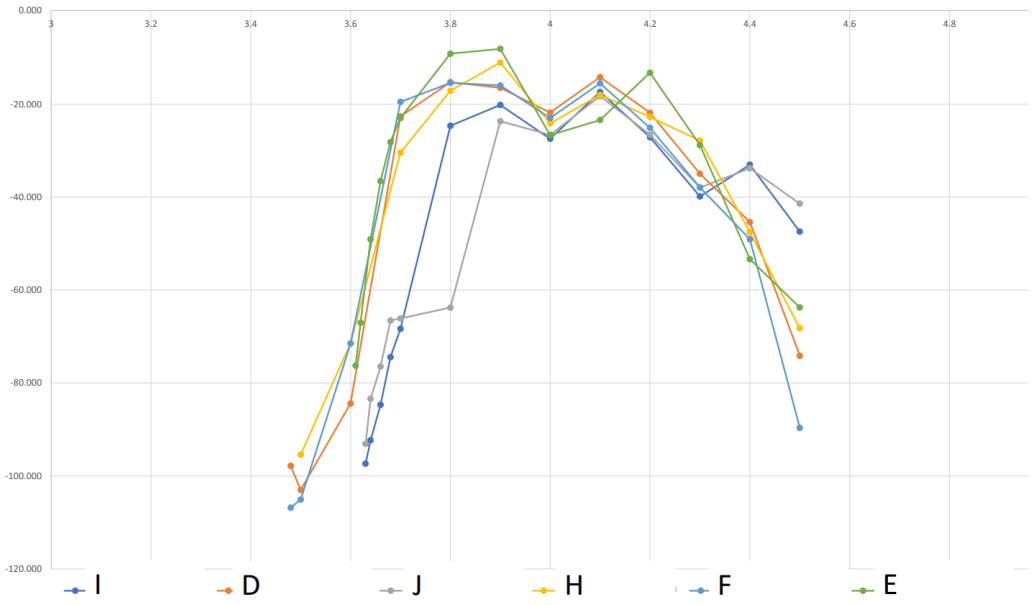
รูป 58 การทดสอบอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF ที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ



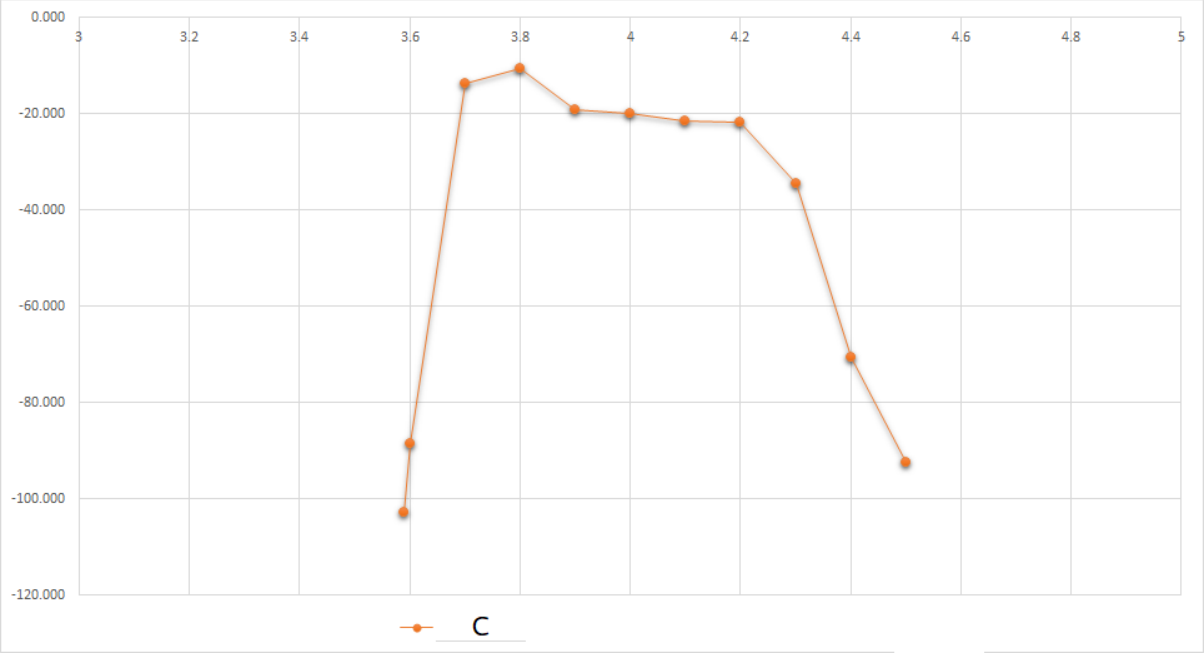
รูป 59 ค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดอุปกรณ์

ผลการวัดอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF ทั้ง 22 โมเดลจะแสดงดังรูปต่อไปนี้ ซึ่งโมเดลของอุปกรณ์จะถูกแทนด้วยตัวอักษร A ถึง V โดยคุณลักษณะต่างๆ ที่ได้จากการวัดจะถูกบันทึกลงในตารางดังรูปที่ 19

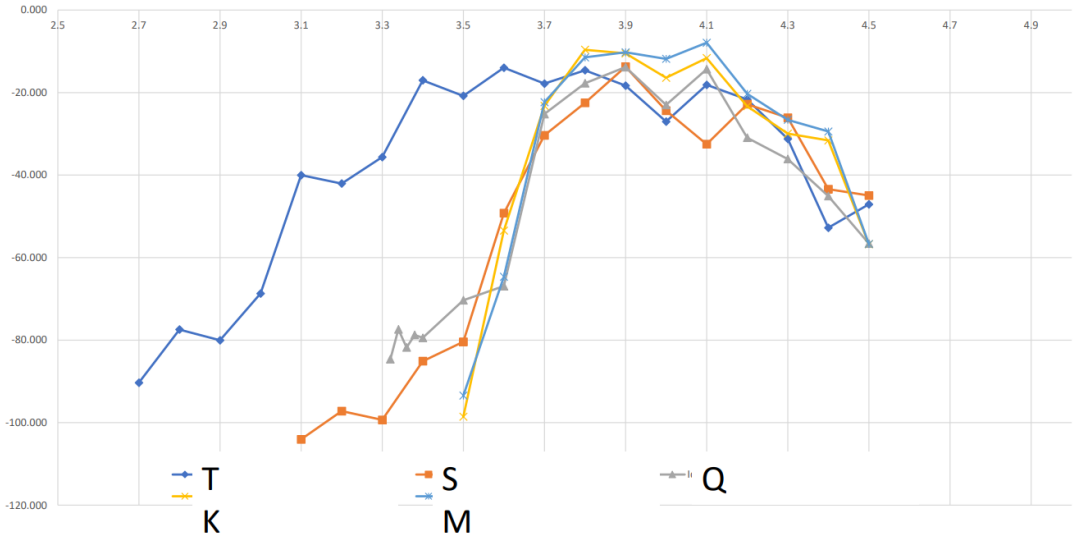
หมายเหตุ 3dB Lower Frequency หมายถึง ความถี่ขอบล่าง มีค่าประมาณ 3.7 GHz และ 3dB Upper Frequency หมายถึง ความถี่ขอบบน มีค่าประมาณ 4.2 GHz



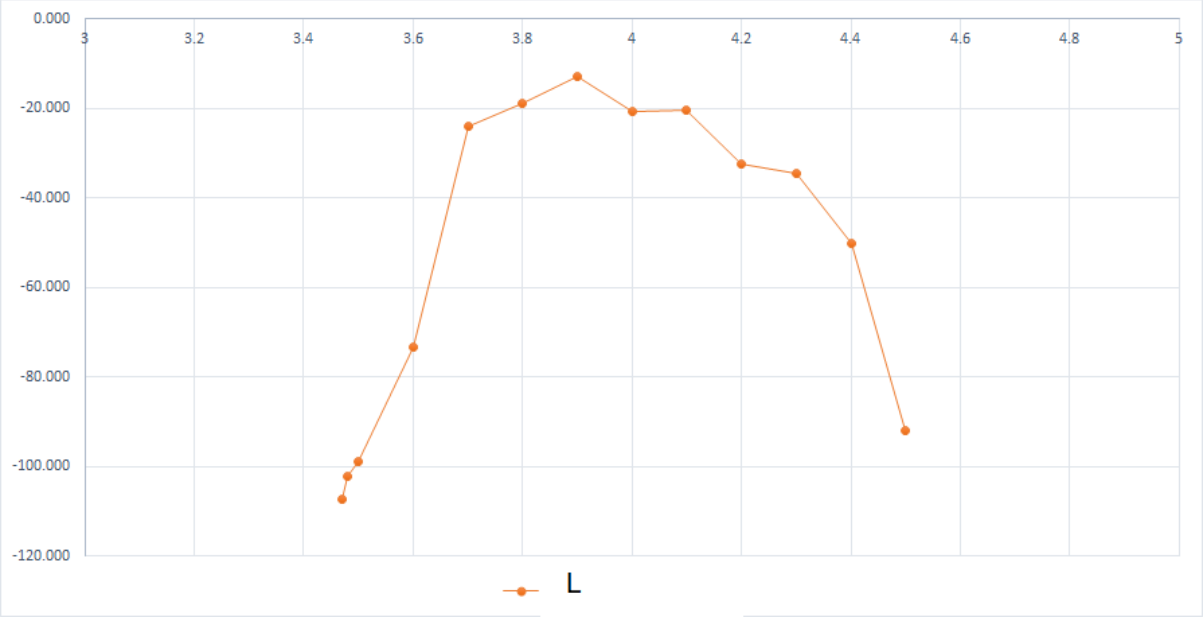
รูป 60 ผลการวัดอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF โมเดล I, D, J, H, F และ E



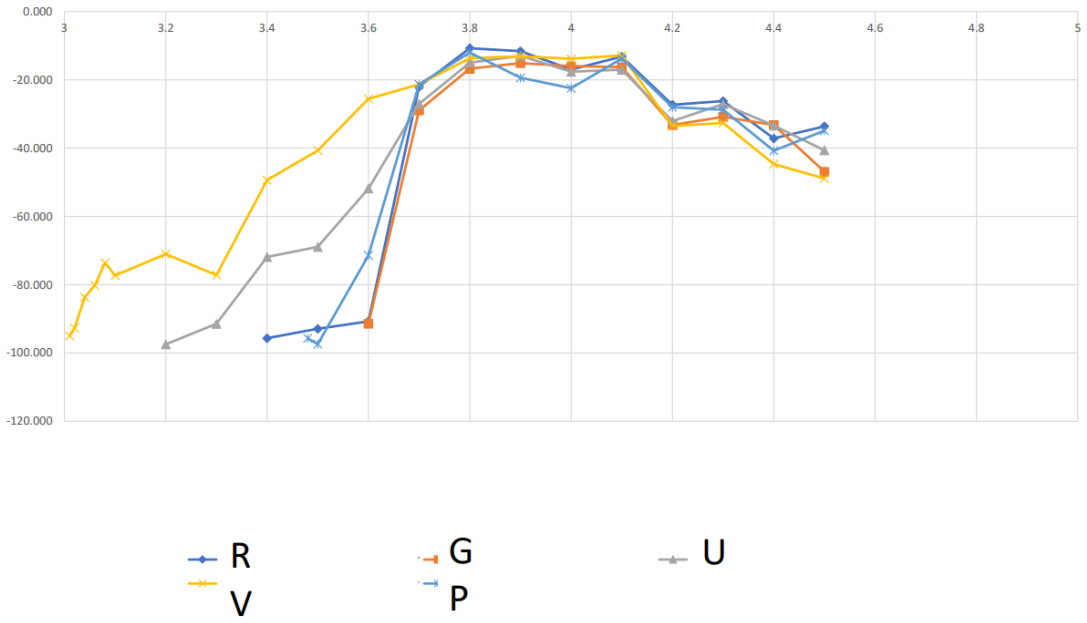
รูป 61 ผลการวัดอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF โมเดล C



รูป 62 ผลการวัดอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF โมเดล T, S, Q, K และ M



รูป 63 ผลการวัดอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF โมเดล O, L และ N



รูป 64 ผลการวัดอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF โมเดล R, G, U, V และ P

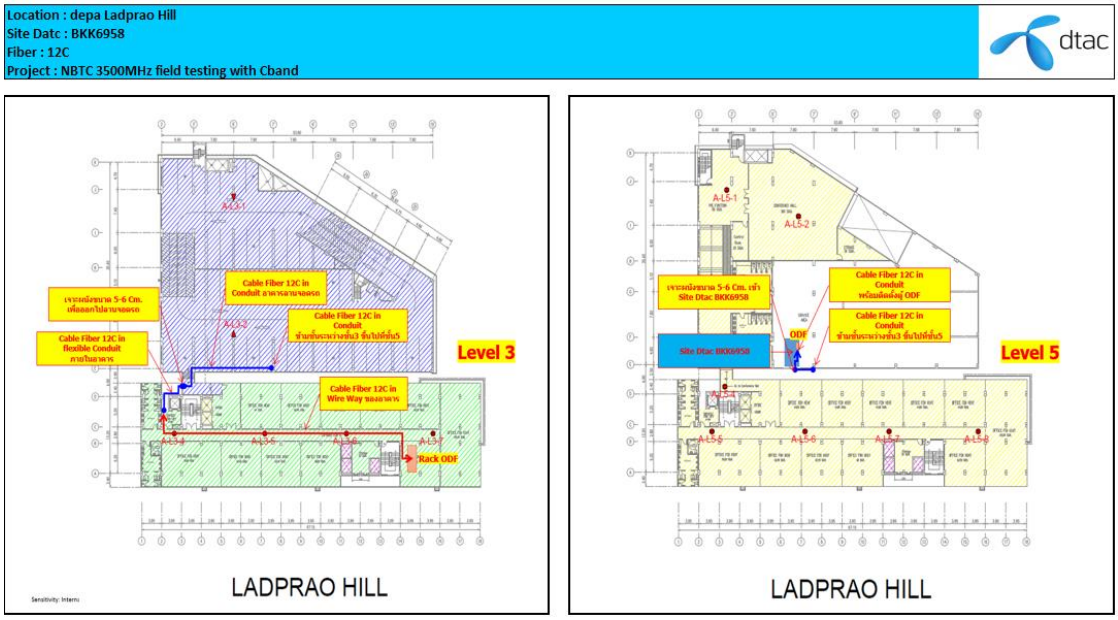
ยี่ห้อและรุ่น	Noise Floor	Slope+	3dB Lower Frequency	Center Frequency	3dB Upper FreQuency	Slop-
	(dBm)	(dB/GHz)	(GHz)	(GHz)	(GHz)	(dB/GHz)
C	-105	400	3.70	3.95	4.20	-120
D	-100	400	3.70	3.95	4.20	-100
E	-100	400	3.68	3.99	4.30	-100
F	-110	400	3.68	3.94	4.20	-125
G	-90	400	3.70	3.95	4.20	-115
H	-100	400	3.70	4.00	4.30	-125
I	-100	400	3.70	4.00	4.30	-150
J	-100	305	3.70	3.98	4.25	-165
K	-100	375	3.70	3.95	4.20	-75
L	-110	300	3.70	3.95	4.20	-100
M	-93	300	3.70	3.95	4.20	-150
P	-100	400	3.70	3.95	4.20	-100
Q	-90	300	3.70	3.95	4.20	-150
R	-100	400	3.70	3.95	4.20	-100
S	-100	375	3.70	4.00	4.30	-150
T	-90	100	3.70	4.00	4.30	-100
U	-100	200	3.70	3.95	4.20	-100
V	-100	200	3.70	3.95	4.20	-100

รูป 65 ตารางสรุปค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ได้จากการวัดค่า

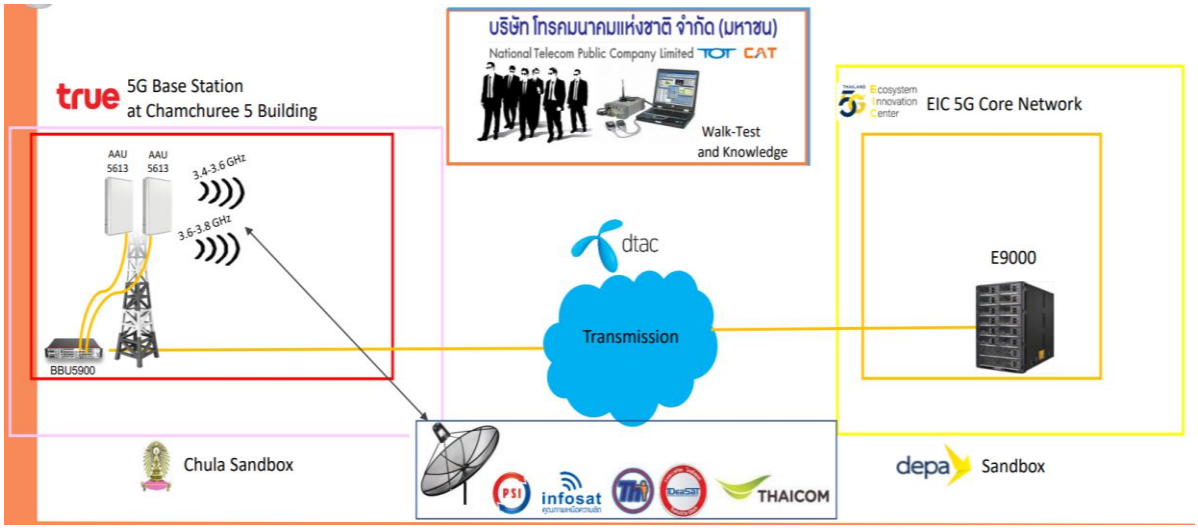
หมายเหตุ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หาจากรูป โดยการใช้การประมาณเชิงเส้น โดยการลากผ่านจำนวนจุดที่ผ่านมากที่สุดเป็นเส้นตรงเพื่อให้เกิดรูปร่างสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ภายหลังจากการลากเส้นแล้วจึงทำการ วัดค่าความชันทางฝั่งซ้าย (Slope+) และฝั่งขวา (Slope-) ตามลำดับ

2. ทำการเชื่อมต่อโครงข่ายสถานีฐาน 5G โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ทรู มูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมิวนิเคชั่น จำกัด ในการใช้สายอากาศ AAU 5613 จำนวน 2 ชุด พร้อม BBU 5900 จำนวน 1 ชุด และเชื่อมต่อโครงข่าย Transmission ผ่านสายไฟเบอร์ออฟติกส์ไปยังตึก Depa โดยผ่านระบบ Transmission ของบริษัท ดีแทค ไตรเน็ต จำกัด ไปเชื่อมต่อยัง Core Network ของบริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี (ประเทศไทย) บนตึก Depa ดังรูปที่ 43 ถึง 45

รูป 66 การติดตั้งสถานีฐาน 5G ที่ใช้สำหรับการทดสอบกรณี Outdoor



รูป 67 การติดตั้งระบบ Transmission ของ DTAC ให้สถานีฐาน 5G ที่ใช้สำหรับการทดสอบกรณี Outdoor



รูป 68 การเชื่อมต่อโครงข่าย 5G ที่ใช้สำหรับการทดสอบกรณี Outdoor

3. ทำการปรับค่ากำลังส่งของสถานีฐาน 5G ในรูปแบบของ Outdoor รุ่น 5G AAU5613 จำนวน 2 ตัว ของบริษัท Huawei สาเหตุที่ต้องใช้สายอากาศรุ่น AAU5613 จำนวน 2 ชุดเนื่องจากสายอากาศ 1 ชุดจะสามารถปรับค่าแบนด์วิดธ์ได้ 200 MHz ในที่คณะวิจัยต้องการเพิ่มค่าสัญญาณ 5G ให้ได้ระหว่าง 3.4 ถึง 3.8 GHz จึงต้องใช้สองชุด โดยโครงการนี้ได้ทำการกำหนดกรณีทดสอบขึ้นด้วยการใช้พารามิเตอร์ช่วงความถี่ใช้งาน LNB, LNB_F และ BPF กับช่วงความถี่ Guard band ในการกำหนดกรณีทดสอบแต่ละกรณี โดยกรณีทดสอบทั้งหมดจะมี 16 กรณีซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1. กรณีทดสอบที่ 1 (Case 1): LNB = 3400 ถึง 4200 MHz

3.1.1.กรณีทดสอบที่ 1.1 (Case 1.1)

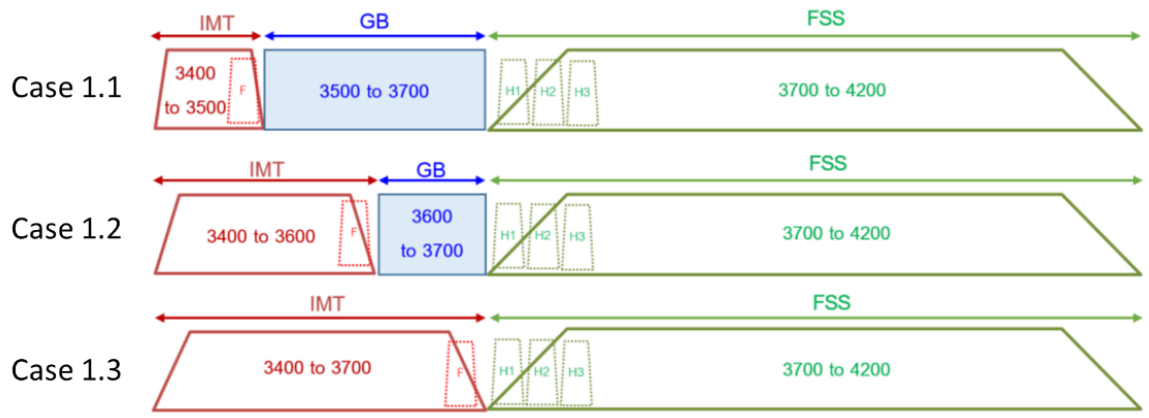
- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3400 ถึง 3500 MHz
- Guard band: 3500 ถึง 3700 MHz
- LNB: 3400 ถึง 4200 MHz

3.1.2.กรณีทดสอบที่ 1.2 (Case 1.2)

- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3400 ถึง 3600 MHz
- Guard band: 3600 ถึง 3700 MHz
- LNB: 3400 ถึง 4200 MHz

3.1.3.กรณีทดสอบที่ 1.3 (Case 1.3)

- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3400 ถึง 3700 MHz
- Guard band: 0 Hz
- LNB: 3400 ถึง 4200 MHz



รูป 69 การจัดสรรช่วงความถี่ของกรณีทดสอบที่ 1 สำหรับกรณี Outdoor

3.2. กรณีทดสอบที่ 2 (Case 2): LNB, LNB_F, BPF = 3700 ถึง 4200 MHz

3.2.1.กรณีทดสอบที่ 2.1 (Case 2.1)

- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3400 ถึง 3500 MHz
- Guard band: 3500 ถึง 3700 MHz
- LNB, LNB_F, BPF: 3700 ถึง 4200 MHz

3.2.2.กรณีทดสอบที่ 2.2 (Case 2.2)

- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3400 ถึง 3600 MHz
- Guard band: 3600 ถึง 3700 MHz
- LNB, LNB_F, BPF: 3700 ถึง 4200 MHz

3.2.2.1. กรณีทดสอบที่ 2.22 (Case 2.22)

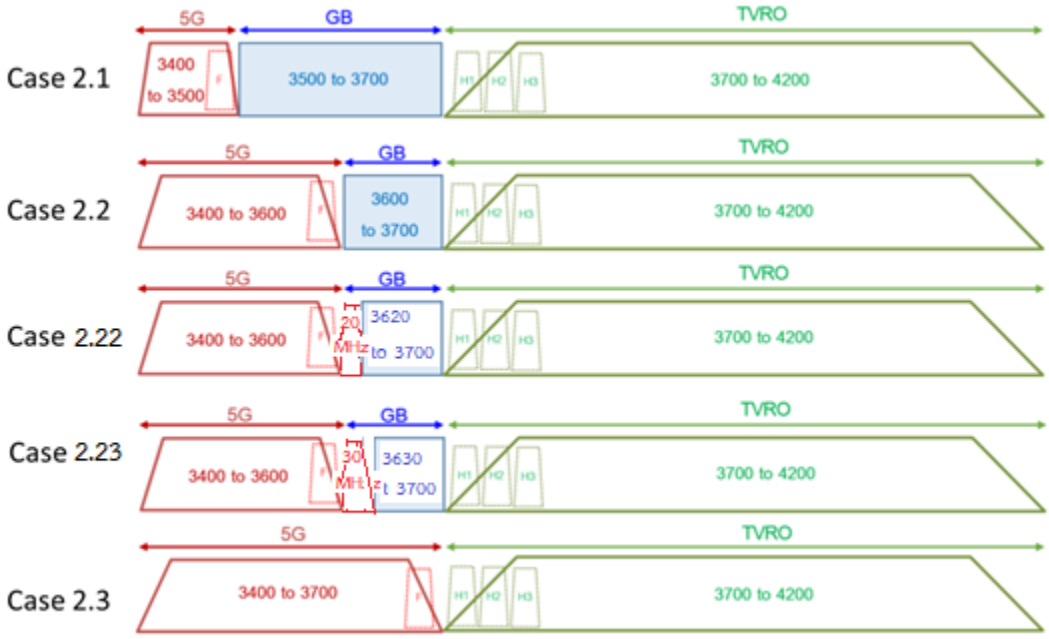
- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3400 ถึง 3620 MHz
- Guard band: 3620 ถึง 3700 MHz
- LNB, LNB_F, BPF: 3700 ถึง 4200 MHz

3.2.2.2. กรณีทดสอบที่ 2.23 (Case 2.23)

- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3400 ถึง 3630 MHz
- Guard band: 3630 ถึง 3700 MHz
- LNB, LNB_F, BPF: 3700 ถึง 4200 MHz

3.2.3.กรณีทดสอบที่ 2.3 (Case 2.3)

- ช่วงความถี่สัญญาณ 5G: 3400 ถึง 3700 MHz
- Guard band: 0 Hz
- LNB, LNB_F, BPF: 3700 ถึง 4200 MHz

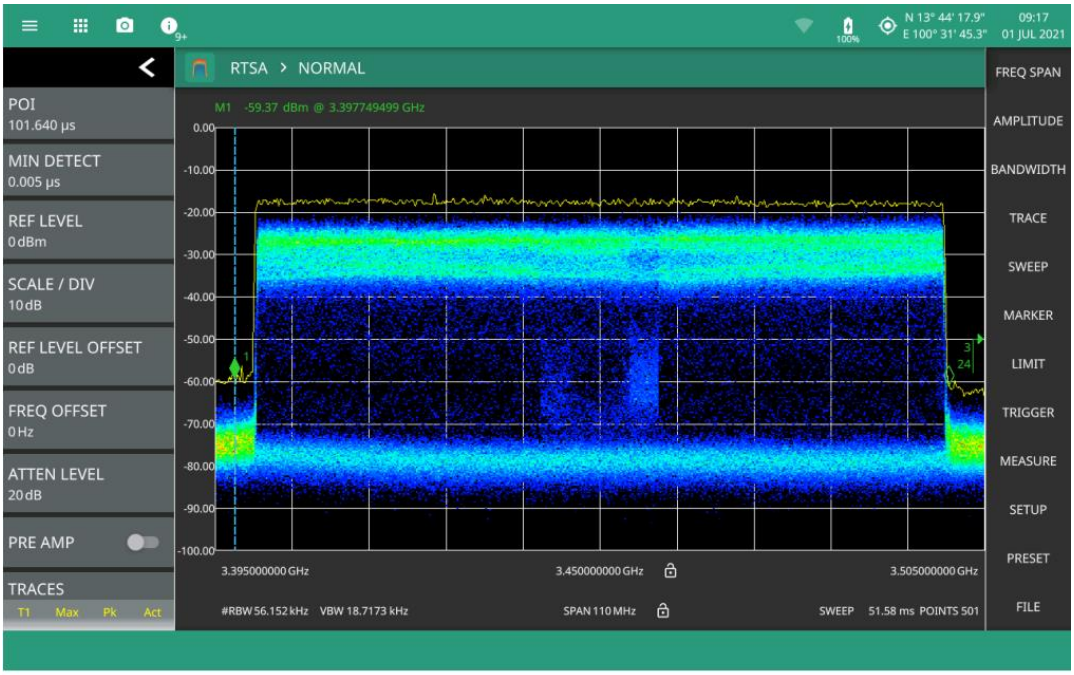


รูป 70 การจัดสรรช่วงความถี่ของกรณีทดสอบที่ 2 สำหรับกรณี Outdoor

4. ทำการวัดสัญญาณจากสถานีฐาน 5G โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ ตราอักษร Anritsu รุ่น Field Master Pro (High-Performance RF Spectrum Analyzer) รองรับค่าความถี่ตั้งแต่ 9KHz ถึง 32 GHz โดยปรับค่าแบนด์วิทธ์ที่ 100 MHz และนำสายอากาศ Omnidirectional มาวางใกล้กับสถานีฐาน 5G แบบภายนอกอาคาร จากนั้นบันทึกผลสัญญาณ 5G คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ 5G (MHz) และกำลังที่ใช้ในการส่งสัญญาณ 5G

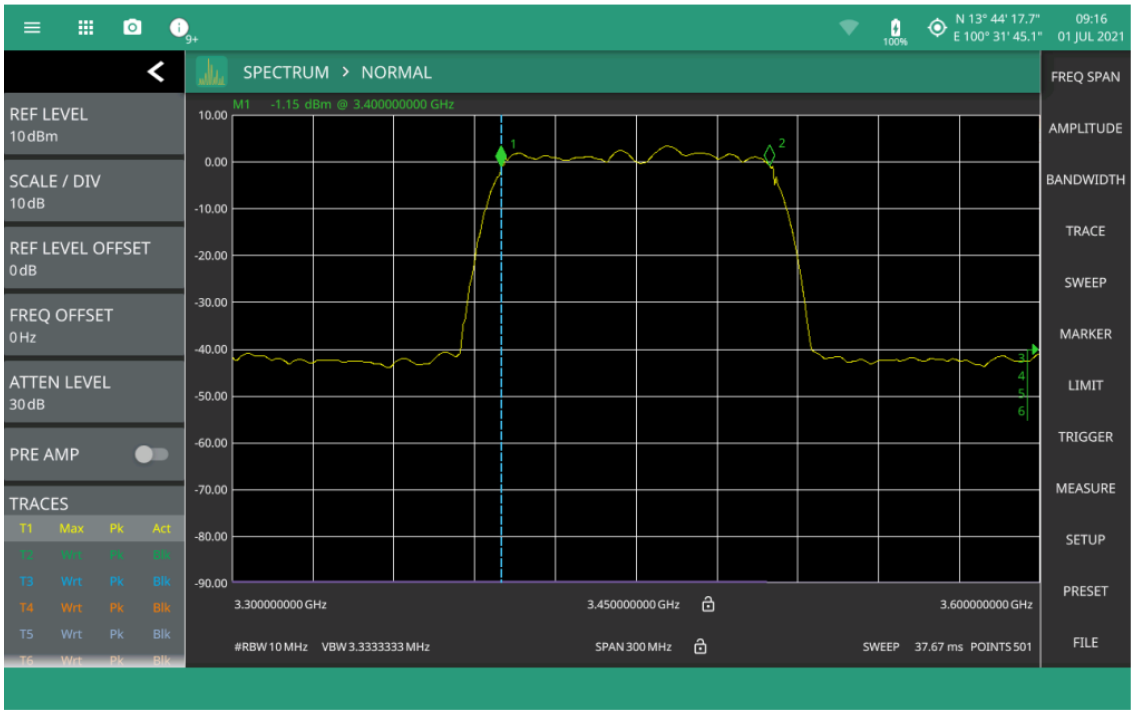
4.1. กรณีที่ 1 ความถี่ 3400 – 3500 MHz

4.1.1.Power 200 W (Real Time Spectrum)



Anritsu MS2090A SN: 2019021 SW Package: V2021.5.1
Options: 0024,0031,0089,0090,0104,0124,0125,0128,0199,0400,0407,0421,0431,0444,0445,0732,0883,0888
Date/Time: 01 Jul 2021 09:17:32 +07 GPS: N 13° 44' 17.9"; E 100° 31' 45.3"; 24.3 m / 79.7 ft

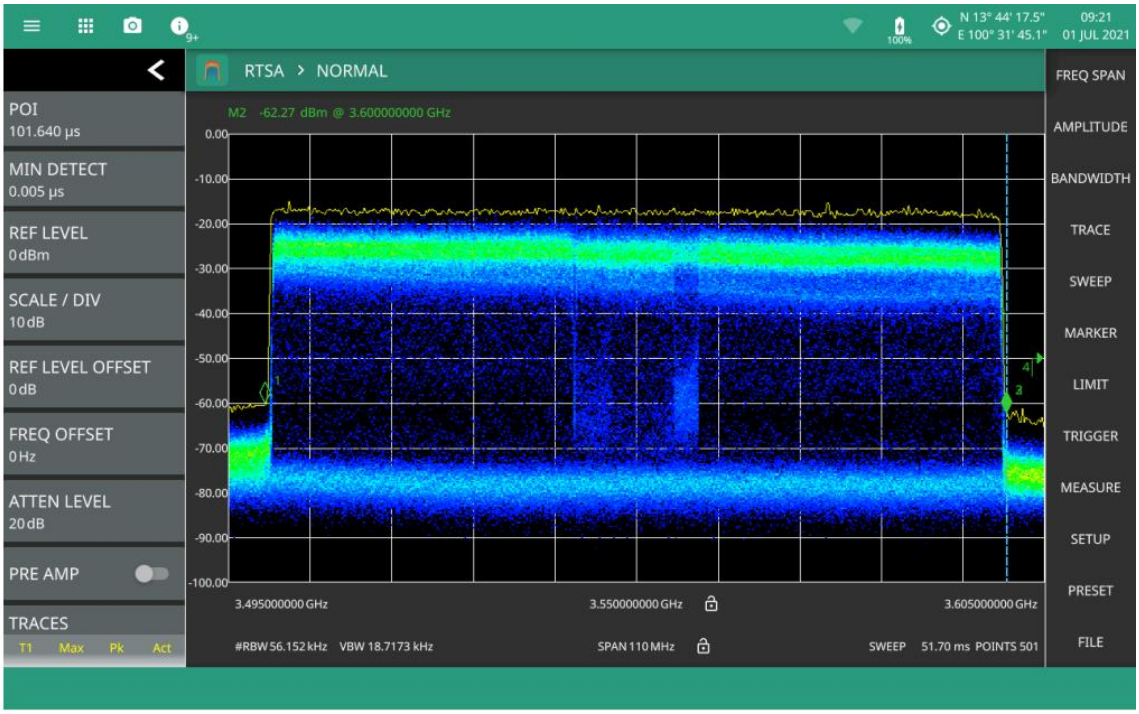
4.1.2.Power 200 W (Non-Real Time Spectrum)



Anritsu MS2090A SN: 2019021 SW Package: V2021.5.1
Options: 0024,0031,0089,0090,0104,0124,0125,0128,0199,0400,0407,0421,0431,0444,0445,0732,0883,0888
Date/Time: 01 Jul 2021 09:17:08 +07 GPS: N 13° 44' 17.7"; E 100° 31' 45.1"; 25.6 m / 84.0 ft

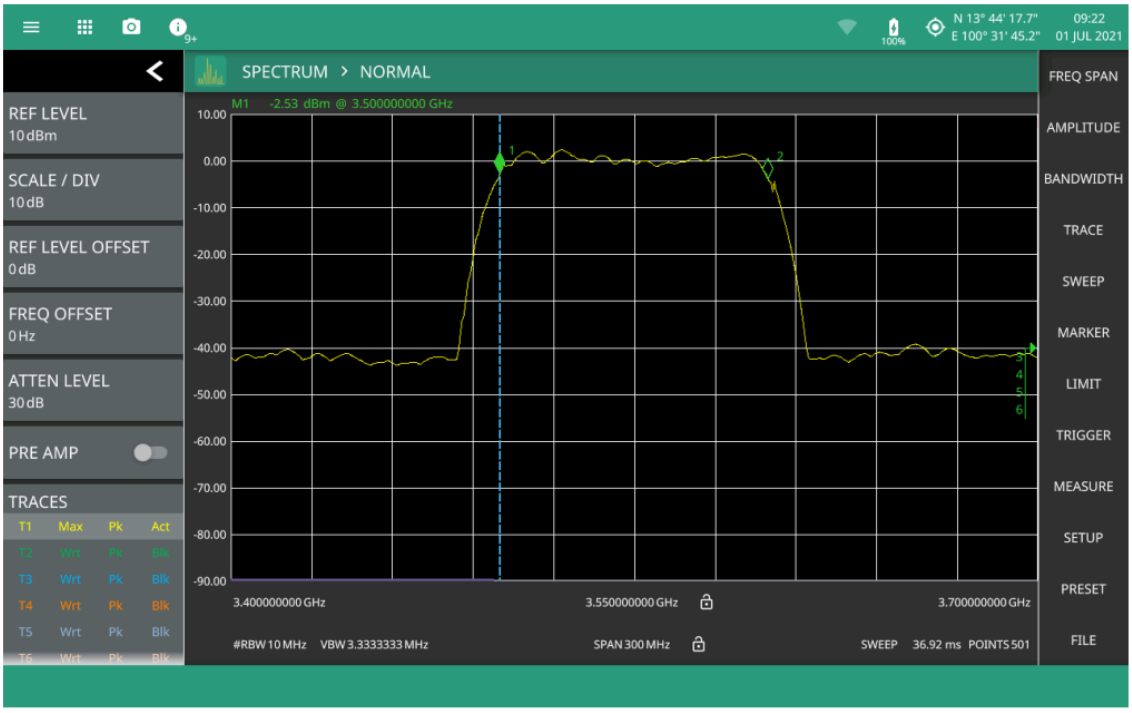
4.2. กรณีที่ 2 ความถี่ 3500 – 3600 MHz

4.2.1.Power 200 W (Real Time Spectrum)



Anritsu MS2090A SN: 2019021 SW Package: V2021.5.1
Options: 0024,0031,0089,0090,0104,0124,0125,0128,0199,0400,0407,0421,0431,0444,0445,0732,0883,0888
Date/Time: 01 Jul 2021 09:21:35 +07 GPS: N 13° 44' 17.5"; E 100° 31' 45.1"; 29.3 m / 96.1 ft

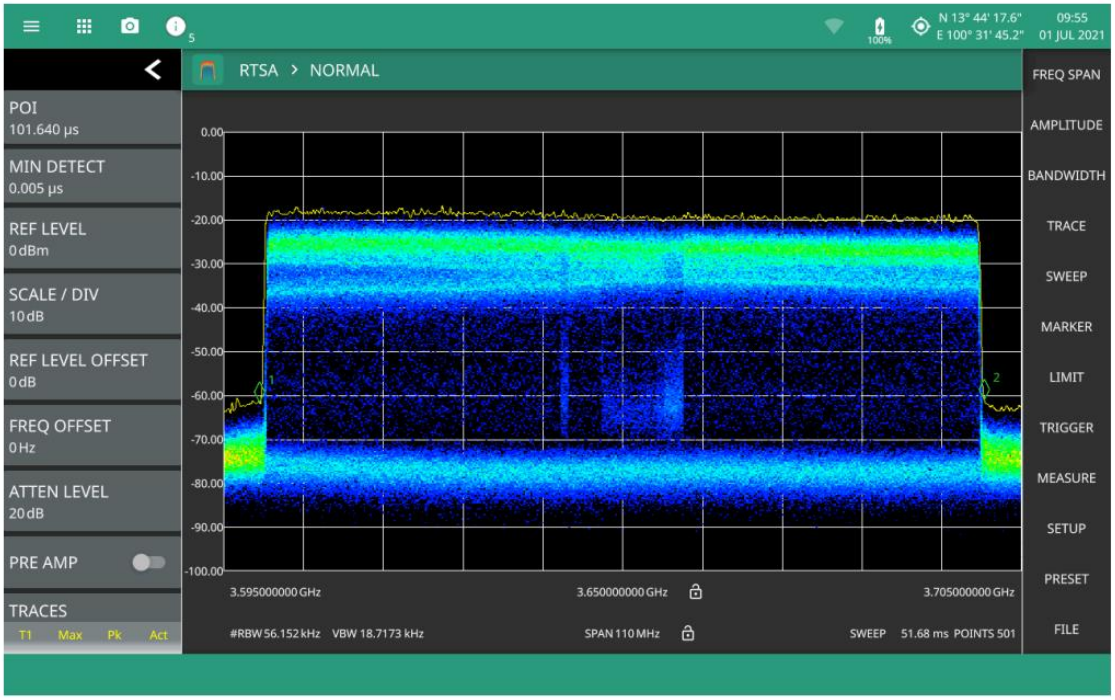
4.2.2.Power 200 W (Non-Real Time Spectrum)



Anritsu MS2090A SN: 2019021 SW Package: V2021.5.1
Options: 0024,0031,0089,0090,0104,0124,0125,0128,0199,0400,0407,0421,0431,0444,0445,0732,0883,0888
Date/Time: 01 Jul 2021 09:22:54 +07 GPS: N 13° 44' 17.7"; E 100° 31' 45.2"; 29.2 m / 95.8 ft

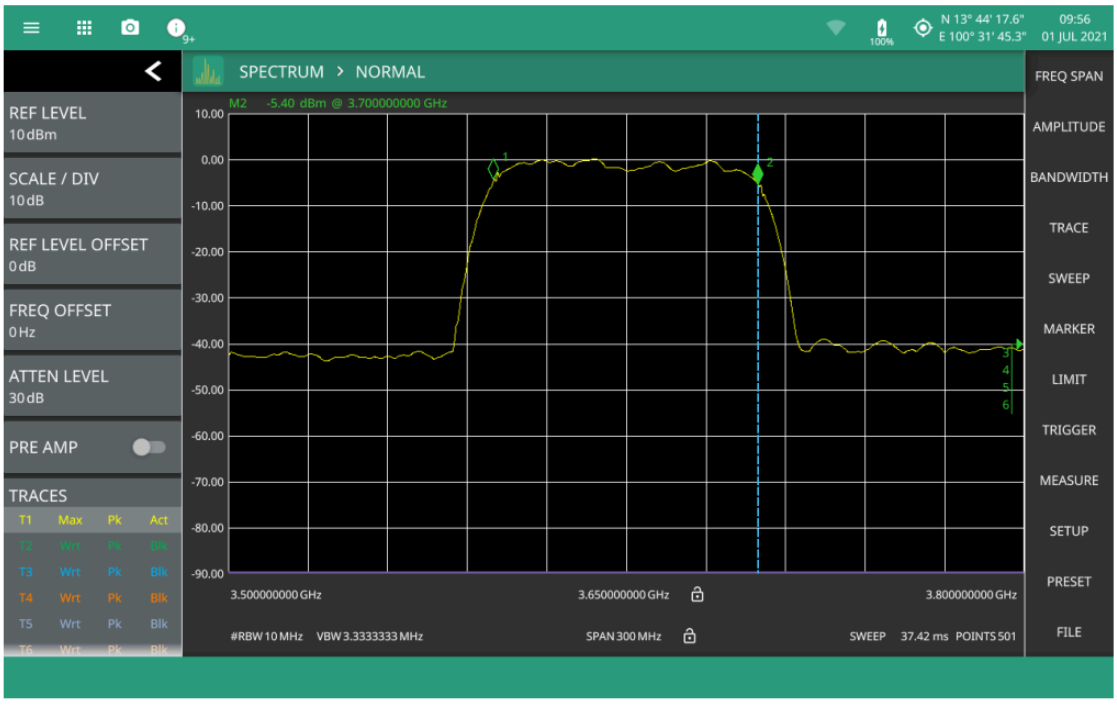
4.3. กรณีที่ 3 ความถี่ 3600 – 3700 MHz

4.3.1.Power 200 W (Real Time Spectrum)



Anritsu MS2090A SN: 2019021 SW Package: V2021.5.1
Options: 0024,0031,0089,0090,0104,0124,0125,0128,0199,0400,0407,0421,0431,0444,0445,0732,0883,0888
Date/Time: 01 Jul 2021 09:56:00 +07 GPS: N 13° 44' 17.6"; E 100° 31' 45.2"; 29.5 m / 96.8 ft

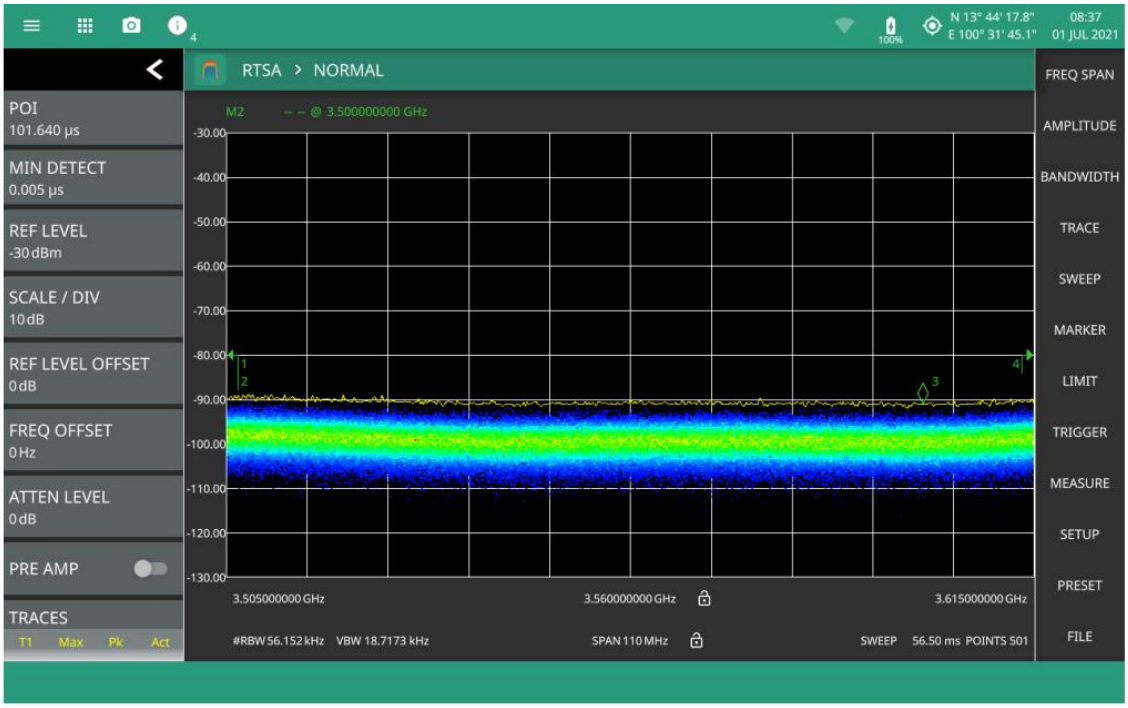
4.3.2.Power 200 W (Non-Real Time Spectrum)



Anritsu MS2090A SN: 2019021 SW Package: V2021.5.1
Options: 0024,0031,0089,0090,0104,0124,0125,0128,0199,0400,0407,0421,0431,0444,0445,0732,0883,0888
Date/Time: 01 Jul 2021 09:57:07 +07 GPS: N 13° 44' 17.6"; E 100° 31' 45.3"; 30.3 m / 99.4 ft

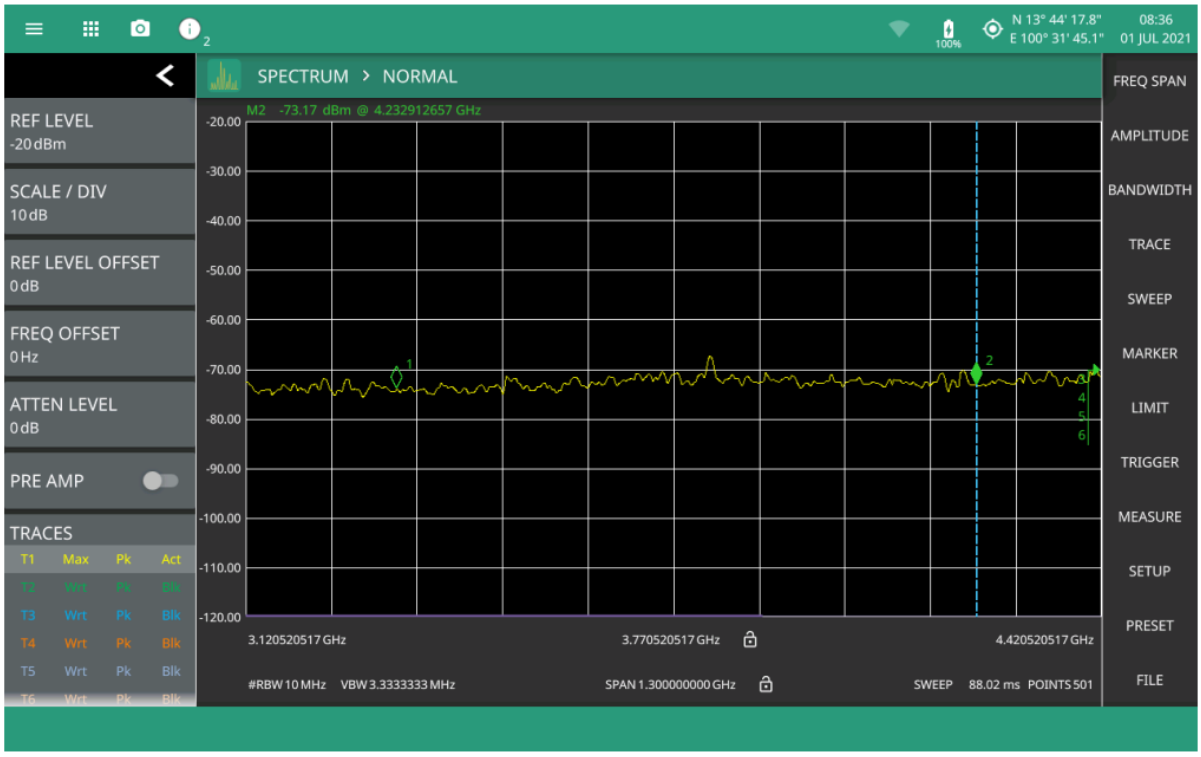
4.4. Noise Floor

4.4.1.Real Time Spectrum



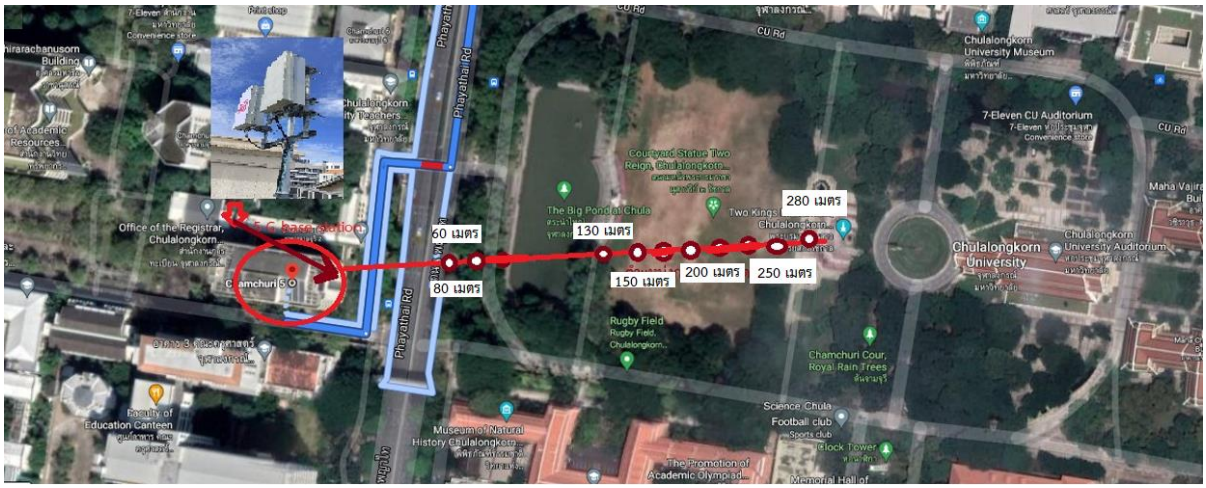
Anritsu MS2090A SN: 2019021 SW Package: V2021.5.1
Options: 0024,0031,0089,0090,0104,0124,0125,0128,0199,0400,0407,0421,0431,0444,0445,0732,0883,0888
Date/Time: 01 Jul 2021 08:38:01 +07 GPS: N 13° 44' 17.8"; E 100° 31' 45.1"; 27.1 m / 88.9 ft

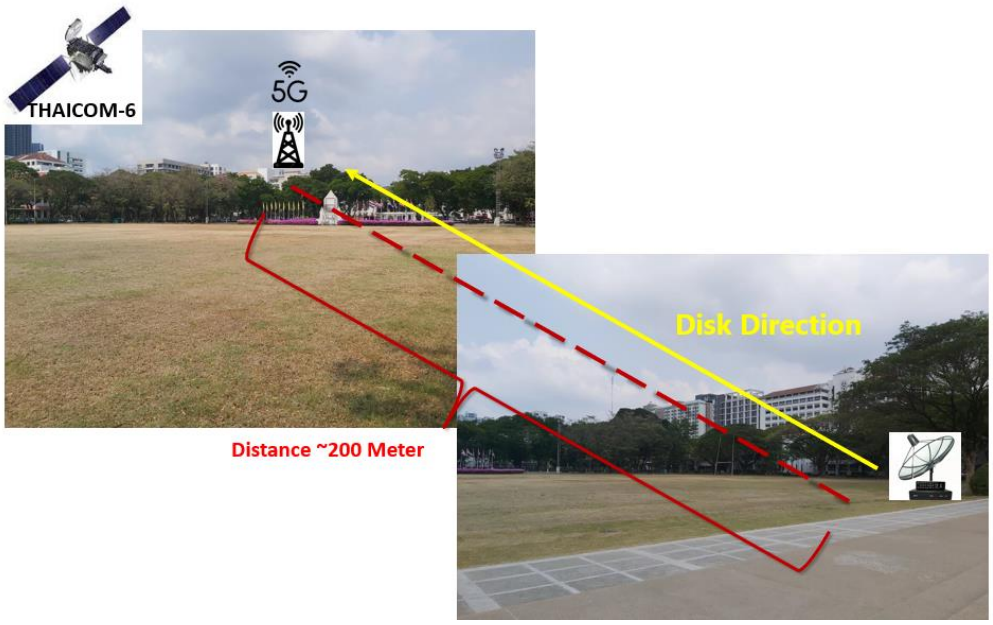
4.4.2.Non-Real Time Spectrum



Anritsu MS2090A SN: 2019021 SW Package: V2021.5.1
Options: 0024,0031,0089,0090,0104,0124,0125,0128,0199,0400,0407,0421,0431,0444,0445,0732,0883,0888
Date/Time: 01 Jul 2021 08:36:55 +07 GPS: N 13° 44' 17.8"; E 100° 31' 45.1"; 27.2 m / 89.2 ft

5. ตั้งจานรับดาวเทียมในบริเวณใกล้เคียง โดยให้จานนั้นหันหัวไปในทิศทางเดียวกับสถานีฐาน 5G มากที่สุด โดยมีการวางตำแหน่งตามระยะทางซึ่งมีค่าเป็น 60, 80, 130 150 200 250 และ 280 เมตร โดยร้องขอให้บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (ไอเดียแซท) บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด บริษัท อินโฟแซท จำกัด และบริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด เข้าร่วมทดสอบ





รูป 71 การวางตำแหน่งของจานรับดาวเทียมตามระยะทาง

6. ทำการปรับค่ากำลังส่งของสัญญาณ 5G ซึ่งมีค่า 1, 10, 50, 100 และ 200 W ตามลำดับในแต่ละระยะทาง

7. ทำการเปลี่ยนโมเดลของ LBN, LBN_F และ BPF ที่มาจาก vendor ต่าง ๆ

รูป 72 การวางตำแหน่งของจานรับดาวเทียมตามระยะทาง

รูป 73 การเข้าร่วมสังเกตุการณ์การวัดโดยทุกภาคส่วน

8. ทำการวัดสัญญาณใช้เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียมตราอักษร Promax ที่มีความสามารถในการตรวจวิเคราะห์สัญญาณโทรทัศน์ และทีวีดาวเทียม แล้วทำการบันทึกผล คือ คุณภาพของสัญญาณ TV (%), C/N (dB), BER, MER, PWR และรุ่นและตราอักษรของ LBN, LBN_F และ BPF ที่ใช้ทดสอบ

9. ทำการบันทึกค่าที่ได้เป็นแบบแอนะล็อกโดยใช้สายตาวิเคราะห์ว่าภาพสัญญาณทีวีที่รับได้มีลักษณะอย่างไรเช่น Macro blocking , Blackout, Freeze และ Audio Silence ตามลำดับ

5.2.5 สมมติฐานในการทดสอบ

1) ในการทดสอบครั้งนี้ คณะวิจัยจะยึดกรณีการทดสอบในสภาวะที่แย่ที่สุดเป็นหลัก กล่าวคือ ในการรับสัญญาณของดาวเทียมนั้น หน้าจานรับสัญญาณดาวเทียมต้องหันไปในทิศทางเดียวกับสายอากาศของสถานีฐาน 5G ด้วย ทำให้ได้แนวในการขยับจานรับดาวเทียมในแนวเดียวเท่านั้น เพื่อคงรักษามุมของจานรับดาวเทียมให้หันไปทางเดียวกับทั้งดาวเทียมและสถานีฐาน 5G

2) ในการทดสอบ คณะวิจัยได้กำหนดให้กำลังคลื่นที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศออกมาทุกทิศทาง ด้วยกำลังส่งสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้

3) กำลังส่งของสถานีฐานจะต้องถูกปรับให้มีกำลังส่งสูงสุดคือที่ 200 วัตต์เพื่อให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง ที่ปกติจะใช้กำลังส่งสูงสุด

4) ในการทดสอบนี้จานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ถูกใช้โดยถือว่าเป็นตัวแทนของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตรและจาน VSAT ด้วย เนื่องจากในการรับสัญญาณดาวเทียม สัญญาณรบกวน (Noise) จาก IMT จะถูกขยายโดยอัตราขยาย (Gain) ของจานเป็นอัตราส่วนเท่ากัน ทำให้อัตราขยายของจานไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณตามทฤษฎี

5) ในการทดสอบครั้งนี้ ถือว่าไม่มีสัญญาณรบกวนอื่นใดจากภายนอก

5.2.6 ข้อจำกัดในการทดสอบ

1) พื้นที่ทดสอบจำเป็นต้องได้รับอนุญาตจาก กสทช. โดยได้พิจารณาเลือกใช้พื้นที่ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เนื่องจากพื้นที่จุฬาฯ มีความเหมาะสมด้านสถานที่และโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระยะการวัดพื้นที่ของการทดสอบ TVRO การขออนุญาตใช้ Radio Unit หรือการใช้ Dark fiber เพื่อเชื่อมต่อไปยัง Sandbox ของ สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล (DEPA) เพื่อเชื่อมกับระบบ Core Network ของ Huawei ในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งมีระยะการทดสอบใกล้สุดอยู่ที่ 30 เมตรและระยะไกลสุด 280 เมตรเท่านั้น เนื่องจากหากขยับใกล้กว่า 30 เมตรจะติดกับขอบรั้วของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหากขยับออกมากกว่านั้นจะติดกับหอประชุมจุฬา

2) สถานที่ทดสอบที่ใช้มีข้อจำกัด ในบางระยะจะมีอุปสรรค เช่น สระบัวขวางอยู่ ทำให้การทดสอบระยะห่างระหว่าง 130 เมตรและ 80 เมตรไม่สามารถกระทำได้

3) สถานที่ทดสอบมีตึกสูงขนาดใหญ่บดบังแนวการรับสัญญาณระหว่างจานรับดาวเทียม และที่ระยะระหว่าง 30 เมตรและ 80 เมตรมีต้นไม้ใหญ่ล้อมรอบ ทำให้อาจเกิดการลดทอนของสัญญาณมากขึ้นและบางระยะไม่เป็นไปตามทฤษฎีการลดทอนกำลังของคลื่นตามระยะทาง

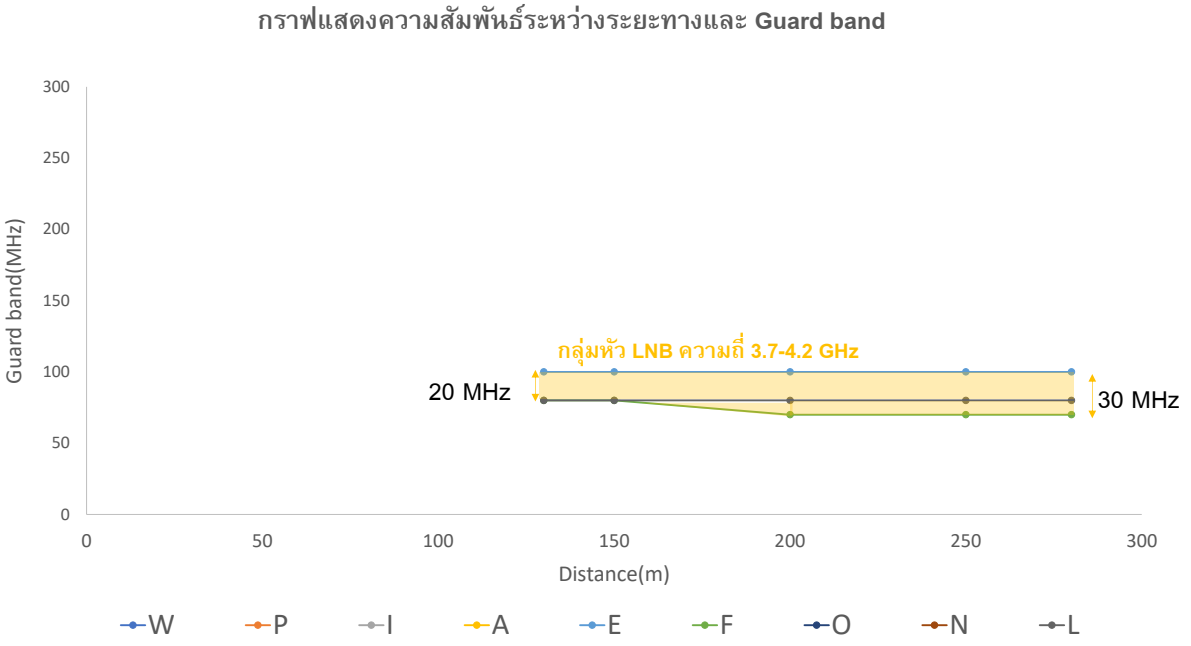
4) อุปกรณ์สถานีฐาน 5G กรณีอยู่ภายในอาคารได้รับการสนับสนุนจากบริษัท Huawei มีเพียงแค่รุ่นเดียวเท่านั้น ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์รุ่นอื่นอาจได้ผลการทดสอบที่แตกต่างออกไป

5.2.7 ผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบและบันทึกผล โดยจะดำเนินการทดสอบตามกรณีทดสอบกรณี Outdoor นอกจากนั้น เนื่องจากโมเดลของอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่จะใช้ทดสอบการวัดสัญญาณของภาครับดาวเทียม ดังนั้นโมเดลของอุปกรณ์ LNB, LNB_F และ BPF จะถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของตัวอุปกรณ์ **ซึ่งผลการทดสอบจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อนี้เช่นกัน ค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของอุปกรณ์สามารถนำมาใช้ในการหาค่าความสัมพันธ์อื่น ๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างระยะและ Guard band ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานส่งสัญญาณ 5G และ Guard Band อื่นๆ**

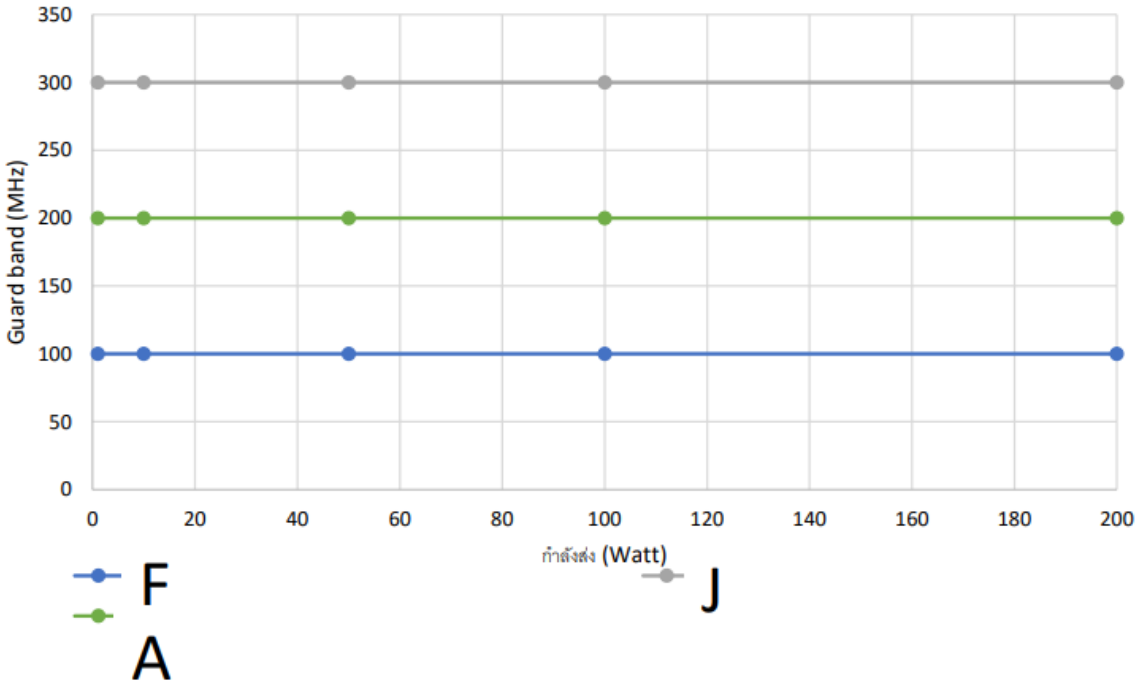
ซึ่งในการวัดครั้งนี้ **คณะวิจัยพบว่าเมื่อคณะวิจัยเปิดสัญญาณของสถานีฐาน 5G ให้มีกำลังส่ง 1 วัตต์ขึ้นไปที่ระยะ 280 เมตร จะทำให้หัวรับ LNB ปกติไม่สามารถใช้งานได้เลย เนื่องจากสัญญาณรบกวนจะเข้าไปสู่หัวรับ LNB ชนิดที่ไม่มีตัวกรองสัญญาณ 5G** ถึงแม้ว่าคณะวิจัยจะถอยร่นระยะของจานรับดาวเทียมไปจนสุดระยะที่ 280 เมตรก็ตาม

ดังนั้นผลการวัดจึงเน้นที่การวัดหัวรับ LNB_F ประเภทต่างๆ เช่น 3.7 ถึง 4.2 GHz แทนดังแสดงในรูปต่อไปนี้ ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของหัวรับ LNB_F และ LNB_F+BPF ที่ค่าความถี่ต่างๆ เทียบกับระยะทางสั้นสุด (Protection distance) ระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียม ที่ยังทำให้ระบบทีวีดาวเทียม ยังสามารถรับสัญญาณได้โดยไม่มีอาการ Macro blocking , Blackout, Freeze และ Audio Silence ซึ่งผลในตารางนี้จะเน้นที่ค่าแสดงผลแบบแอนะล็อก ซึ่งเกิดจากการบันทึกผลด้วยสายตาว่า สัญญาณภาพที่รับได้ไม่มีการผิดเพี้ยนเลยเป็นเวลาอย่างน้อย 30 วินาที

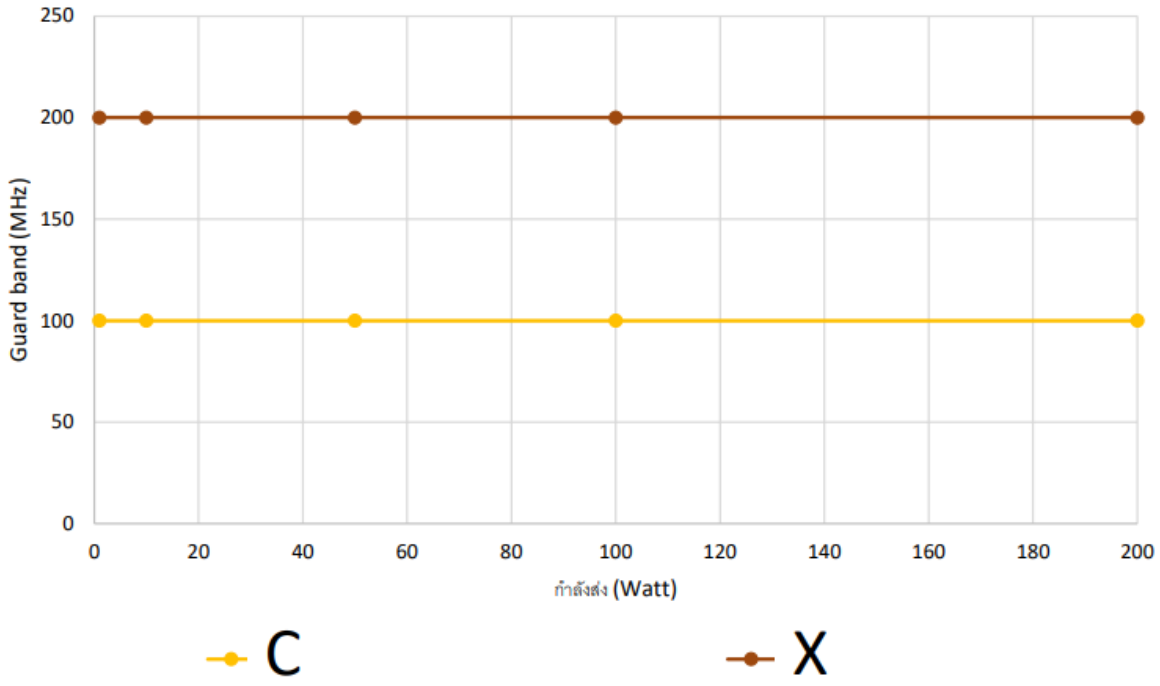


รูป 74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะและ Guard band

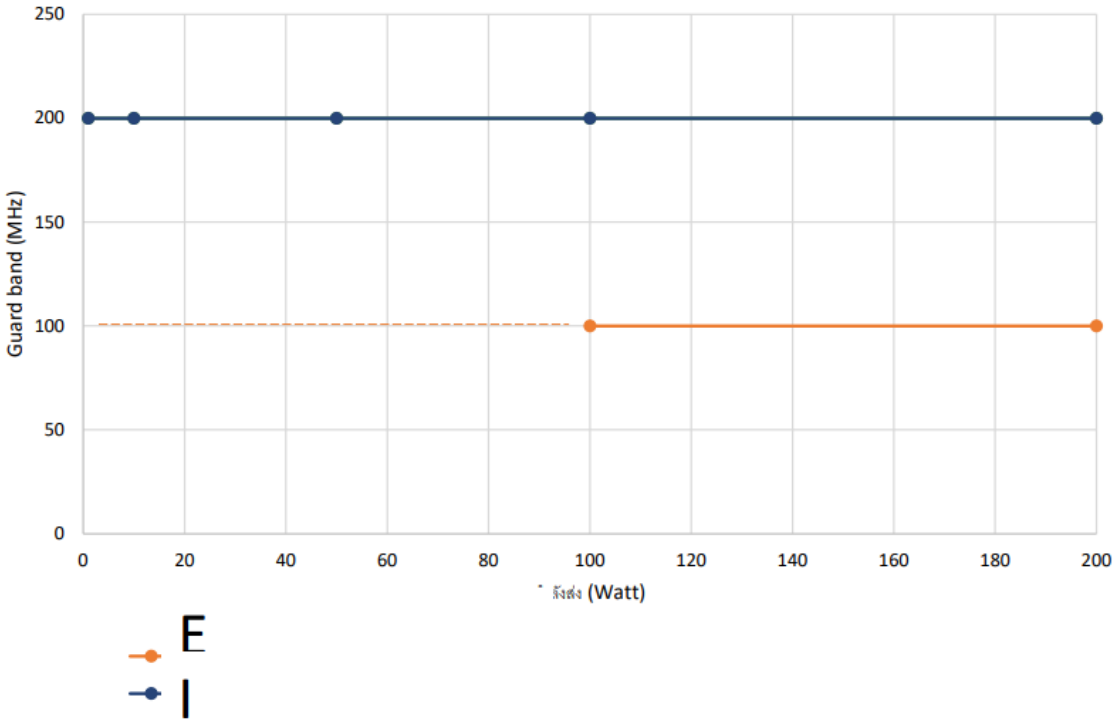
รูป 74 แสดงให้เห็นถึงค่าระยะทางสั้นสุด (Protection distance) ระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียม ที่ยังทำให้ระบบทีวีดาวเทียม ยังสามารถรับสัญญาณได้โดยไม่มีอาการ Macro blocking , Blackout, Freeze และ Audio Silence ซึ่งจากการวัด **คณะวิจัยสามารถสรุปได้ว่าสำหรับหัวรับ LNB_F ความถี่ 3.7 ถึง 4.2 GHz นั้นต้องการความถี่ป้องกัน (Guard band) อยู่ที่อย่างน้อย 100 เม็กกะเฮิรตซ์ โดยระยะทางสั้นที่สามารถใช้งานได้คือที่ 130 เมตร** ซึ่งค่า Guard band นี้สามารถลดลงได้ หากใช้หัวรับหรือ LNB ที่ดีขึ้นโดยอาจจะสามารถลดการใช้ Guard band ลงได้ 20 เมกกะเฮิตซ์ที่ระยะ 130 เมตร และสามารถลดการใช้ Guard band ลงได้ 30 เมกกะเฮิตซ์ที่ระยะ 200 เมตร



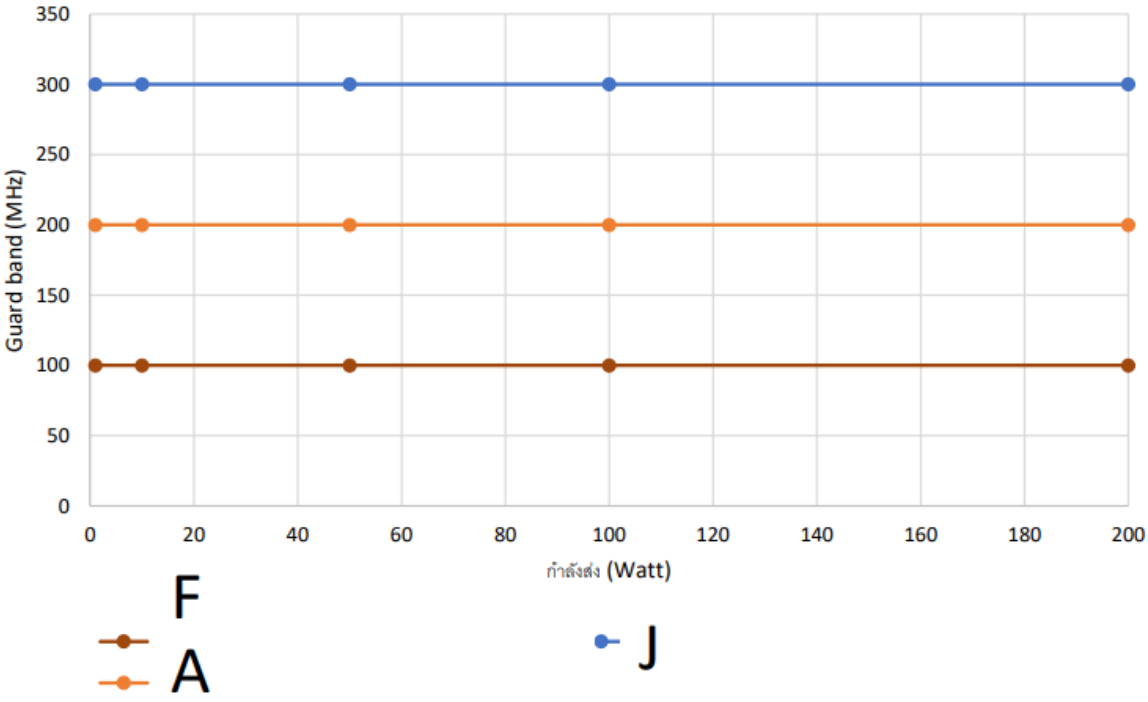
รูป 75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานส่งสัญญาณ 5G และ Guard Band ที่ระยะ 280 เมตร



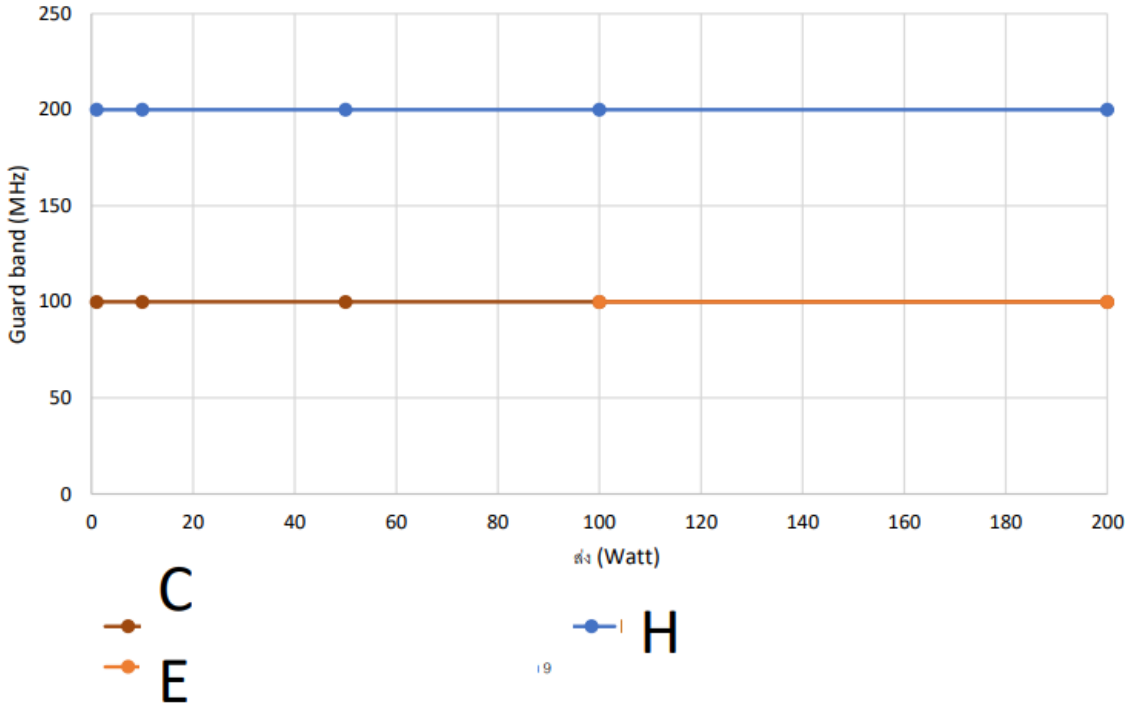
รูป 76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานส่งสัญญาณ 5G และ Guard Band ที่ระยะ 280 เมตร



รูป 77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานส่งสัญญาณ 5G และ Guard Band ที่ระยะ 280 เมตร



รูป 78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานส่งสัญญาณ 5G และ Guard Band ที่ระยะ 250 เมตร

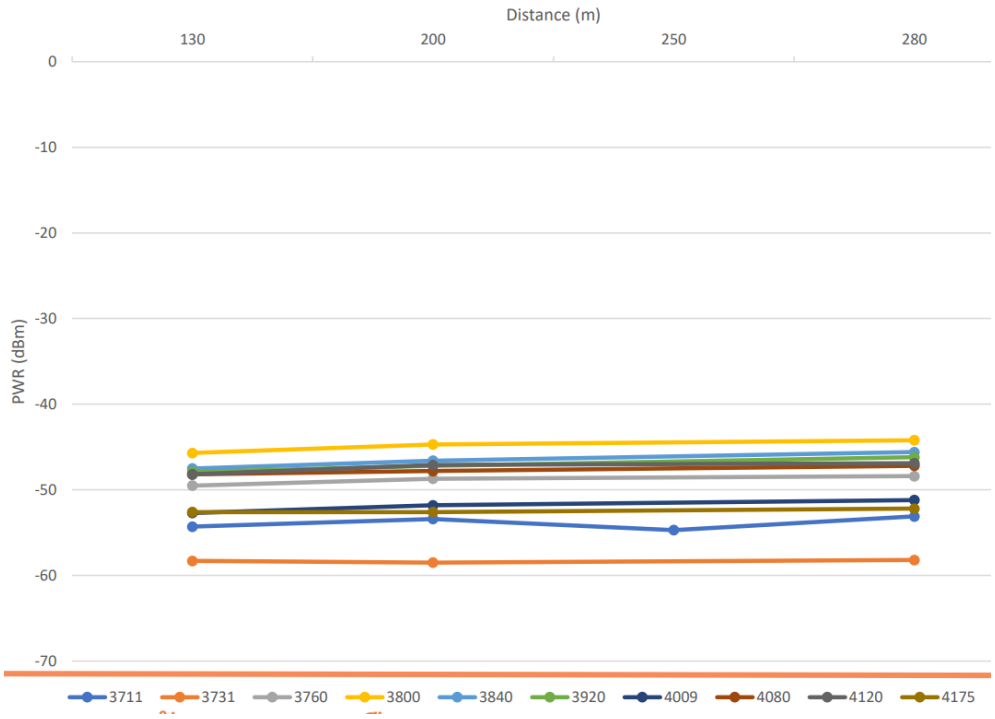


รูป 79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานส่งสัญญาณ 5G และ Guard Band ที่ระยะ 250 เมตร

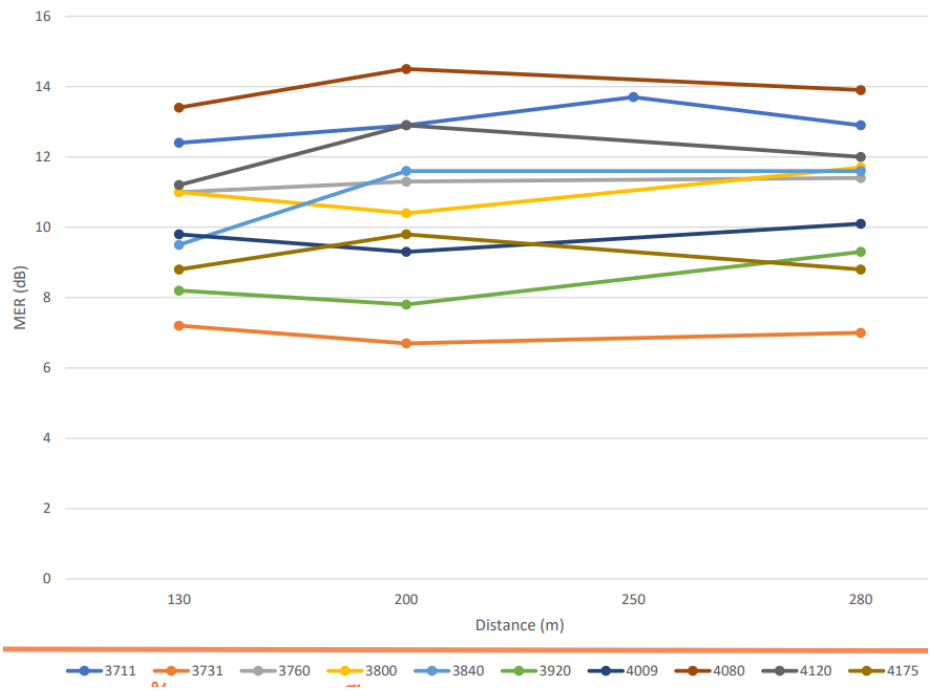
จากรูป 75 ถึง รูป 79 คณะวิจัยพบว่าค่ากำลังส่งไม่ส่งผลกระทบต่อ Guard band มากนัก เนื่องจากไม่ว่าคณะวิจัยจะเพิ่มค่ากำลังส่งไปที่เท่าไรระหว่าง 1 วัตต์ถึง 200 วัตต์ คณะวิจัยพบว่าค่า Guard band ที่ต้องใช้นั้นยังคงที่ สำหรับที่ระยะทดสอบ 200 เมตรและ 280 เมตรตามลำดับ ค่านี้เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า ค่ากำลังส่งมีผลกระทบน้อยกว่าค่าระยะทาง เนื่องจากค่าการลดทอนจากระยะทาง (Path Loss) นั้นจะลดลงตามค่าระยะทางกำลังสอง

สำหรับการทดสอบในกรณี Outdoor จะทำการบันทึกค่า Signal Quality, C/N margin และค่า Bit error rate ของสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมดังต่อไปนี้ เพื่อยืนยันว่าระบบรับสัญญาณดาวเทียมสามารถรับสัญญาณเชิงดิจิทัลได้จริง นอกเหนือจากการดูด้วยสายตาแบบแอนะล็อกก่อนหน้านี้

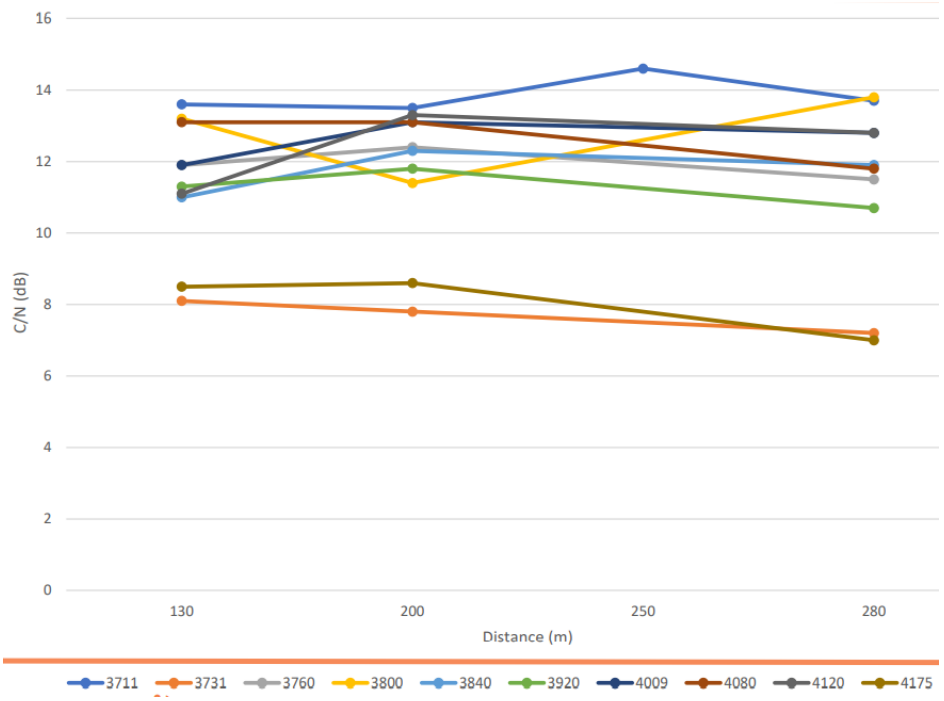
5.2.7.1 ผลการทดสอบการวัดสัญญาณตัวอย่าง LNB 5G Filter รุ่น A 3.7-4.2 GHz ของกรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



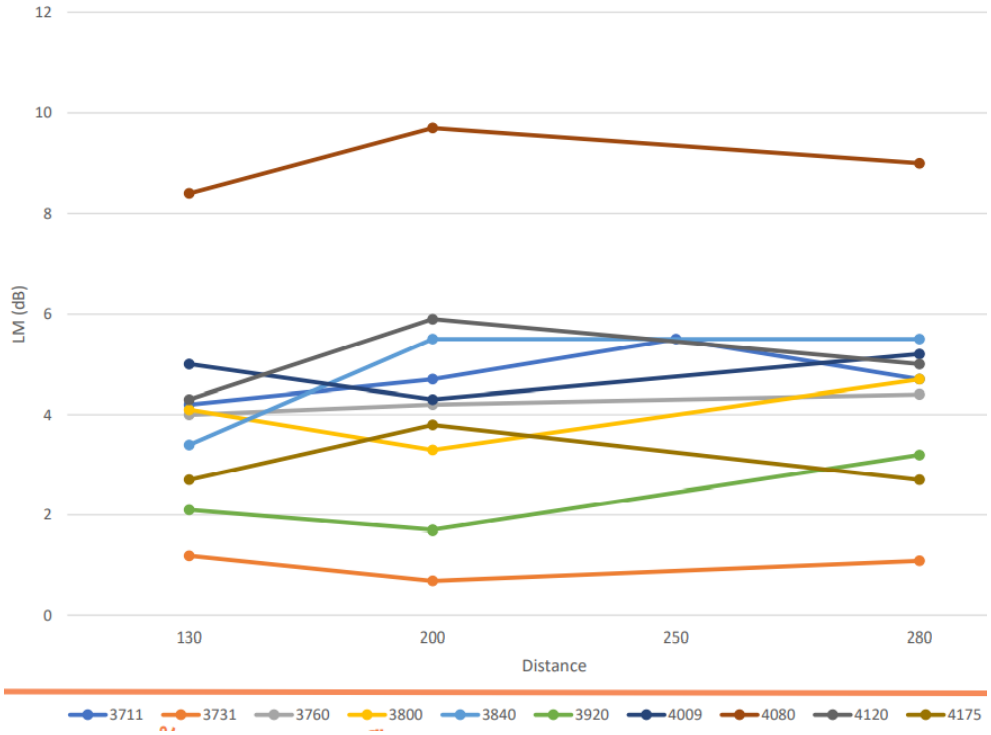
รูป 80 กราฟความสัมพันธ์ PWR กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น A 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



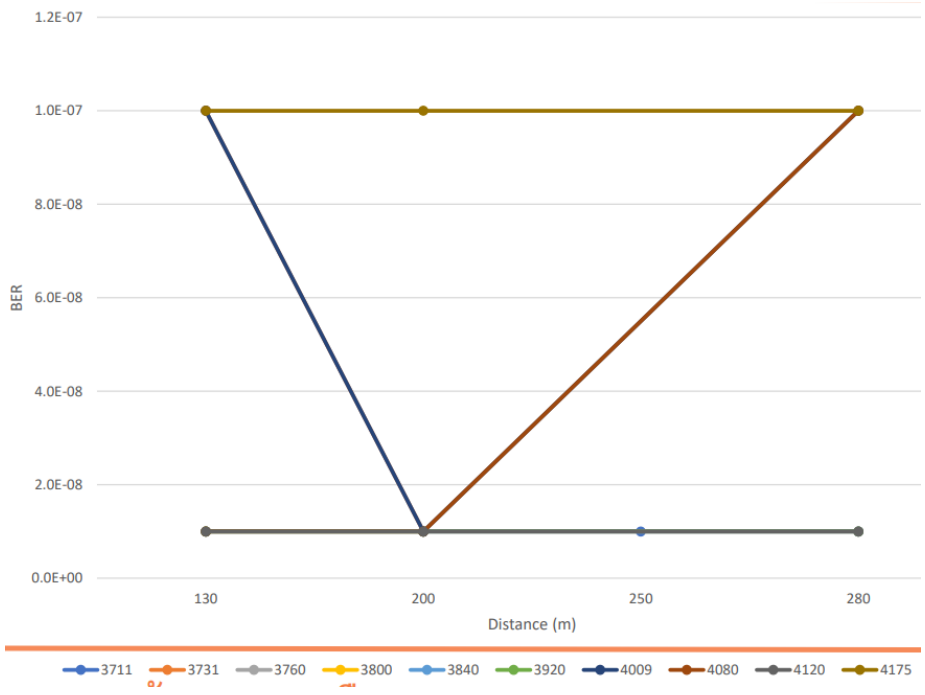
รูป 81 กราฟความสัมพันธ์ MER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น A 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



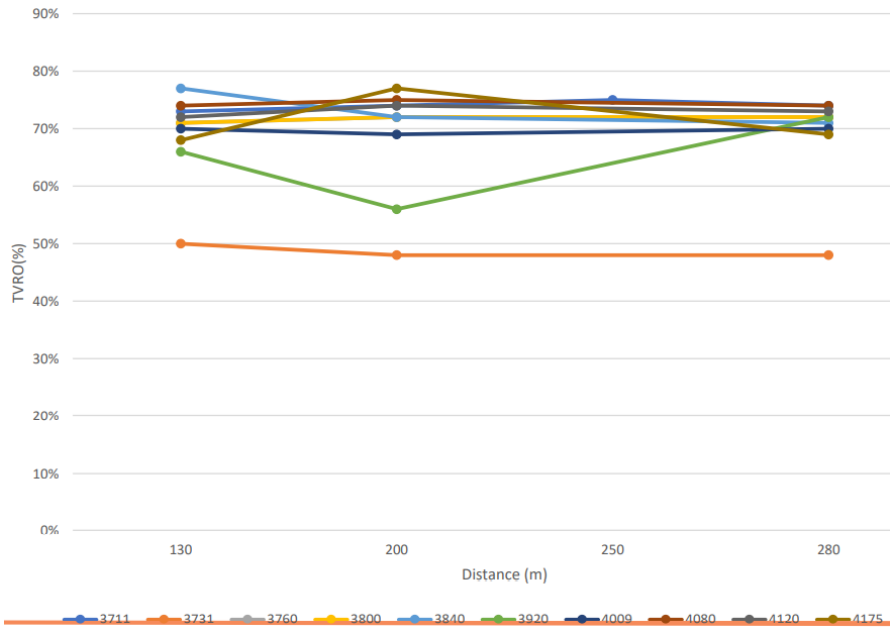
รูป 82 กราฟความสัมพันธ์ C/N กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น A 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



รูป 83 กราฟความสัมพันธ์ LM กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น A 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

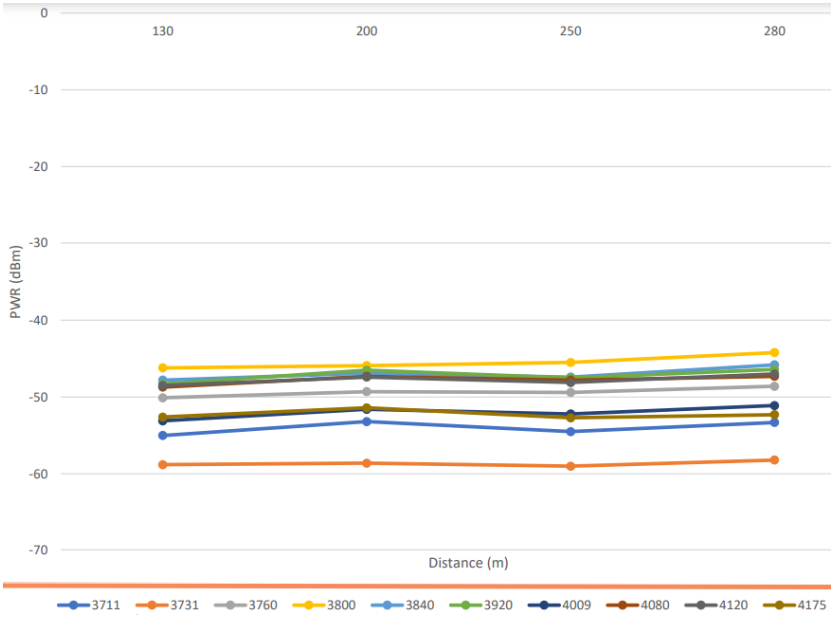


รูป 84 กราฟความสัมพันธ์ BER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น A 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

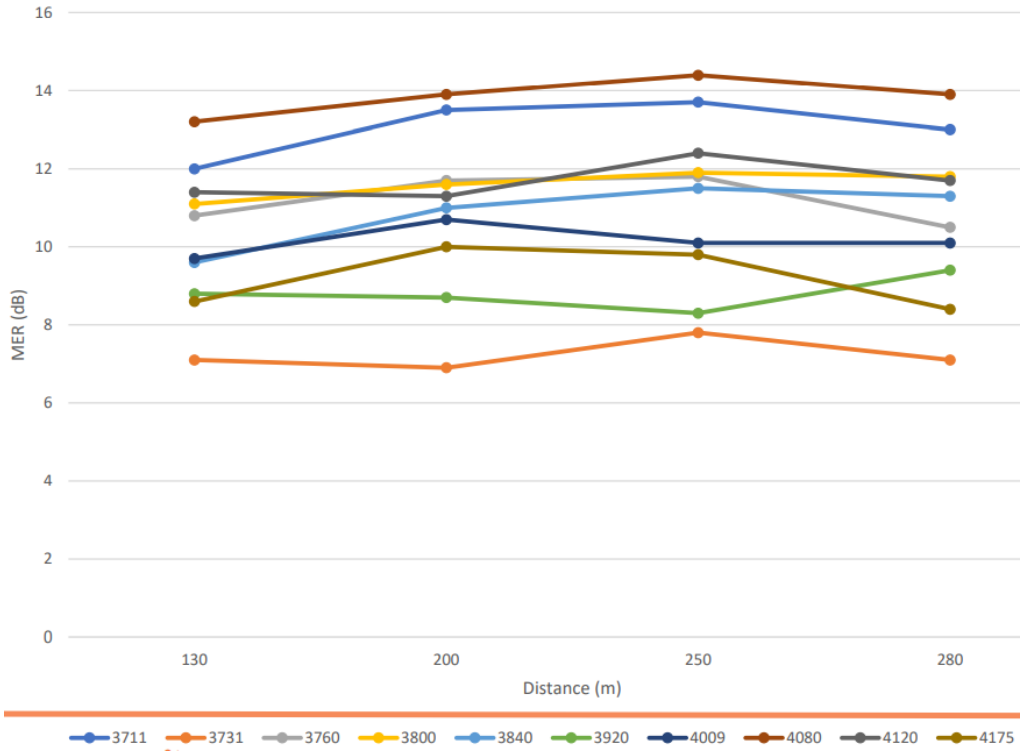


รูป 85 กราฟความสัมพันธ์ TVRO กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น A 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

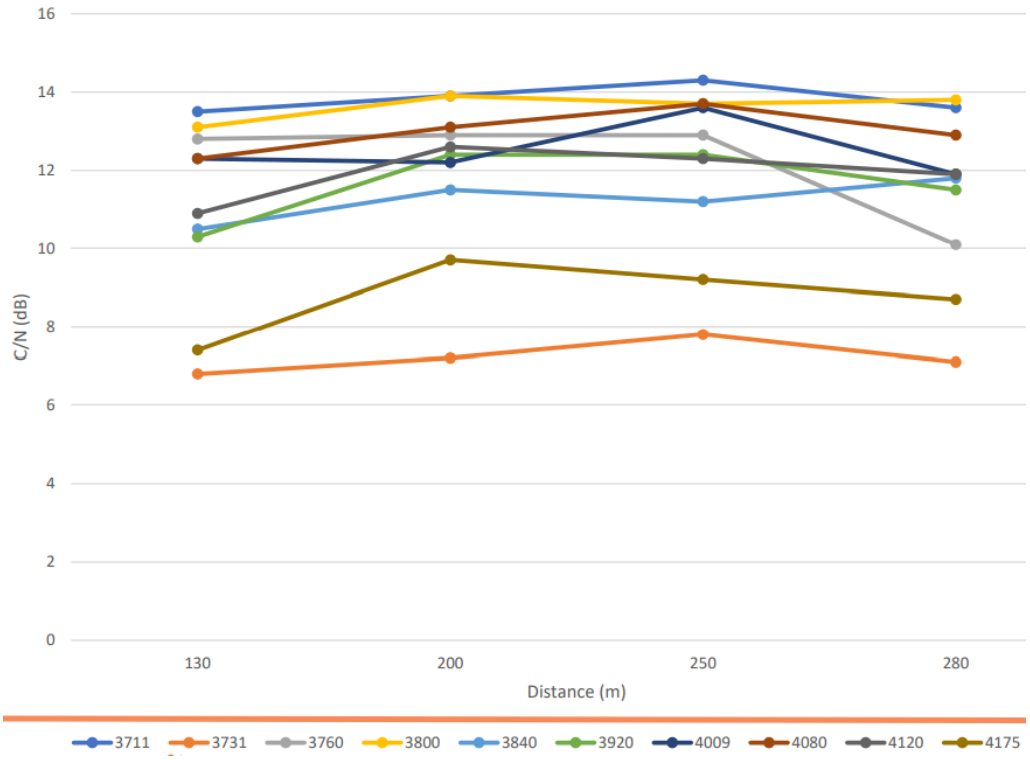
5.2.7.2 ผลการทดสอบการวัดสัญญาณตัวอย่าง LNB 5G Filter รุ่น B 3.7-4.2 GHz ของกรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



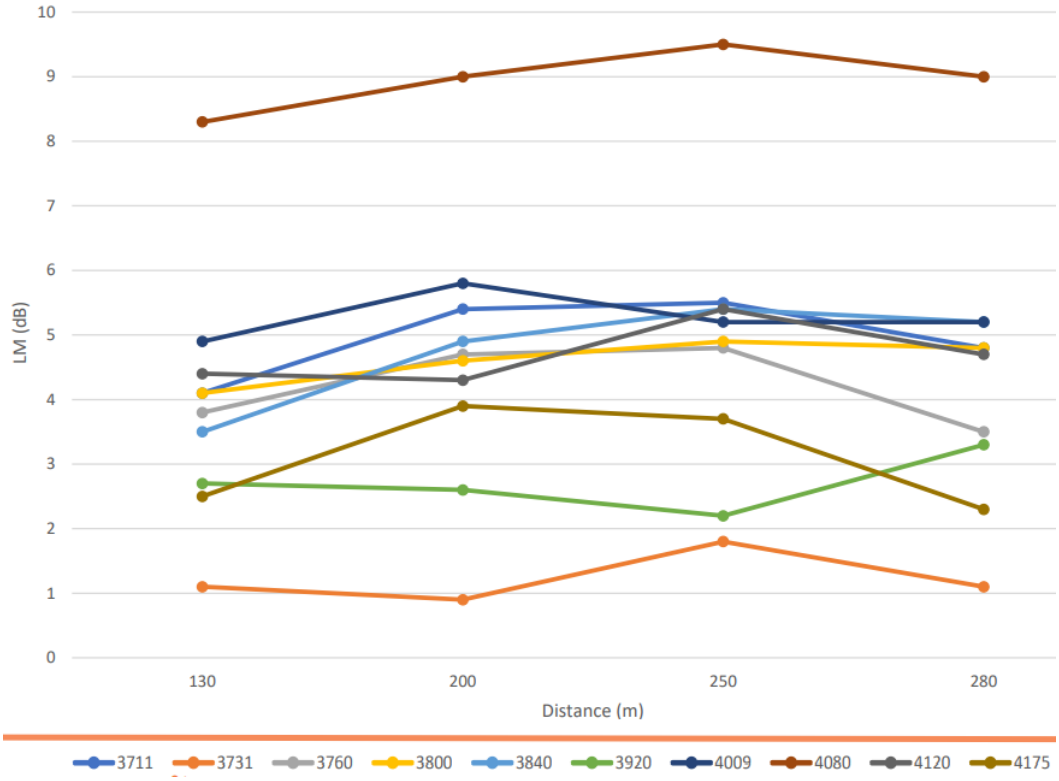
รูป 86 กราฟความสัมพันธ์ PWR กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น B 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



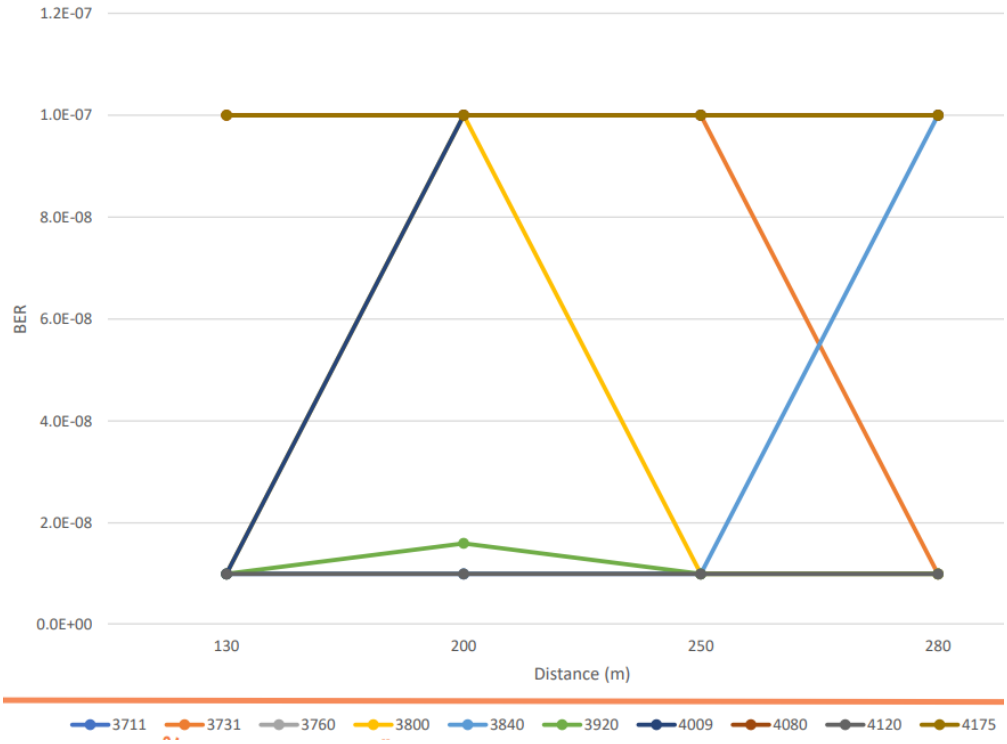
รูป 87 กราฟความสัมพันธ์ MER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น B 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



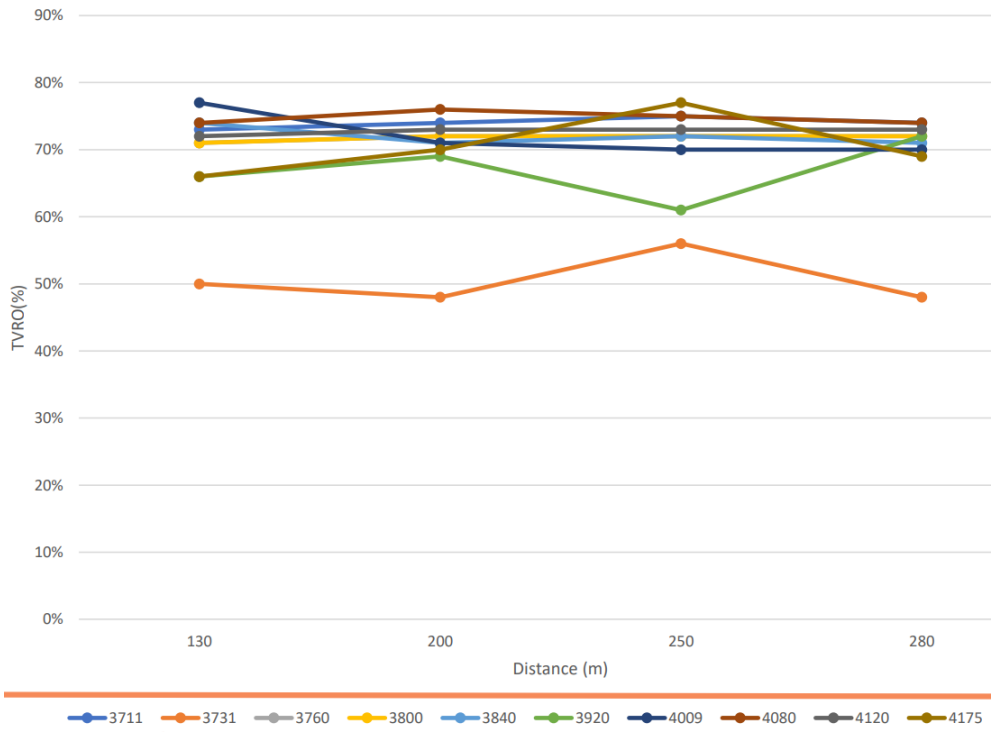
รูป 88 กราฟความสัมพันธ์ C/N กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น B 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



รูป 89 กราฟความสัมพันธ์ LM กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น B 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz

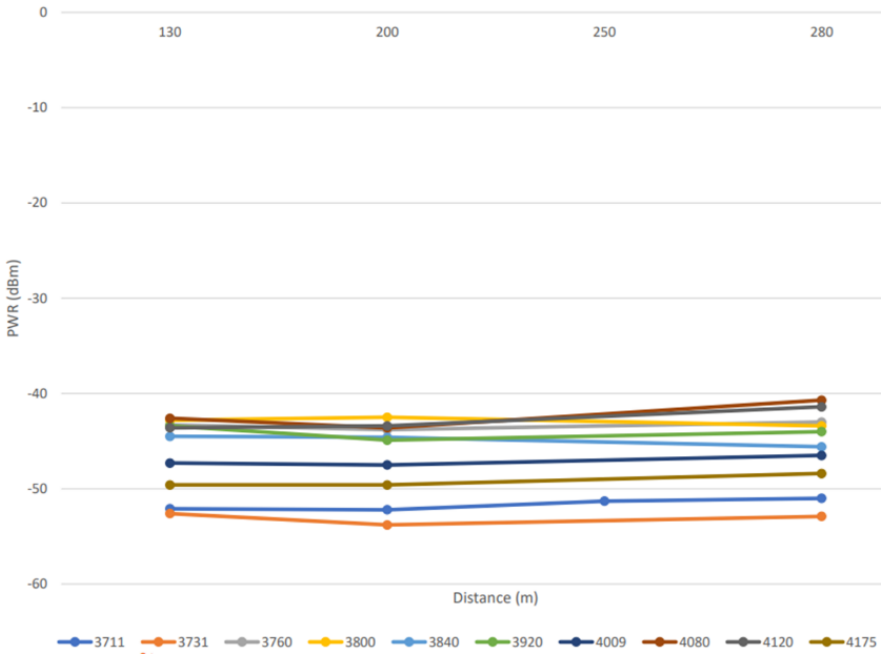


รูป 90 กราฟความสัมพันธ์ BER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น B 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz

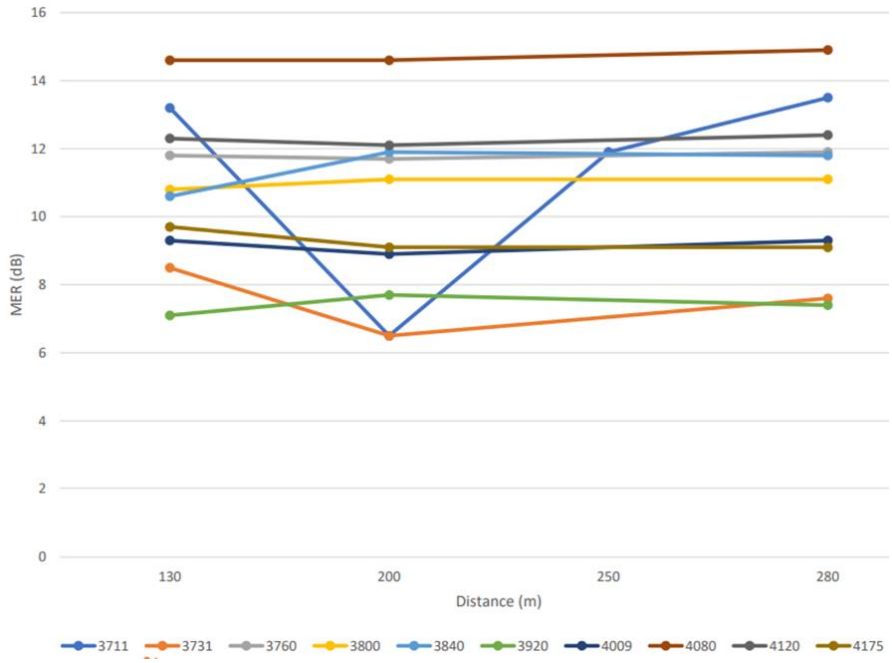


รูป 91 กราฟความสัมพันธ์ TVRO กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น B 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz

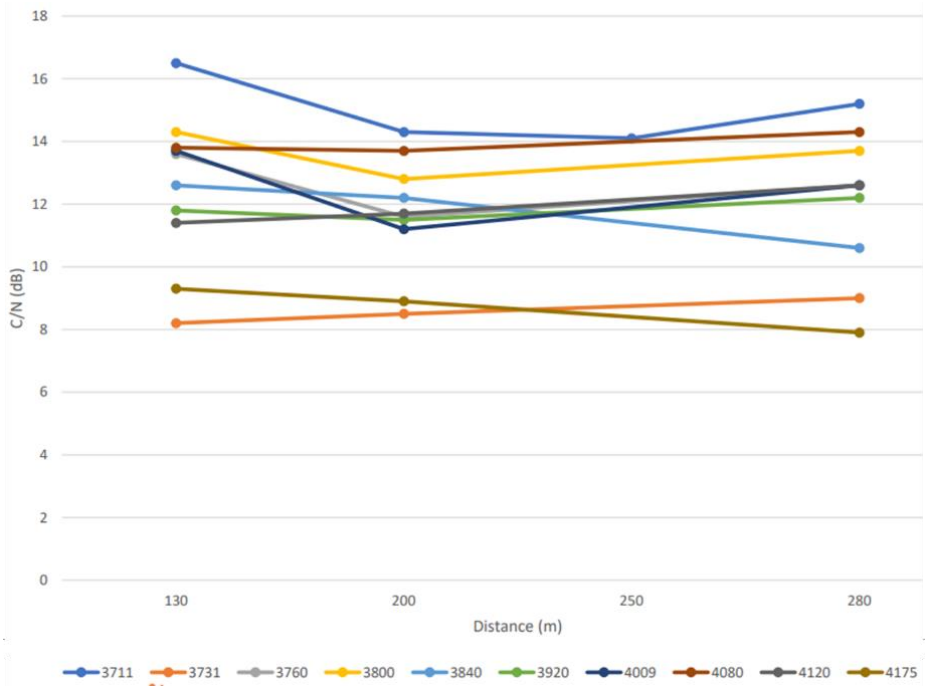
5.2.7.3 ผลการทดสอบการวัดสัญญาณตัวอย่าง LNB 5G Filter รุ่น C 3.7-4.2 GHz ของกรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



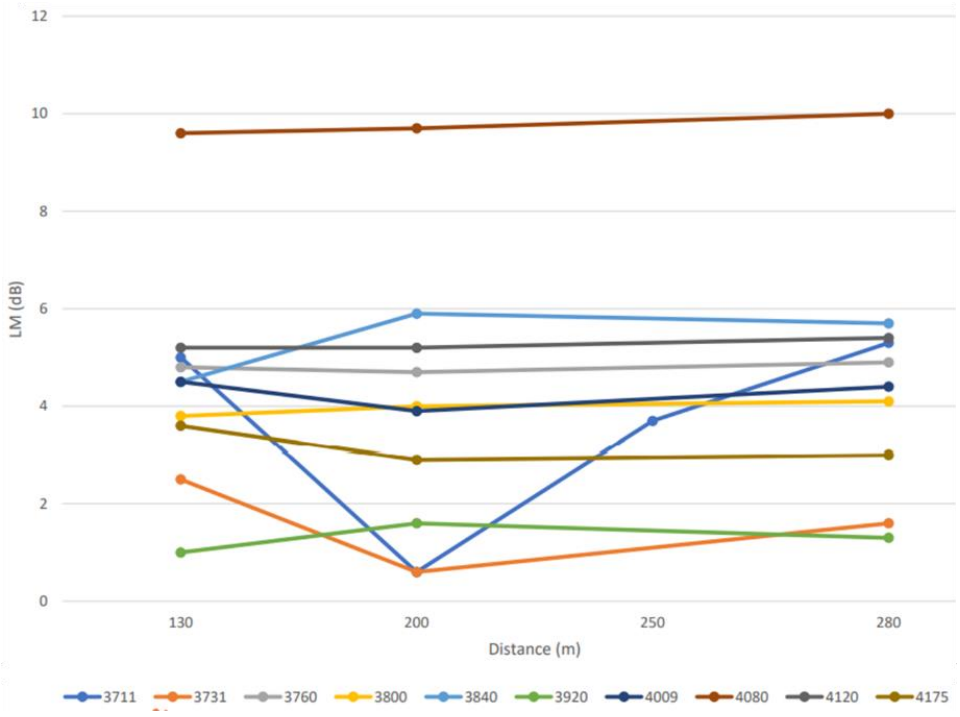
รูป 92 กราฟความสัมพันธ์ PWR กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น C 3.7-4.2 GHzกรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



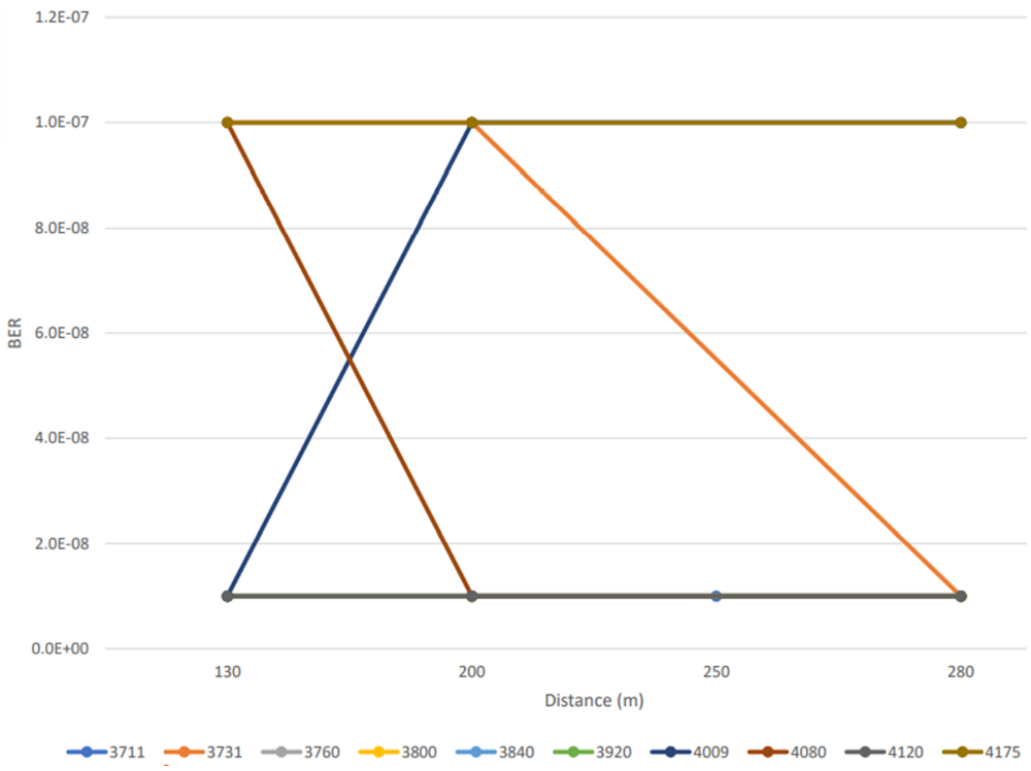
รูป 93 กราฟความสัมพันธ์ MER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น C 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



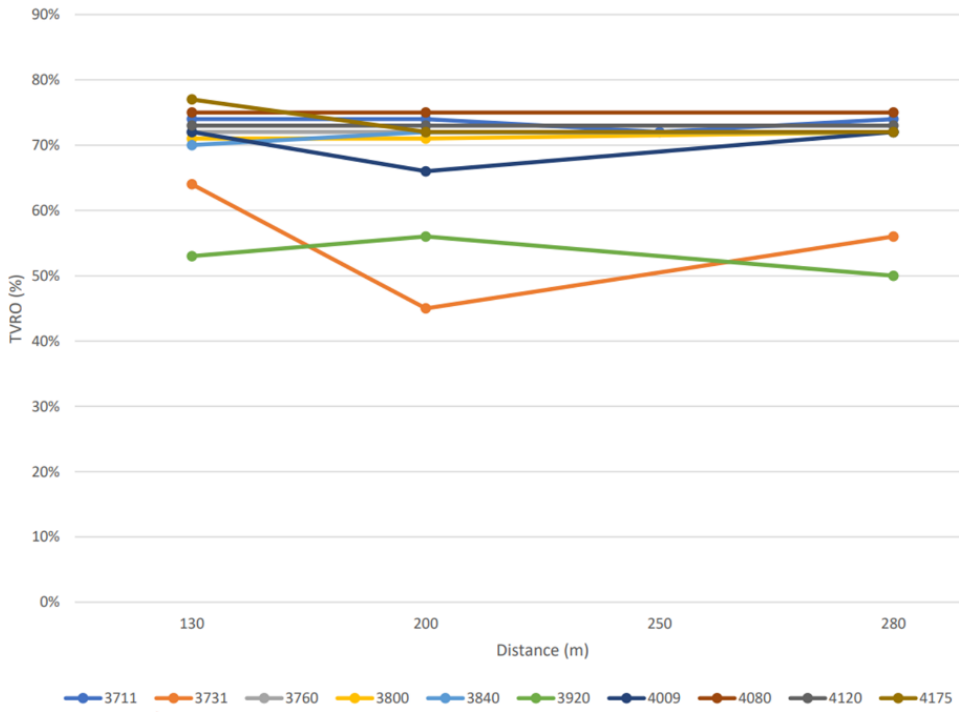
รูป 94 กราฟความสัมพันธ์ C/N กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น C 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



รูป 95 กราฟความสัมพันธ์ LM กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น C 3.7-4.2 GHzกรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

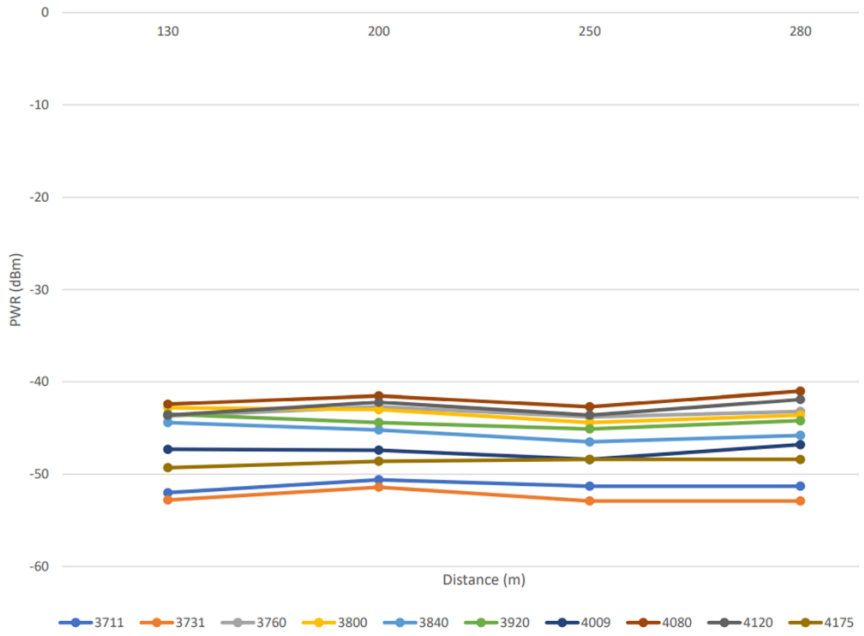


รูป 96 กราฟความสัมพันธ์ BER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น C 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

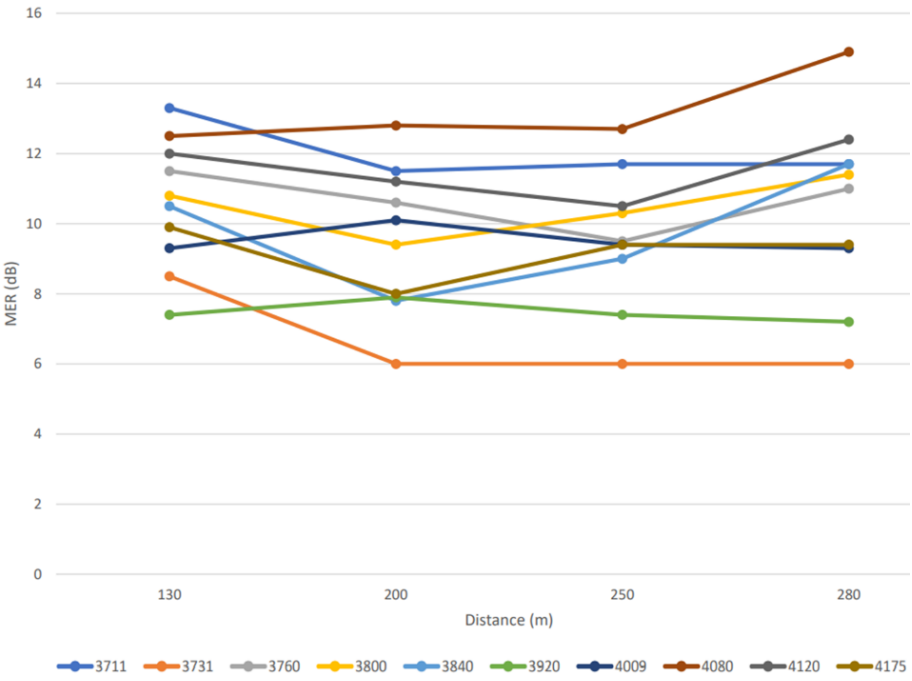


รูป 97 กราฟความสัมพันธ์ TVRO กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น C 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

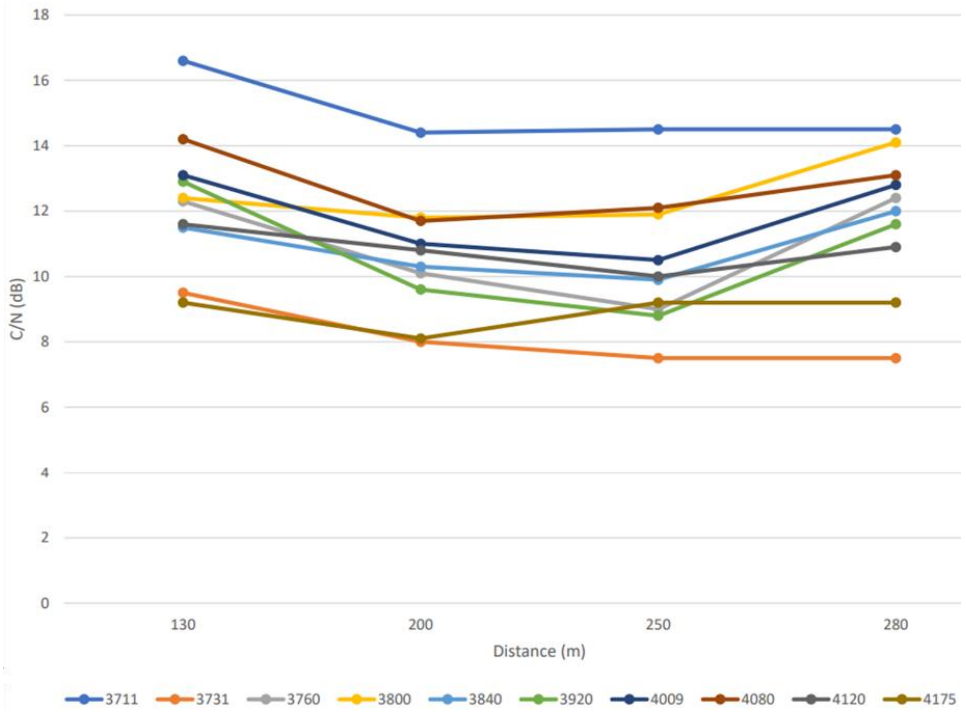
5.2.7.4 ผลการทดสอบการวัดสัญญาณตัวอย่าง LNB 5G Filter รุ่น D 3.7-4.2 GHz ของกรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



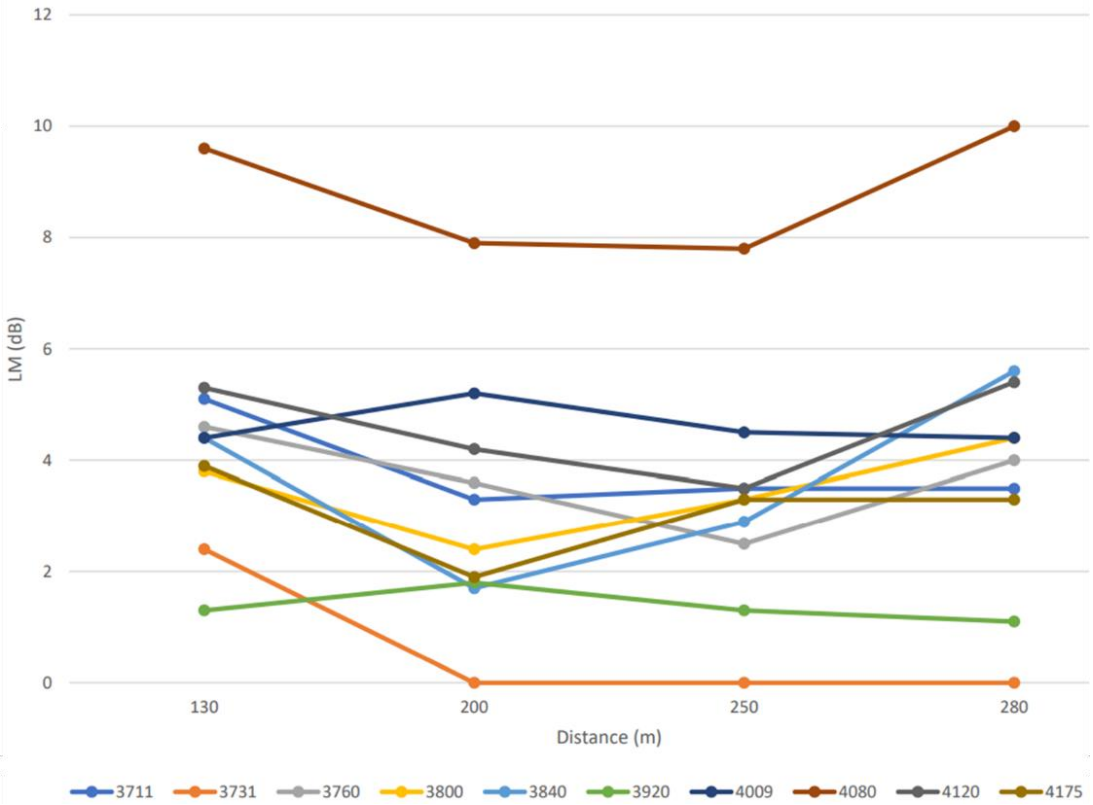
รูป 98 กราฟความสัมพันธ์ PWR กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น D 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



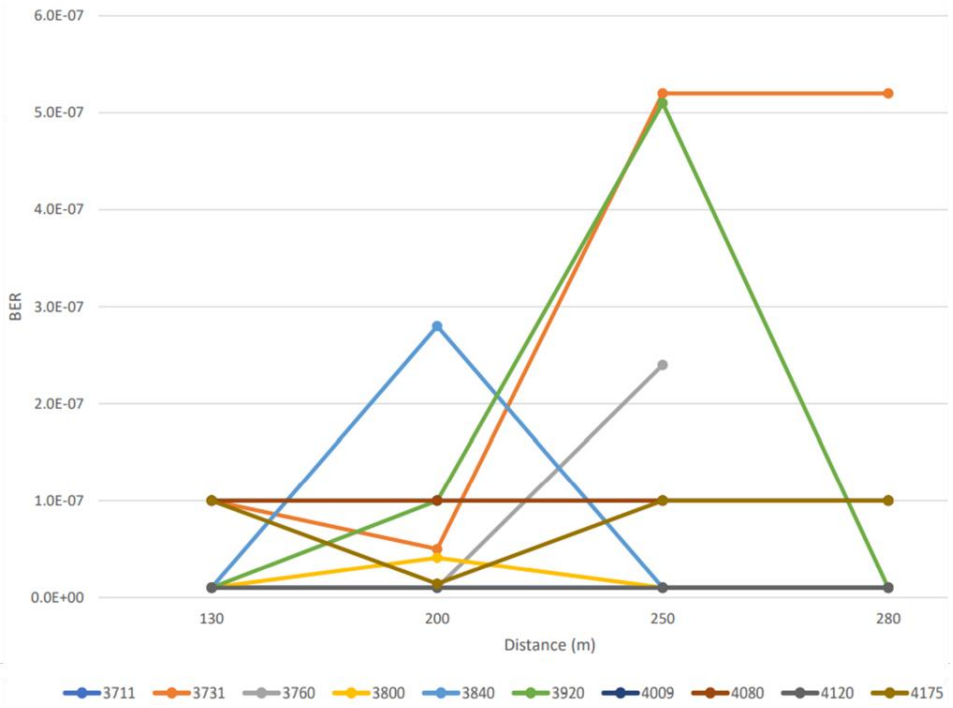
รูป 99 กราฟความสัมพันธ์ MER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น D 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



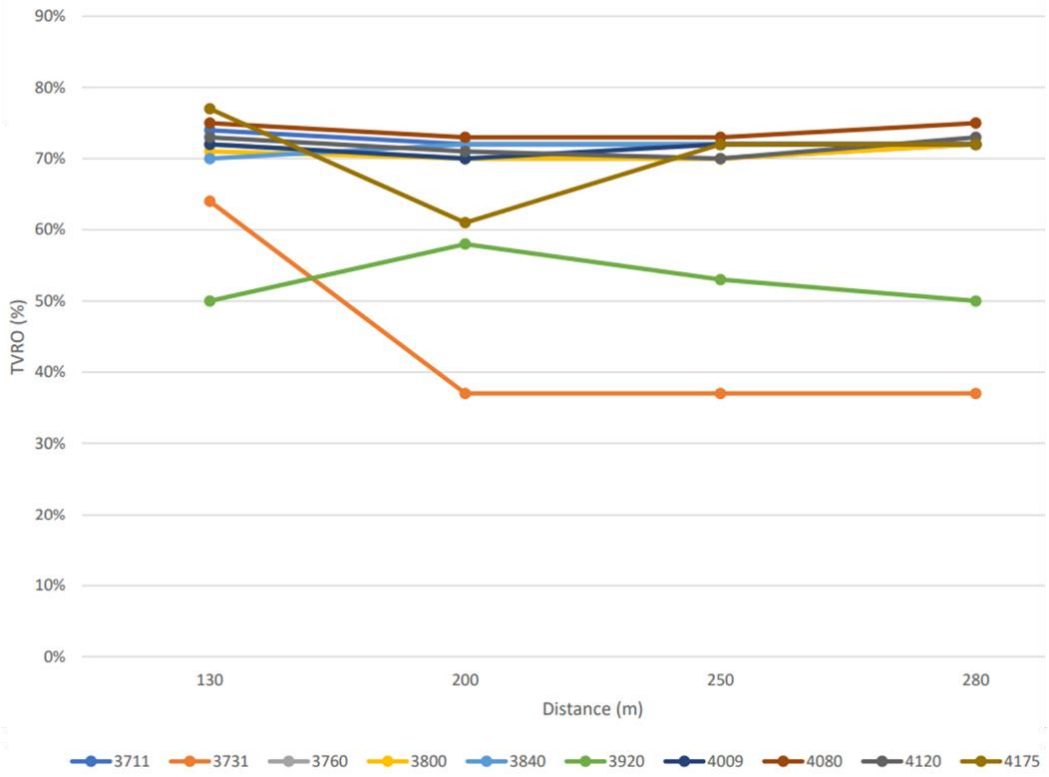
รูป 100 กราฟความสัมพันธ์ C/N กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น D 3.7-4.2 GHzกรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



รูป 101 กราฟความสัมพันธ์ LM กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น D 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz

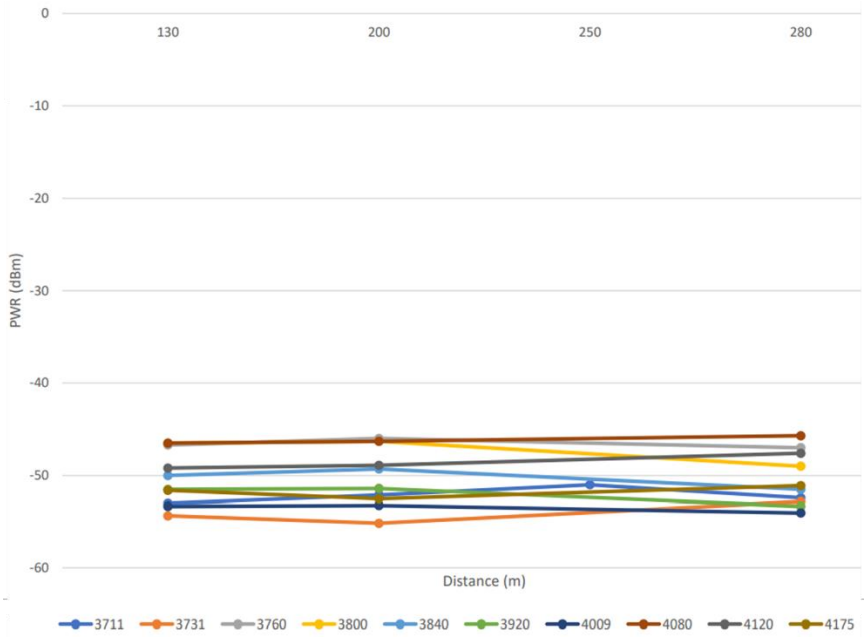


รูป 102 กราฟความสัมพันธ์ BER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น D 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz

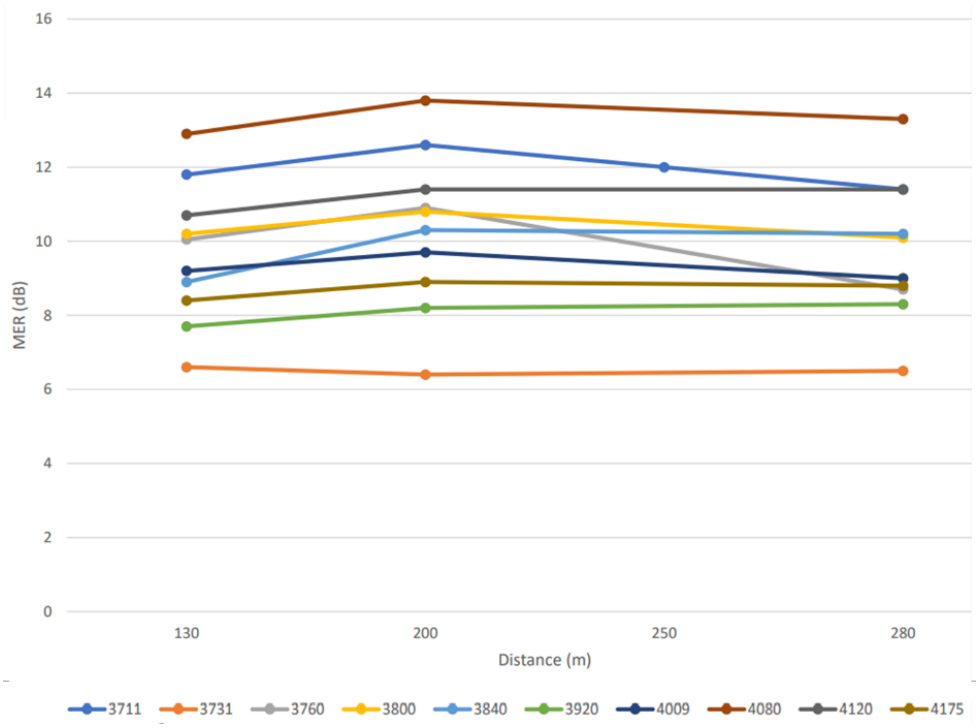


รูป 103 กราฟความสัมพันธ์ TVRO กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น D 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz

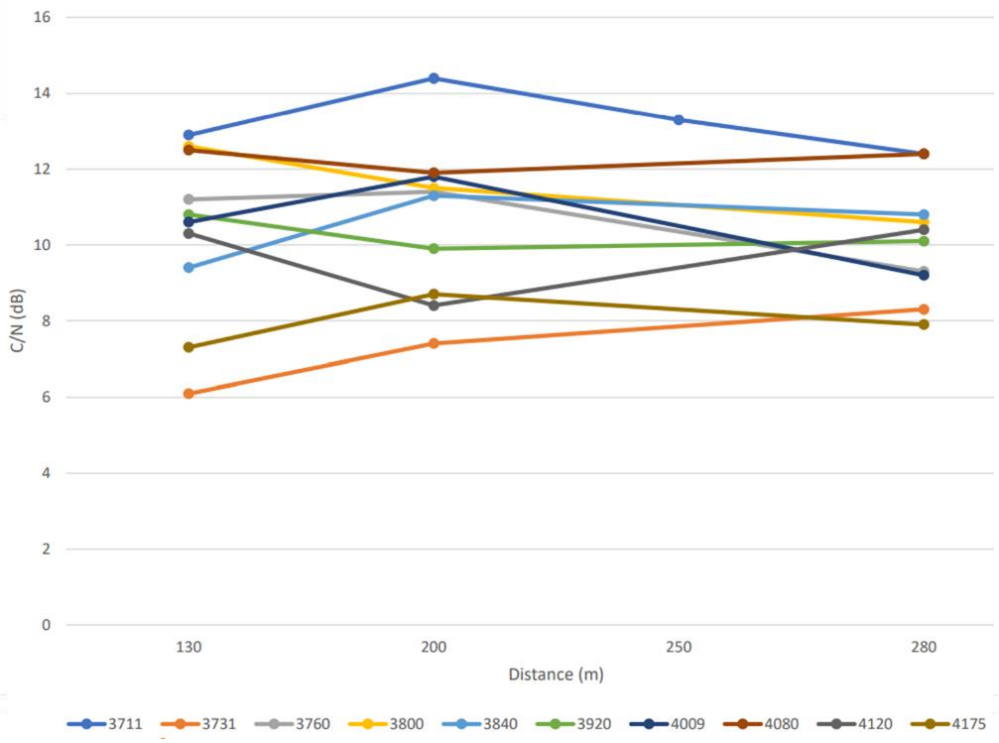
5.2.7.5 ผลการทดสอบการวัดสัญญาณตัวอย่าง LNB 5G Filter รุ่น E 3.7-4.2 GHz ของกรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



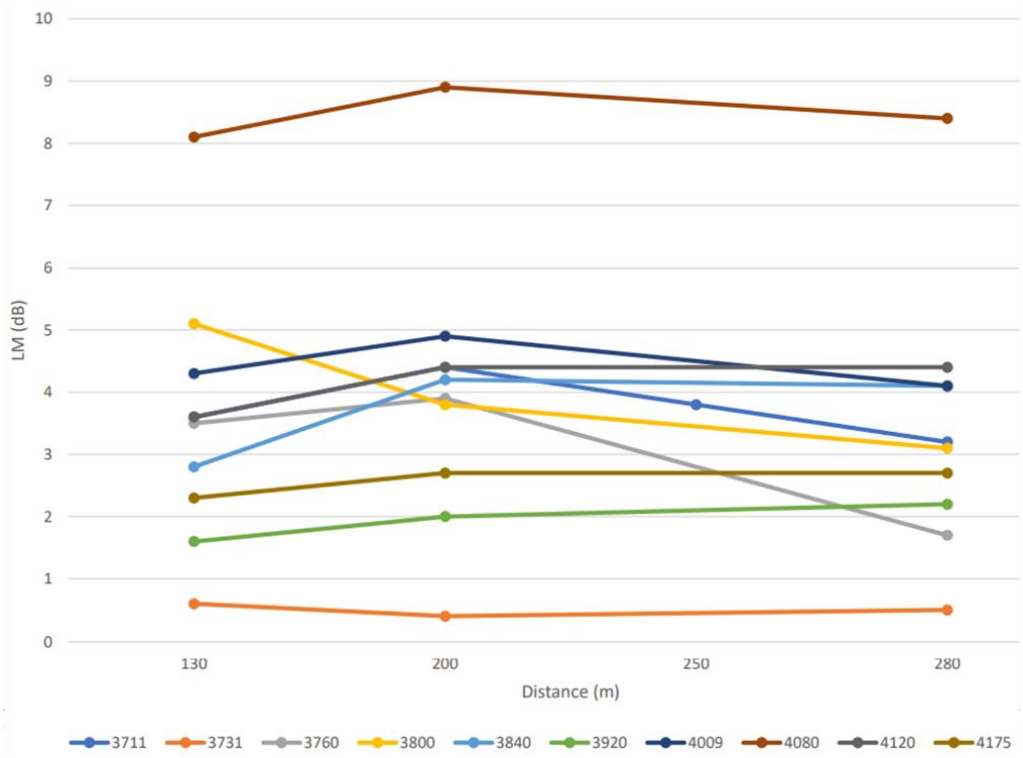
รูป 104 กราฟความสัมพันธ์ PWR กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น E 3.7-4.2 GHzกรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



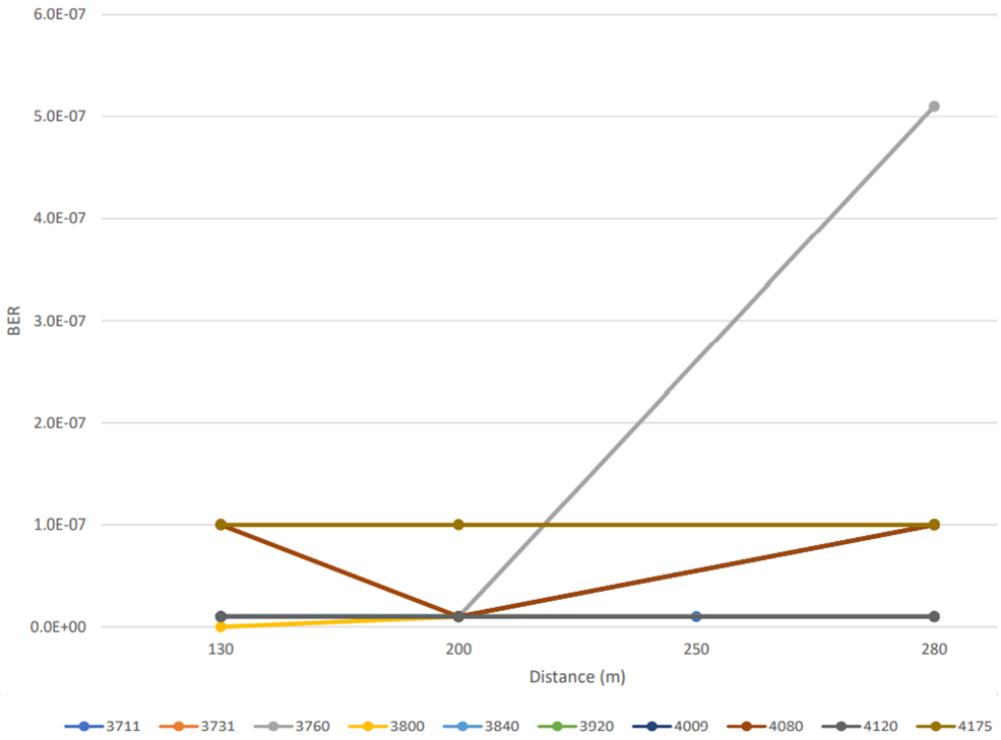
รูป 105 กราฟความสัมพันธ์ MER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น E 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



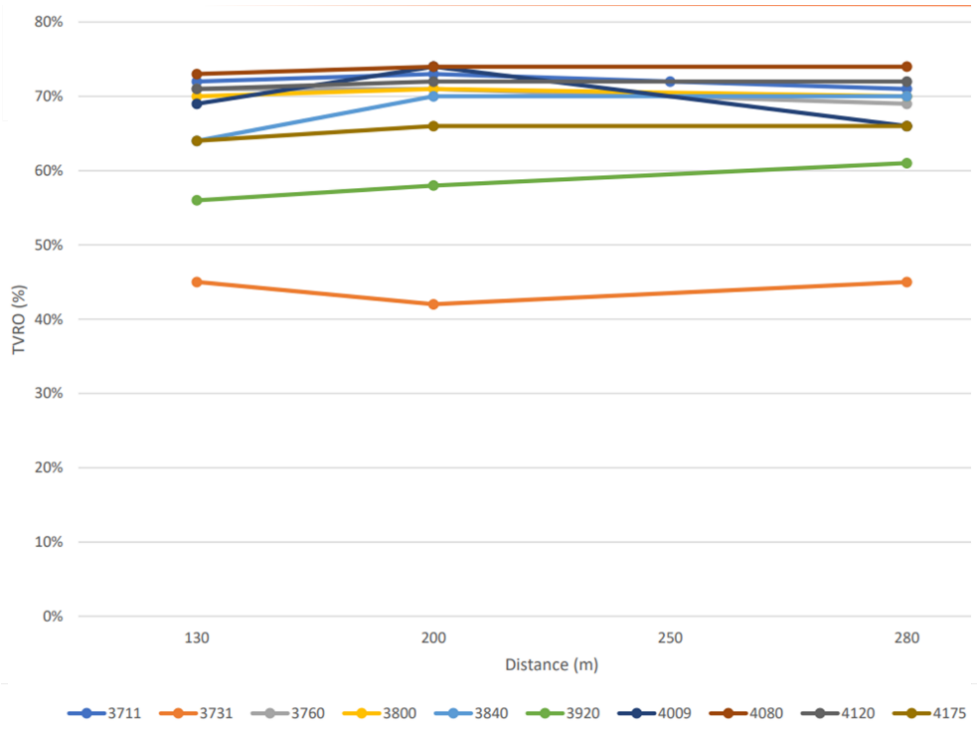
รูป 106 กราฟความสัมพันธ์ C/N กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น E 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz



รูป 107 กราฟความสัมพันธ์ LM กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น E 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

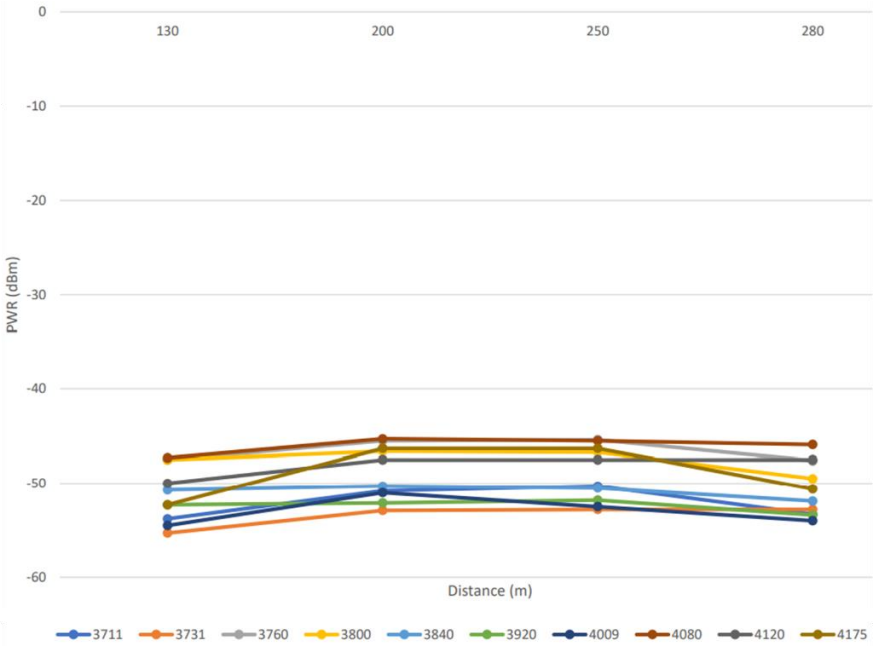


รูป 108 กราฟความสัมพันธ์ BER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น E 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

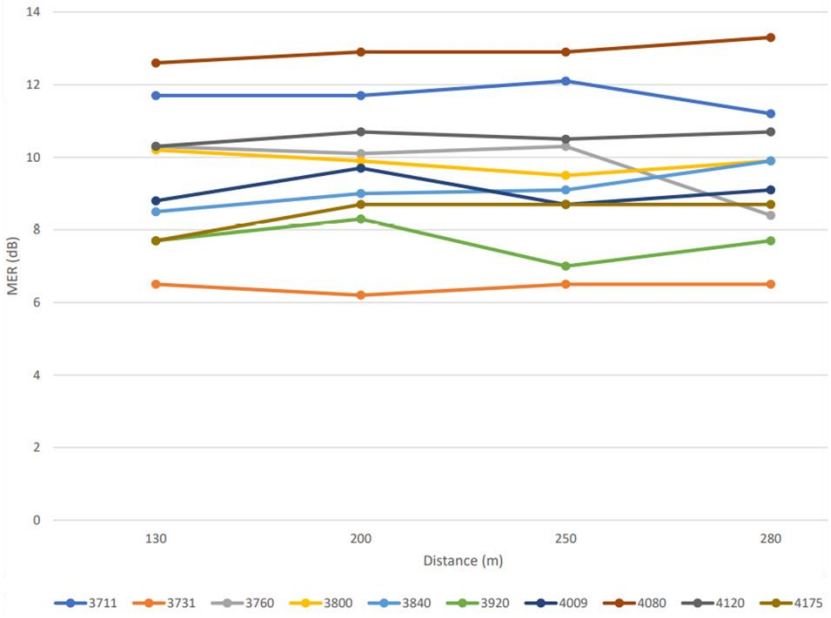


รูป 109 กราฟความสัมพันธ์ TVRO กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น E 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz

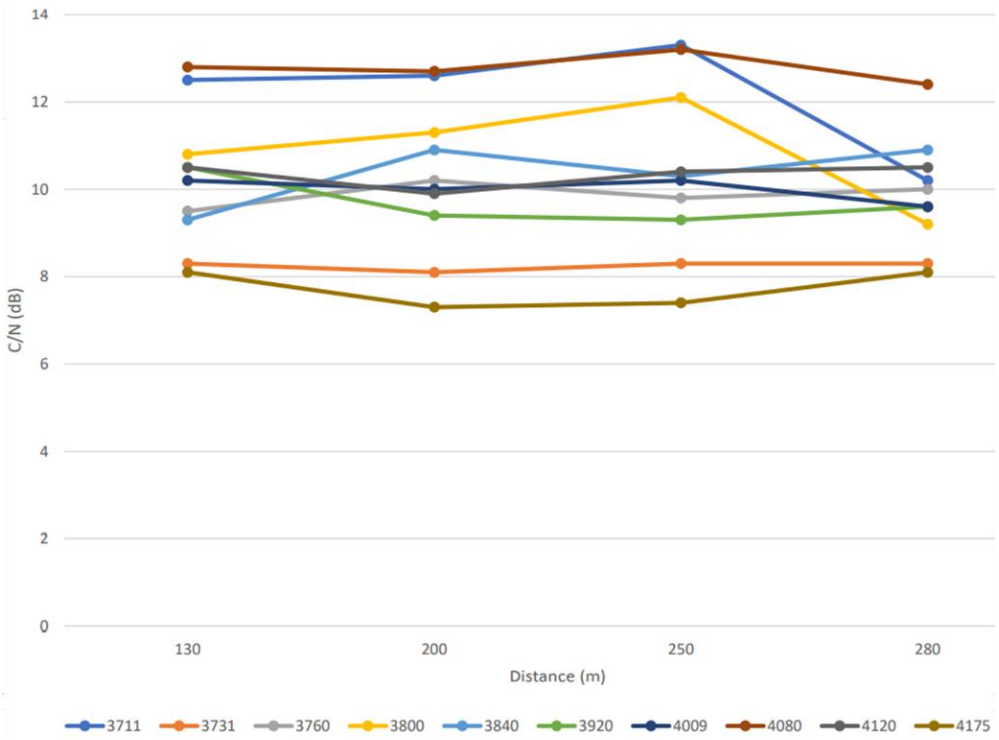
5.2.7.6 ผลการทดสอบการวัดสัญญาณตัวอย่าง LNB 5G Filter รุ่น F 3.7-4.2 GHz ของกรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



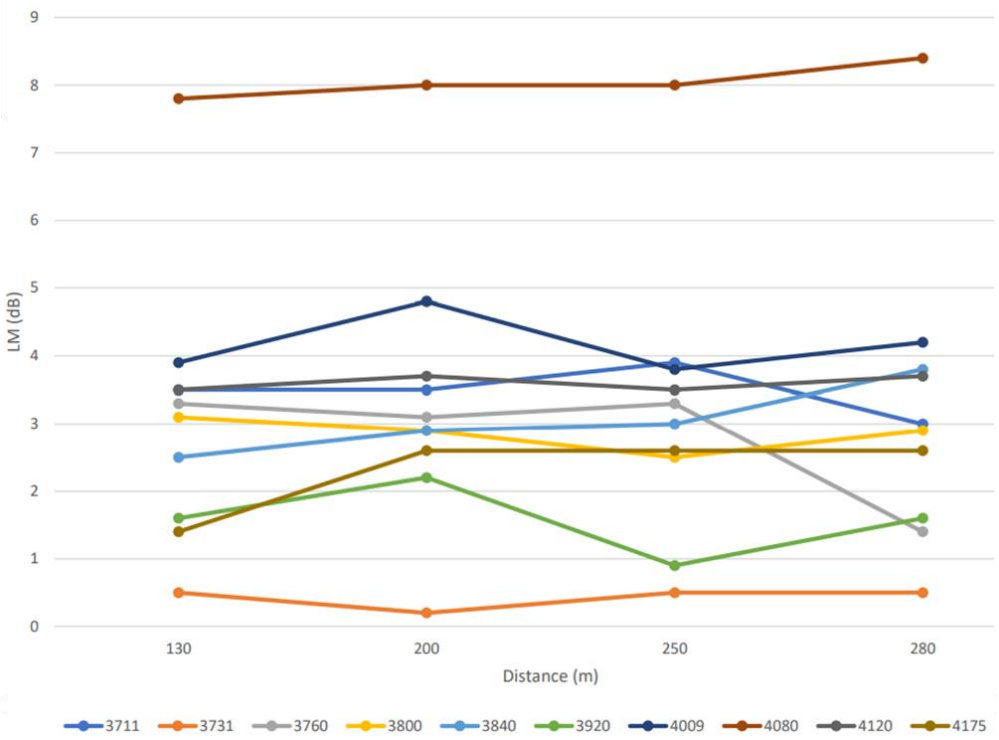
รูป 110 กราฟความสัมพันธ์ PWR กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น F 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



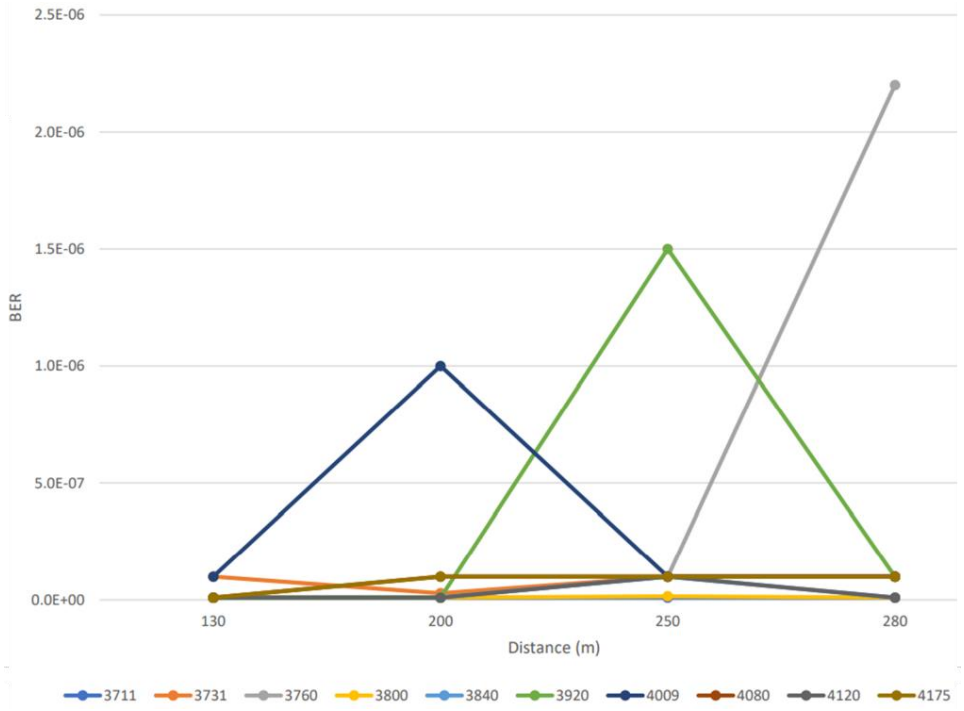
รูป 111 กราฟความสัมพันธ์ MER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น F 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



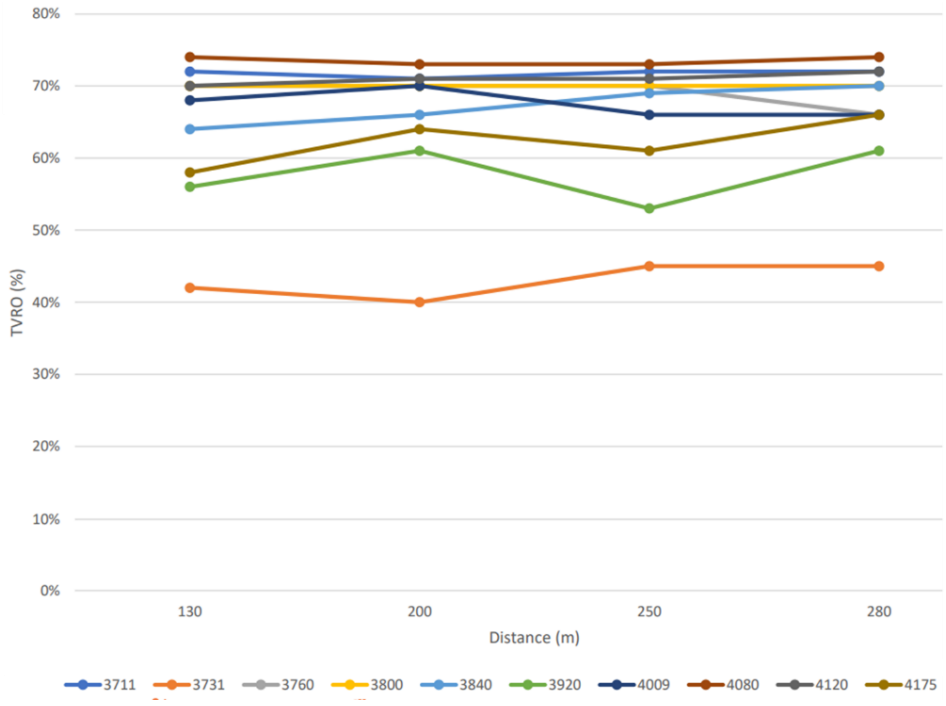
รูป 112 กราฟความสัมพันธ์ C/N กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น F 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



รูป 113 กราฟความสัมพันธ์ LM กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น F 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



รูป 114 กราฟความสัมพันธ์ BER กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น F 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz



รูป 115 กราฟความสัมพันธ์ TVRO กับระยะทางของ LNB 5G Filter รุ่น F 3.7-4.2 GHz กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz

**ข้อสังเกต ในการทดสอบวัดค่าคุณภาพสัญญาณ คณะวิจัยจะใช้เกณฑ์การตัดสินหลักจากความสามารถในการรับชมภาพจากจอทีวีได้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 วินาทีเป็นหลัก โดยมีเกณฑ์การให้ทั้งสิ้น 4 รูปแบบคือ 1) Macro blocking 2) Blackout 3) Freeze และ 4) Audio Silence โดยคณะวิจัยจะกำหนดให้ผู้ทดสอบใช้แบบฟอร์มในการเลือกกากบาทในช่องที่ผู้ทดสอบพบเห็นจากการทดสอบจริงเป็นหลัก ทั้งนี้หากภาพที่ได้เป็นภาพปกติ นั่นหมายความว่าสัญญาณดิจิทัลสามารถถูกถอดรหัสจากเครื่องรับได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นเพื่อความโปร่งใสของการเก็บผลข้อมูล จึงมีการบันทึกผลเป็นค่าพารามิเตอร์ PWR, MER, C/N และ BER ไว้เป็นหลักฐานสำคัญ เพื่อยืนยันว่าผู้ทดสอบบันทึกค่าที่ได้อย่างถูกต้องอย่างแท้จริง

6 ผลการศึกษาเพิ่มเติม

6.1 ผลการศึกษากรณีใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร

จานรับสัญญาณดาวเทียมย่าน C-band ที่ใช้งานแพร่หลายในประเทศไทยมีขนาด 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร สำหรับการทดสอบการรบกวนการรับสัญญาณดาวเทียมย่าน C-band โดยสัญญาณของโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ระบบ 5G ดังแสดงผลการทดลองในหัวข้อ 5.1 และ 5.2 ใช้จานดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร ในการทดสอบ เนื่องจากความสะดวกในการติดตั้งและเคลื่อนย้ายอุปกรณ์

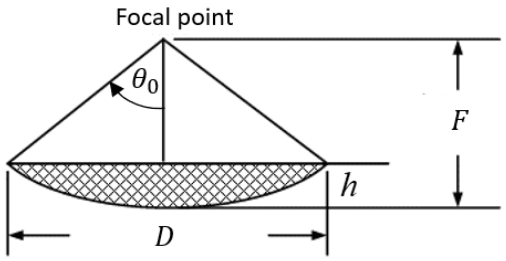
ข้อแตกต่างของลักษณะเฉพาะที่สำคัญของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการรับสัญญาณ ได้แก่ อัตราขยาย (Gain) และความกว้างลำคลื่น (Beamwidth) อัตราขยายสูงสุดของจานรับสัญญาณรูปทรงพาราโบลามีค่าประมาณเท่ากับ

$$G_0 = \varepsilon_{ap}\left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

โดยที่ D คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจาน λ คือความยาวคลื่น และ ε_{ap} คือ ประสิทธิภาพช่องเปิด (Aperture efficiency) ของจานรับสัญญาณ ซึ่งสามารถประมาณค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$\varepsilon_{ap} = \cot^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right)\left|\int_0^{\theta_0}\sqrt{G_f(\theta')}\tan\left(\frac{\theta'}{2}\right)d\theta'\right|^2$$

โดยที่ $G_f(\theta')$ คือแบบรูปการแผ่ (หรือรับ) กำลังงาน (Radiation pattern) ของหัวรับสัญญาณ (Low noise block down converter: LNB) และ θ_0 คือมุมที่ขอบจานทำกับจุดโฟกัส (Focal point) ดังรูป 116



รูป 116 จานรับสัญญาณรูปทรงพาราโบลาและพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตที่เกี่ยวข้อง

จากสมการข้างต้นจะได้ว่า จานรับสัญญาณขนาด 1.8 เมตร มีอัตราขยายสูงสุดมากกว่าจานรับสัญญาณขนาด 1.5 เมตร ประมาณ $20\log(1.8/1.5) \approx 1.6$ dB (บนสมมติฐานว่า ε_{ap} ของจานทั้งสองขนาดมีค่าประมาณใกล้เคียงกัน) จากข้อมูลทางเทคนิคของจานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขายในท้องตลาด พบว่า จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร มีอัตราขยายสูงสุดประมาณ 34.2 dBi และจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร มีอัตราขยายสูงสุดประมาณ 35.8 dBi

ในกรณีไม่มีสัญญาณรบกวน (No interference) จากระบบสื่อสารอื่น ๆ ในย่านความถี่เดียวกัน ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณดาวเทียมขึ้นกับค่า Carrier-to-Noise Ratio (CNR) ดังสมการต่อไปนี้

$$\mathrm{CNR} = \mathrm{EIRP} + G_{r0} - \mathrm{LOSSES} - P_N$$

โดยที่ CNR คือ Carrier-to-noise ratio (หน่วย dB)

EIRP คือ Equivalent isotropic radiated power ของสัญญาณดาวเทียม (หน่วย dBW)

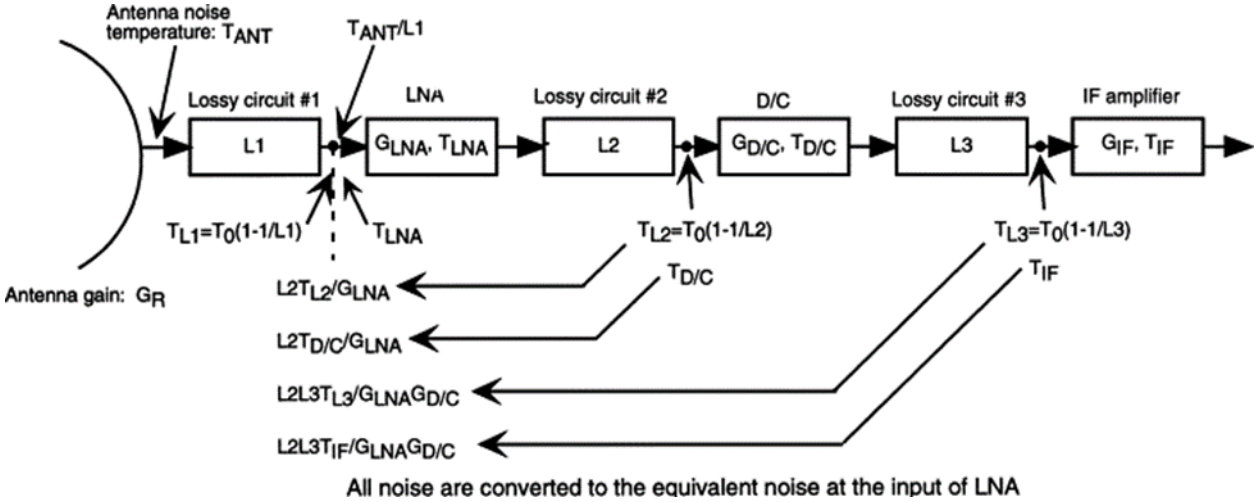
G_{r0} คือ อัตราขยายสูงสุดของจานรับสัญญาณในทิศแกนของลำคลื่นหลัก (หน่วย dBi)

LOSSES คือ ค่ากำลังสูญเสียทั้งหมดตลอดเส้นทางการรับส่งสัญญาณ (หน่วย dB)

P_N คือ กำลังของสัญญาณรบกวน (Noise) (หน่วย dBW)

สัญญาณรบกวน (Noise) อาจมาจากแหล่งกำเนิดภายนอกโดยรับเข้ามาทางสายอากาศ (Antenna noise) เช่น Sky noise และสัญญาณรบกวนที่เกิดจากส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องรับ ส่วนประกอบของหัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (LNB) โดยทั่วไปแสดงดังรูป 117 ซึ่งประกอบด้วย

- สายอากาศ (Antenna) ได้แก่ จานรับสัญญาณดาวเทียม
- วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low noise amplifier: LNA)
- วงจรแปลงความถี่ลง (Down converter: D/C)
- วงจรขยายความถี่กลาง (IF amplifier)
- วงจรที่มีการสูญเสีย (Lossy circuit) เช่น สายส่ง (Transmission line) ตัวเชื่อมต่อ (Connector) ฯลฯ



รูป 117 ส่วนประกอบของวงจรหัวรับสัญญาณดาวเทียม (LNB) และสัญญาณรบกวนที่เกิดจากส่วนต่าง ๆ
ที่มา : Iida (2003)

กำลังของสัญญาณรบกวนสามารถแทนได้ในรูปของอุณหภูมิสัญญาณรบกวนสมมูล (Equivalent noise temperature) ที่ฝั่งขาเข้าของ LNA ดังรูป 117 สัญญาณรบกวนรวมของระบบเท่ากับผลรวมของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแต่ละส่วนประกอบ กำลังของสัญญาณรบกวนคำนวณได้จากสมการ

$$P_N = k_B T_S B_N$$

โดยที่ k_B คือ Boltzmann's constant มีค่าเท่ากับ 1.380649×10^{-23} J/K

T_S คือ Equivalent noise temperature ของระบบที่ฝั่งขาเข้าของ LNA (หน่วย K)

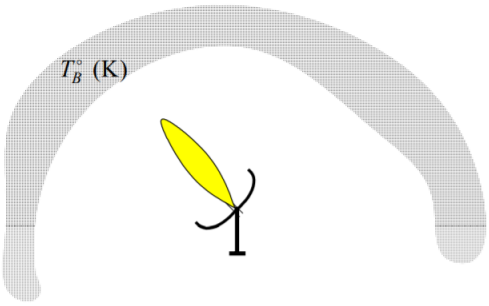
B_N คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวน (Noise bandwidth) ที่ผ่านเข้าสู่เครื่องรับ ซึ่งเท่ากับแบนด์วิดท์ของ LNA (หน่วย Hz)

จากตัวอย่างวงจรในรูป 117 จะได้ว่า

$$T_S = \frac{T_{\mathrm{ANT}}}{L_1} + T_{L1} + T_{\mathrm{LNA}} + \frac{T_{L2}L_2}{G_{\mathrm{LNA}}} + \frac{T_{\mathrm{D/C}}L_2}{G_{\mathrm{LNA}}} + \frac{T_{L3}L_2L_3}{G_{\mathrm{LNA}}G_{\mathrm{D/C}}} + \frac{T_{\mathrm{IF}}L_2L_3}{G_{\mathrm{LNA}}G_{\mathrm{D/C}}}$$

โดยที่ G คืออัตราขยาย (Gain) ของวงจรชนิดแอ็กทิฟ (Active) และ L คือตัวประกอบกำลังสูญเสีย (Loss factor) ของวงจรชนิดแพสซิฟ (Passive) ที่มีการสูญเสีย

กำหนดให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่กำลังงาน (และรับกำลังงาน) แทนได้ด้วยฟังก์ชัน $G(\theta,\phi)$ และชี้ทิศทางไปยังวัตถุหรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสมมูล (Equivalent temperature) หรืออุณหภูมิความสว่าง (Brightness temperature) เท่ากับ $T_B(\theta,\phi)$ K สำหรับกรณีจานรับสัญญาณดาวเทียมจะชี้ทิศทางไปยังท้องฟ้า ดังรูป 118



รูป 118 จานรับสัญญาณดาวเทียมเล็งไปยังท้องฟ้าซึ่งมีอุณหภูมิสัญญาณรบกวนสมมูลเท่ากับT_B (K)

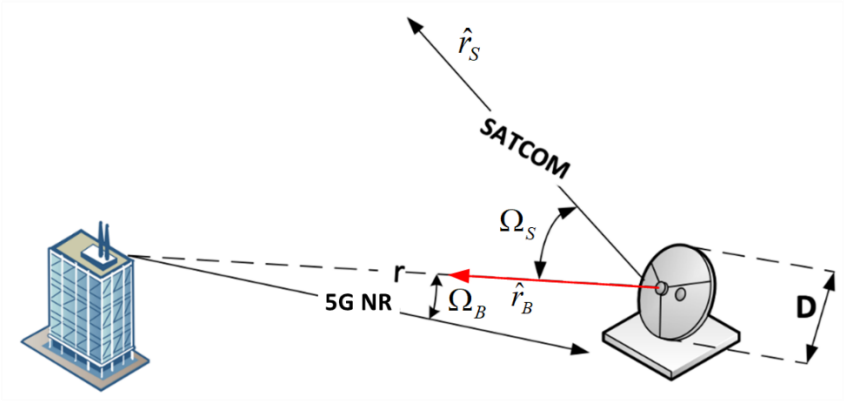
สัญญาณรบกวนที่แผ่จากวัตถุหรือบริเวณที่สายอากาศเล็งไปหาจะถูกรับเข้ามาโดยสายอากาศและปรากฏเป็นอุณหภูมิสมมูลของสายอากาศที่ขั้วต่อ (Terminal) ของสายอากาศ มีค่าเท่ากับ

$$T_{\text{ANT}} = \frac{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} T_B(\theta,\phi)G(\theta,\phi)\sin\theta\, d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} G(\theta,\phi)\sin\theta\, d\theta d\phi}$$

หาก T_B มีค่าประมาณคงที่หรืออย่างน้อยมีค่าคงที่ในบริเวณทิศทางของลำคลื่นหลักของสายอากาศ จะได้ว่า $T_{\text{ANT}} \approx T_B$ นั่นคือ ขนาดของจานรับสัญญาณดาวเทียมที่แตกต่างระหว่าง 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร ไม่มีผลต่อ T_{ANT}

จากสมการของ $\mathbf{CNR}$ ข้างต้นจะเห็นว่า หาก G_{r0} เพิ่มขึ้นโดยที่พารามิเตอร์อื่น ๆ ทางด้านขวาของสมการเท่าเดิม จะทำให้ $\mathbf{CNR}$ เพิ่มขึ้น และส่งผลให้อัตราความผิดพลาดบิต (Bit error rate: BER) ของการรับส่งข้อมูลลดลง หรืออีกนัยหนึ่ง สำหรับค่า $\mathbf{CNR}$ (หรือ BER) ขั้นต่ำที่เครื่องรับสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ หาก G_{r0} เพิ่มขึ้น ระบบจะสามารถทนทานต่อการสูญเสียและสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น นั่นคือประสิทธิภาพในการรับสัญญาณของระบบเพิ่มขึ้น ดังนั้น การใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีค่าอัตราขยายสูงสุด G_{r0} มากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณดีขึ้น นั่นคือ จานรับสัญญาณขนาด 1.8 เมตร มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณดาวเทียมดีกว่าจานรับสัญญาณขนาด 1.5 เมตร เล็กน้อย ในทางทฤษฎีคิดเป็นค่า $\mathbf{CNR}$ ที่เพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 dB

กรณีที่มีสัญญาณรบกวน (Interference) จากระบบสื่อสารอื่น ๆ ในย่านความถี่เดียวกันหรือความถี่ใกล้เคียง เช่น สัญญาณของโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ระบบ 5G ถูกรับเข้ามาโดยจานรับสัญญาณดาวเทียม ดังแสดงสถานการณ์ในรูป 119



รูป 119 สถานการณ์กรณีสัญญาณของโครงข่ายระบบ 5G รบกวนสัญญาณดาวเทียม
ที่มา : Ardavan (2020)

กำหนดให้จานรับสัญญาณชี้ไปยังทิศทางของดาวเทียม (SATCOM) นั่นคือ ทิศทางที่อัตราขยายของจานรับสัญญาณมีค่าสูงสุดหรือทิศแกนของลำคลื่นหลัก (Boresight direction) เล็งไปยังตำแหน่งของดาวเทียม ในรูป 119 แทนด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วย $\hat{r}_S$ ซึ่งสัมพันธ์กับมุมในแนวดิ่ง θ_S และมุมในแนวราบ ϕ_S ในระบบพิกัดอ้างอิง กำหนดให้สถานีฐานระบบ 5G อยู่ห่างจากจานรับสัญญาณดาวเทียมเป็นระยะทาง r ในทิศทางแทนด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วย $\hat{r}_B$ ซึ่งสัมพันธ์กับมุมในแนวดิ่ง θ_B และมุมในแนวราบ ϕ_B ในระบบพิกัดอ้างอิง ดังแสดงด้วยแนวเส้นประในรูป 119 มุมระหว่างทิศของสถานีฐาน 5G และทิศของดาวเทียมเท่ากับ

$$\Omega_S = \cos^{-1}(\hat{r}_S \cdot \hat{r}_B)$$

โดยที่

$$\hat{r}_S \cdot \hat{r}_B = \sin\theta_S \sin\theta_B \cos(\phi_S - \phi_B) + \cos\theta_S \cos\theta_B$$

สัญญาณคลื่นจากสถานีฐานระบบ 5G จะแพร่กระจายจากสายอากาศในลักษณะหลายลำคลื่น (Multiple beams) ชี้ไปยังทิศทางของอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (User Equipment: UE) ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับสถานีฐานดังกล่าวทิศทางของแต่ละลำคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานซึ่งโดยทั่วไปมีการเคลื่อนที่ ในรูป 119 ทิศทางของลำคลื่นสัญญาณ 5G แสดงด้วยลูกศรที่มีป้ายกำกับว่า “5G NR” ซึ่งทำมุม Ω_B กับแนวเส้นประที่เชื่อมระหว่างสถานีฐานระบบ 5G กับจานรับสัญญาณดาวเทียม หากลำคลื่นสัญญาณ 5G ชี้ไปยังทิศทางของจานรับสัญญาณดาวเทียมพอดี สัญญาณที่ตกกระทบหน้าจานฯ ก็จะมีความเข้มสูง แต่หากลำคลื่นสัญญาณ 5G ไม่ได้ชี้ไปยังทิศทางของจานรับสัญญาณดาวเทียมโดยตรง สัญญาณที่ตกกระทบหน้าจานฯ ก็จะมีความเข้มต่ำกว่า

สัญญาณรบกวนจากสถานีฐานระบบ 5G จะถูกรับเข้ามาโดยจานรับสัญญาณดาวเทียมในทิศทางนอกลำคลื่นหลักในทิศทำมุม Ω_S กับแกนของลำคลื่นหลัก (ซึ่งเล็งไปยังดาวเทียม) มุม Ω_S ขึ้นกับตำแหน่งและทิศทางของสถานีฐานเมื่อเทียบกับตำแหน่งและทิศทางของจานรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งสัมพันธ์กับความแตกต่างของมุมในแนวดิ่ง $|\theta_S - \theta_B|$ และความแตกต่างของมุมในแนวราบ $|\phi_S - \phi_B|$ ในสถานการณ์จริงมุม $\theta_S < \theta_B$ เนื่องจากตำแหน่งของดาวเทียมอยู่สูงกว่าสถานีฐานมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจานรับสัญญาณดาวเทียมตั้งอยู่ในพื้นที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร สำหรับดาวเทียมไทยคม 6 และจานรับสัญญาณดาวเทียมติดตั้งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร มุม $\theta_S = 90° - 54.7° = 35.3°$ ในระบบพิกัดอ้างอิง ส่วนมุม θ_B ขึ้นกับความสูงของสถานีฐานและระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับจานรับสัญญาณดาวเทียม เช่น กรณีสถานีฐานสูง 30 เมตร และอยู่ห่างจากจานรับสัญญาณดาวเทียม 150 เมตร มุม $\theta_B = 90° - \tan^{-1}(30/150) = 78.7°$ กรณีสถานีฐานสูง 60 เมตร และอยู่ห่างจากจานรับสัญญาณดาวเทียม 150 เมตร มุม $\theta_B = 90° -$

$\tan^{-1}(60/150) = 68.2°$ สำหรับความแตกต่างของมุมในแนวราบ $|\phi_S - \phi_B|$ ขึ้นกับทิศทางในแนวราบของสถานีฐานเมื่อเทียบกับทิศของจานฯ ซึ่งเล็งไปยังดาวเทียม กรณีที่สถานีฐาน 5G และจานรับสัญญาณดาวเทียมหันเข้าหากันโดยตรง ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นกรณีการรบกวนสูงสุด (Worst case) นั่นคือ $\phi_S = \phi_B$ จะได้ว่า

$$\hat{r}_S \cdot \hat{r}_B = \sin\theta_S \sin\theta_B + \cos\theta_S \cos\theta_B = \cos(\theta_S - \theta_B)$$
$$\Omega_S = \cos^{-1}(\hat{r}_S \cdot \hat{r}_B) = |\theta_S - \theta_B|$$

ในกรณีนี้ มุม Ω_S ขึ้นกับ $|\theta_S - \theta_B|$ เท่านั้น

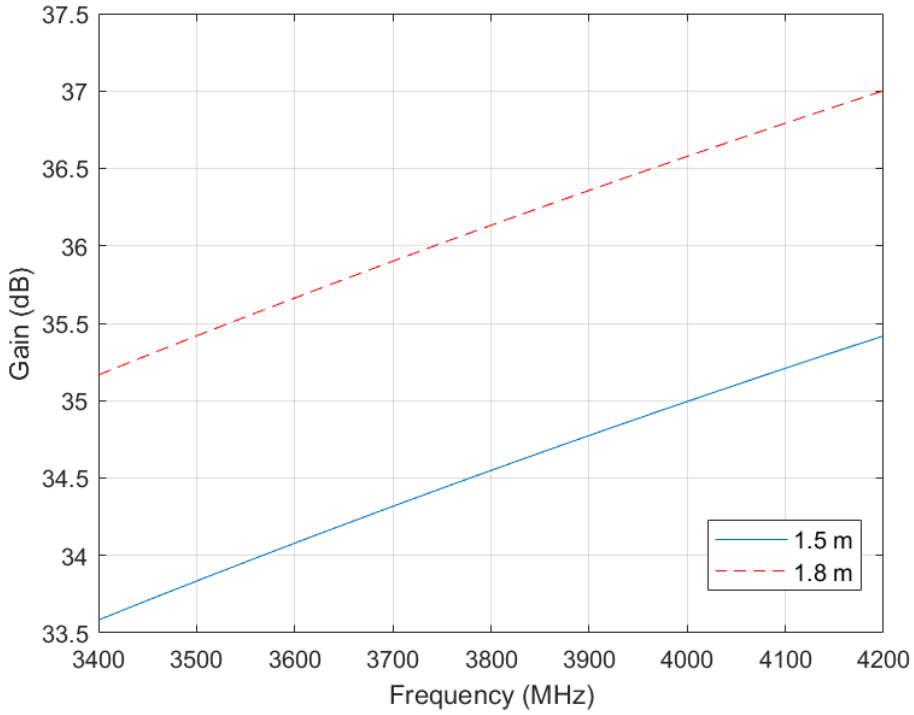
สัญญาณรบกวนอาจมีความถี่ในช่วงเดียวกับสัญญาณดาวเทียม (3700 – 4200 MHz) หรืออาจมีความถี่ใกล้เคียงกับช่วงความถี่ดังกล่าว หากความแรงของสัญญาณมากเพียงพอก็สามารถรบกวนการรับสัญญาณดาวเทียมได้ เนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมถึงพื้นโลกมีระดับความแรงของสัญญาณต่ำมาก (โดยทั่วไปน้อยกว่าความแรงของสัญญาณจากสถานีฐานระบบ 5G มาก) สัญญาณรบกวนอาจส่งผลกระทบต่อเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1) การบีบอัดอัตราขยาย (Gain compression) และการอิ่มตัว (Saturation) ของส่วนประกอบต่าง ๆ ของหัวรับสัญญาณ (LNB) ได้แก่ วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA) วงจรแปลงความถี่ลง (D/C) และวงจรขยายความถี่กลาง (IFA) ดังในรูป 117 โดยหากวงจรเหล่านี้ทำงานในช่วงที่มีการบีบอัดอัตราขยายก็จะมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) ทำให้เกิดความเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณ IF ที่ขาเข้าของกล่องรับสัญญาณ ซึ่งอาจส่งผลให้ Modulation error ratio (MER) และ Bit error rate (BER) มีค่าสูงขึ้น นอกจากนั้น หากระดับสัญญาณรบกวนสูงมากพอจนทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของหัวรับสัญญาณเกิดการอิ่มตัว ก็จะทำให้การทำงานขัดข้องและไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้

2) สัญญาณรบกวน (Interference) จากระบบสื่อสารอื่น ๆ จะปรากฏเป็นสัญญาณรบกวน (Noise) สำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ดังนั้น จะทำให้สัญญาณรบกวนของระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราความผิดพลาดบิต (BER) สูงขึ้น นั่นคือประสิทธิภาพในการรับสัญญาณดาวเทียมลดลง

3) อินเตอร์มอดูเลชัน (Intermodulation) ระหว่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณดาวเทียม หรือระหว่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณจาก Local Oscillator (OSC) ของ LNB เนื่องจากคุณสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linearity) ของวงจรแปลงความถี่ลง (D/C) ในกรณีนี้ แม้ว่าสัญญาณรบกวนไม่ได้มีความถี่ในช่วงเดียวกับสัญญาณดาวเทียม แต่ผลของอินเตอร์มอดูเลชันอาจได้สัญญาณในช่วงความถี่เดียวกับความถี่กลาง (IF) ของสัญญาณดาวเทียม และเกิดการรบกวนสัญญาณดาวเทียมได้

สำหรับกรณีสัญญาณโครงข่ายโทรคมนาคมเคลื่อนที่ระบบ 5G ในช่วงความถี่ 3400 – 3600 MHz รบกวนสัญญาณดาวเทียมซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 3700 – 4200 MHz อัตราขยายของจานรับสัญญาณในช่วงความถี่ของสัญญาณทั้งสองอาจมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ดังตัวอย่างในรูป 120 ซึ่งแสดงอัตราขยายของจานรับสัญญาณรูปทรงพาราโบลา ขนาด 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร สำหรับช่วงความถี่ 3400 – 4200 MHz กรณีประสิทธิภาพช่องเปิด ε_{ap} = 0.8 จะเห็นว่า อัตราขยายในช่วงความถี่ของสัญญาณระบบ 5G มีค่าต่ำกว่าอัตราขยายในช่วงความถี่ของสัญญาณดาวเทียมไม่เกินประมาณ 1.8 dB และความแตกต่างของอัตราขยายของจานขนาด 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร สำหรับความถี่ใด ๆ ในช่วงดังกล่าว มีค่าประมาณ 1.6 dB



รูป 120 อัตราขยายทางทฤษฎีของจานรับสัญญาณรูปทรงพาราโบลา ขนาด 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร สำหรับช่วงความถี่ 3400 – 4200 MHz (กรณี ε_{ap} = 0.8)

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการรับสัญญาณในกรณีนี้ ได้แก่ Carrier-to-Interference-plus-Noise Ratio (CINR) ซึ่งคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{CINR} = \text{EIRP} + G_{r0} - \text{LOSSES} - P_N - P_I$$

โดยที่ G_{r0} คืออัตราขยายสูงสุดของจานรับสัญญาณในทิศแกนของลำคลื่นหลัก P_I คือกำลังของสัญญาณรบกวน (หน่วย dBW) ที่รับเข้ามาสู่เครื่องรับ ส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ นิยามเหมือนในสมการคำนวณ CNR ข้างต้น

กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ

$$P_I = S_I + G_r(\Omega_S) + 10\log(\lambda_I^2/(4\pi))$$

โดยที่ S_I คือความหนาแน่นกำลัง (Power density) ของสัญญาณรบกวนที่ตกกระทบจานรับสัญญาณ (หน่วย dBW/m^2) $G_r(\Omega_S)$ คืออัตราขยายของจานรับสัญญาณในทิศทางที่สัญญาณรบกวนเข้ามา (ทำมุม Ω_S กับทิศแกนของลำคลื่นหลัก ดังรูป 119) และ λ_I คือความยาวคลื่นของสัญญาณรบกวน

ความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวนสามารถแสดงได้ในรูป

$$S_I = \text{EIRP}_I - 20\log(r) - 10\log(4\pi)$$

โดยที่ EIRP_I คือ Equivalent isotropic radiated power ของสัญญาณรบกวน (หน่วย dBW) และ r คือระยะห่างระหว่างจานรับสัญญาณดาวเทียมและแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (สถานีฐานระบบ 5G) ดังรูป 119 แทนค่า S_I ในสมการของ P_I และแทนค่าที่ได้ในสมการของ CINR จะได้ว่า

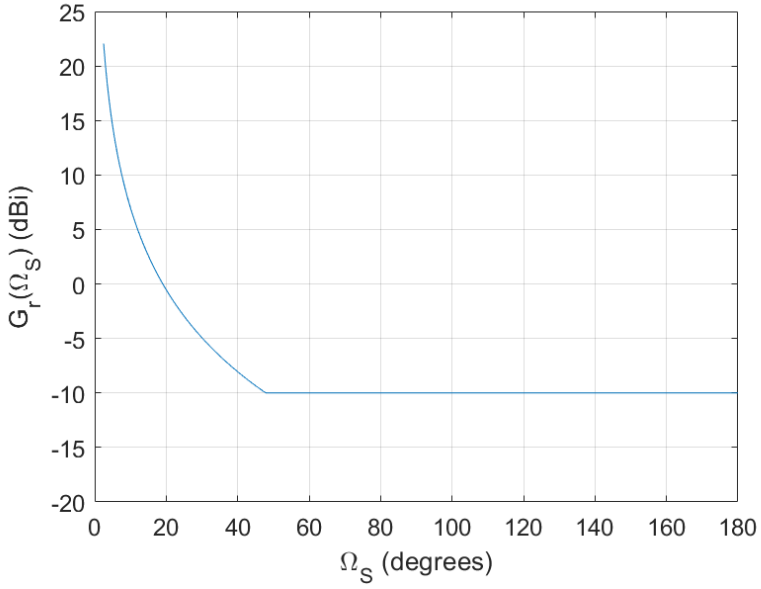
$$\begin{aligned}\text{CINR} &= \text{EIRP} + G_{r0} - \text{LOSSES} - P_N - \text{EIRP}_I - G_r(\Omega_S) + 20\log(r) - 20\log(\lambda_I/(4\pi)) \\ &= \text{EIRP} - \text{LOSSES} - P_N - \text{EIRP}_I - \tilde{G}_r(\Omega_S) + 20\log(r) - 20\log(\lambda_I/(4\pi))\end{aligned}$$

โดยที่ $\tilde{G}_r(\Omega_S) = G_r(\Omega_S) - G_{r0}$ คือ อัตราขยายสัมพัทธ์เทียบกับค่าอัตราขยายสูงสุด (หน่วยเป็น dB) ในทิศทางทำมุม Ω_S กับทิศแกนของลำคลื่นหลัก ซึ่งเป็นทิศทางที่รับสัญญาณรบกวนเข้ามา

อัตราขยายสูงสุด G_{r0} ของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร มีค่าประมาณ 34.2 dBi และ 35.8 dBi ตามลำดับ ส่วนอัตราขยายในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานรับสัญญาณดาวเทียม ตามข้อกำหนดของ ITU-R ใน Recommendation ITU-R S.465-6 จะต้องมีค่าไม่เกินค่าขอบเขตตามสมการต่อไปนี้

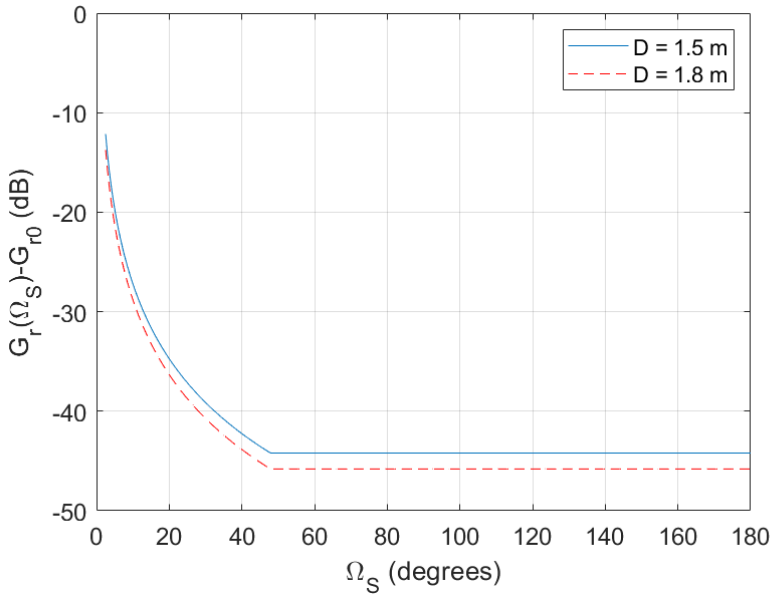
$$G_r(\Omega_S) \leq \begin{cases} 32 - 25\log\Omega_S \ \text{dBi}, & \Omega_{\min} \leq \Omega_S < 48^\circ \\ -10 \ \text{dBi}, & 48^\circ \leq \Omega_S < 180^\circ \end{cases}$$

โดยที่ $\Omega_{\min} = 2.5^\circ$ สำหรับจานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบกับความยาวคลื่น $D/\lambda < 33.3$ ค่าขอบเขตของอัตราขยายในทิศทางนอกลำคลื่นหลักตามข้อกำหนดของ ITU-R ดังสมการข้างต้น สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูป 121



รูป 121 ค่าขอบเขตของอัตราขยายในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานรับสัญญาณดาวเทียมตามข้อกำหนดของ ITU-R ใน Recommendation ITU-R S.465-6

ดังนั้น อัตราขยายสัมพัทธ์ในทิศทางนอกลำคลื่นหลัก $\tilde{G}_r(\Omega_S)$ ของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร จะต้องมีค่าไม่เกินค่าขอบเขตอ้างอิงตามข้อกำหนดของ ITU-R แสดงได้ดังกราฟในรูป 122



รูป 122 ค่าขอบเขตของอัตราขยายสัมพัทธ์ในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร อ้างอิงตามข้อกำหนดของ ITU-R ใน Recommendation ITU-R S.465-6

กราฟในรูป 122 แสดงให้เห็นว่า จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร มีค่าขอบเขตของอัตราขยายสัมพัทธ์ในทิศทางนอกลำคลื่นหลัก $\tilde{G}_r(\Omega_S)$ อ้างอิงตามข้อกำหนดของ ITU-R ต่ำกว่าจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร ดังนั้น พิจารณาจากสมการของ $\mathbf{CINR}$ ข้างต้น จึงสรุปได้ว่า กรณีใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร มีค่า $\mathbf{CINR}$ สูงกว่ากรณีใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร หากพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมีค่าเท่ากัน โดยประสิทธิภาพที่ดีกว่าของจานขนาด 1.8 เมตร มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อมุม Ω_S มีค่าเพิ่มขึ้น (ดังเห็นได้จากกราฟในรูป 122) ตัวอย่างเช่น ในกรณีทิศทางของสถานีฐาน 5G ทำมุมในแนวราบที่แตกต่างกับทิศที่จานรับสัญญาณเล็งไปยังดาวเทียมเพิ่มมากขึ้น ($|\phi_S - \phi_B|$ มีค่ามากขึ้น)

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาทางทฤษฎีข้างต้นจึงสรุปได้ว่า จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณดีกว่าหรือทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้มากกว่าจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร โดยประสิทธิภาพที่แตกต่างกันจะมากขึ้นในกรณีที่สถานีฐาน 5G และจานรับสัญญาณดาวเทียมไม่ได้หันเข้าหากันโดยตรง ดังนั้น ในทางปฏิบัติ จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร จึงอาจตั้งอยู่ใกล้สถานีฐานระบบ 5G ได้มากกว่าจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.5 เมตร เล็กน้อย โดยที่ยังสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ ทั้งนี้ ข้อสรุปข้างต้นมาจากผลการศึกษาทางทฤษฎี และอาจต้องมีการตรวจสอบยืนยันจากการทดลองภาคสนาม ทั้งนี้ จากผลการทดสอบภาคสนามในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรณีการรบกวนในย่านความถี่ 3500 MHz โดยสถานีฐานระบบ 5G ติดตั้งภายนอกอาคารและหันหน้าเข้าหาทิศทางที่จานรับสัญญาณดาวเทียมเล็งไปยังดาวเทียมพอดี และใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 เมตร กำหนดแถบความถี่ป้องกัน (Guard band) เท่ากับ 100 MHz พบว่าระยะทางในแนวราบระหว่างจานรับสัญญาณและสถานีฐานระบบ 5G ที่น้อยที่สุดที่ยังสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้เท่ากับประมาณ 130 เมตร ข้อกำหนดนี้จึงสามารถใช้ได้กับจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร เช่นกัน ซึ่งในทางทฤษฎีควรจะมีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณดาวเทียมดีกว่าจานขนาด 1.5 เมตร

6.2 กิจการสถานีภาคพื้นดินขนาดเล็ก (Very Small Aperture Terminal)

คลื่นความถี่ในช่วง 3.4 ถึง 4.2 กิกะเฮิรตซ์ มีการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น บริการดาวเทียมประจำที่ (Fixed Satellite Service: FSS) รวมถึงกิจการสถานีภาคพื้นดินขนาดเล็ก (Very Small Aperture Terminal: VSAT) แบบประจำที่และแบบเคลื่อนที่ ย่านความถี่ C-band เป็นบริการสื่อสารผ่านดาวเทียมสำหรับให้บริการรับส่งเสียง (Voice) ภาพ (Video) และข้อมูล (Data) รวมไปถึงการให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (Broadband internet) ระบบ VSAT เป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Full duplex) โดยฝั่งข่ายการเชื่อมโยงลง (Downlink) ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณจากดาวเทียมมายังสถานีภาคพื้นดิน ใช้คลื่นความถี่ในช่วง 3.4 ถึง 4.2 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งทับซ้อนหรือใกล้เคียงกับคลื่นความถี่ที่จัดสรรให้ใช้งานสำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G ข้อดีของระบบ VSAT คือ อุปกรณ์มีขนาดเล็ก สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีระบบสื่อสารอื่น ๆ เช่น พื้นที่ในทะเล หรือกรณีเกิดภาวะภัยพิบัติทางธรรมชาติทำให้ระบบสื่อสารหลักเสียหายหรือขัดข้องใช้งานไม่ได้ การประยุกต์ใช้งานระบบ VSAT ส่วนใหญ่ใช้สำหรับภาคธุรกิจ รวมทั้งหน่วยงานทางทหารและรัฐบาล และมีการใช้งานแพร่หลายในกลุ่มประเทศที่มีสภาพภูมิประเทศไม่เอื้อต่อการติดตั้งโครงข่ายภาคพื้นดินให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วถึง สำหรับผู้ใช้งานระบบ VSAT ในประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากในปัจจุบันโครงข่ายภาคพื้นดินกระจายครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ การประยุกต์ใช้งานระบบ VSAT ย่านความถี่ C-band ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการถ่ายทอดสด เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของระบบ VSAT ดังกล่าวข้างต้น

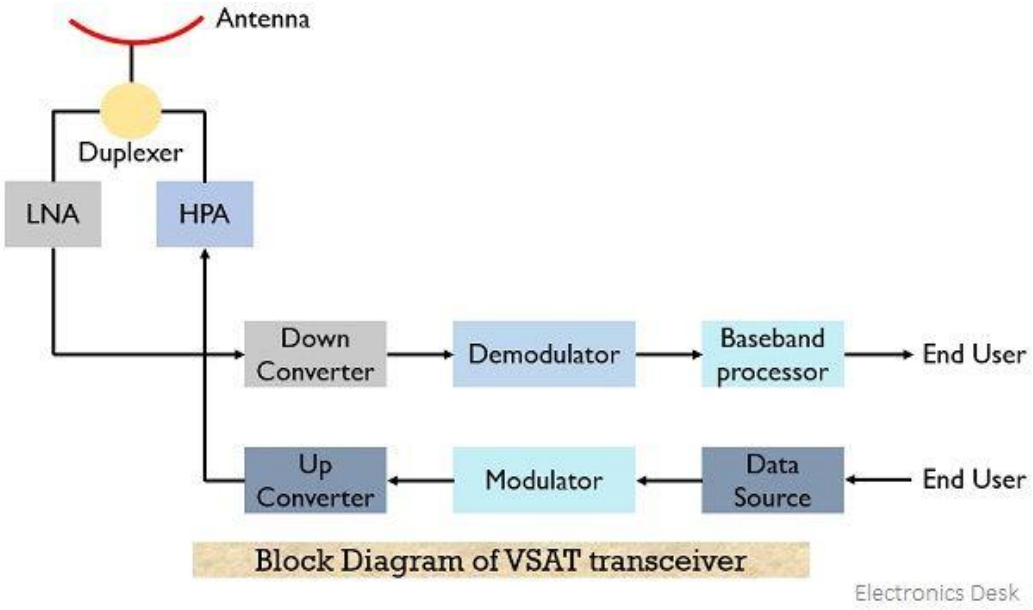
ส่วนประกอบหลักของระบบ VSAT ประกอบด้วย

1) ช่องสัญญาณดาวเทียม (Satellite Transponder)
2) HUB Earth Station
3) VSAT Terminal

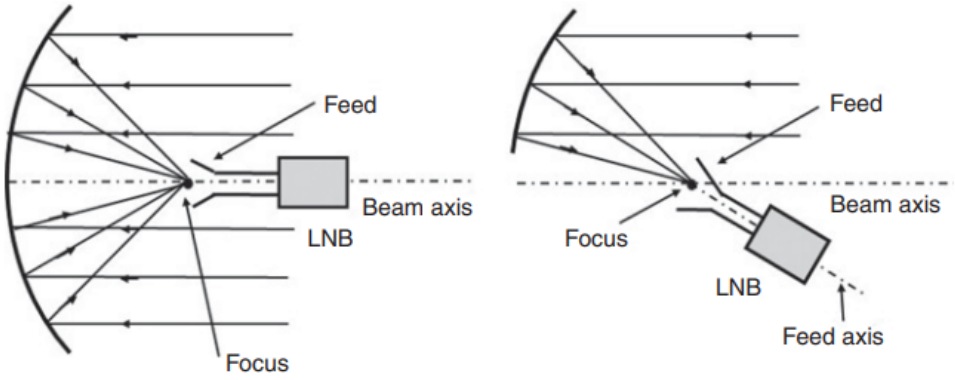
ดังแสดงด้วยแผนภาพบล็อก (Block diagram) ในรูป 123

สำหรับ VSAT Terminal ประกอบด้วย

1) จานสายอากาศ (Dish antenna) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.4 เมตร และส่วนใหญ่เป็นแบบ Offset feed ดัง(a) (b)
2) รูป 124 (b) เพื่อลดระดับของลำคลื่นรอง (Side lobe level)
3) เครื่องรับส่ง (Transceiver) ประกอบด้วย Block up-converter (BUC) และ Low-noise block down-converter (LNB) โดย LNB ที่ใช้สำหรับ VSAT Terminal จะเป็นชนิด PLL (Phase Locked Loop) ซึ่งแตกต่างจาก LNB ชนิด DRO (Dielectric Resonator Oscillator) ที่ใช้ในระบบ TVRO นั่นคือ PLL-LNB จะมีความถี่ของตัวกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) คงที่มากกว่า DRO-LNB แต่ก็จะมีราคาสูงกว่า
4) โมเด็มสำหรับสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite MODEM)



รูป 123 แผนภาพบล็อกแสดงส่วนประกอบหลักของระบบ VSAT



(a) (b)

รูป 124 จานสายอากาศแบบ (a) Axial feed และ (b) Offset feed

ที่มา : Pratt & Allnutt (2020)

จากข้อมูลผลการศึกษาการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลเทคโนโลยี 5G และกิจการสถานีภาคพื้นดินขนาดเล็ก (VSAT) ในต่างประเทศ พบว่ามีการการกำหนดแนวทางการใช้งานร่วมกัน ดังต่อไปนี้

ประเทศ	Guard band	ข้อเสนอแนะ
Brazil	25 MHz	จำเป็นต้องติดตั้ง Filter สำหรับเครื่องรับสัญญาณ TVRO คุณภาพต่ำ
Brunei	100 MHz	หยุดให้บริการ VSAT ในย่าน 3.4 – 3.7 GHz และแบ่งย่านความถี่ละ 100 MHz ให้แก่ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 2 ราย

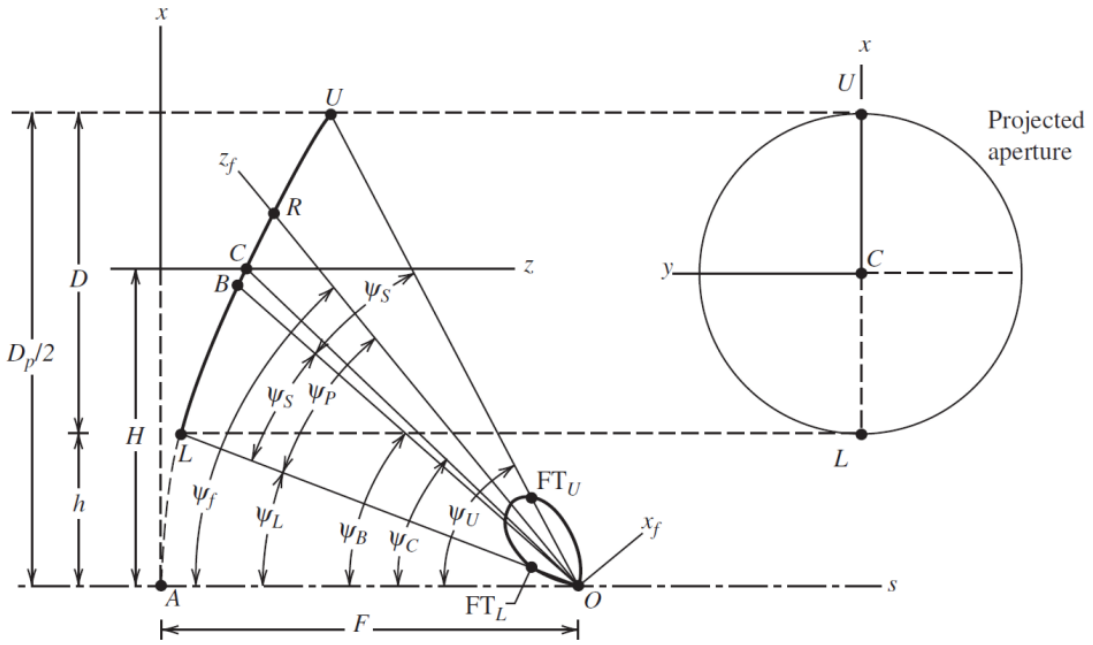
ประเทศ	Guard band	ข้อเสนอแนะ
Hong Kong	100 MHz	ข้อสมมุติฐานกรณีที่ใช้งานแย่ที่สุดถูกใช้ในการวิเคราะห์
Singapore	100 MHz	กำลังมีผลการศึกษาในการหาค่า Guard band ที่เหมาะสม
Taiwan	44 MHz	จำเป็นต้องติดตั้ง Filter สำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมประจำที่ในย่านความถี่ใกล้เคียง (Adjacent band) ที่ระยะห่างไป 150 เมตรจากสถานีภาครับที่ถูกป้องกัน
US	20 MHz	ถูกกำหนดโดยผู้ให้บริการดาวเทียมตามข้อเสนอในการประมูล
Malaysia	100 MHz	ขึ้นกับผลการศึกษา พบว่าสามารถใช้ร่วมกันได้กับสถานีฐาน 5G ที่ระยะใกล้สุด 85 เมตรด้วยค่า Guard Band 100 MHz และใช้อุปกรณ์กรองผ่านสัญญาณที่มีค่าการกำจัด (Rejection) ไม่น้อยกว่า 45 dB[29]

สำหรับประเทศไทย ยังไม่พบว่ามีรายงานผลการศึกษาการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการสถานีภาคพื้นดินขนาดเล็ก เนื่องจากการทดลองภาคสนามเพื่อศึกษาการรบกวนระบบ VSAT โดยสัญญาณโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลระบบ 5G ไม่ได้อยู่ในขอบเขตการดำเนินงานของโครงการนี้ ดังนั้น การศึกษาผลของการรบกวนสัญญาณเพื่อหาระยะทางใกล้สุดระหว่างจานสายอากาศของระบบ VSAT และสถานีฐานระบบ 5G โดยที่ระบบ VSAT ยังสามารถใช้งานได้ อาจอ้างอิงหลักการทางทฤษฎีและเทียบเคียงจากผลการทดสอบภาคสนามกรณีการรบกวนระบบรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (TVRO) ย่าน C-band โดยใช้แนวทางเดียวกับการศึกษากรณีใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เมตร สำหรับระบบ TVRO ดังแสดงในหัวข้อ 6.7

สถานการณ์กรณีสัญญาณโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลระบบ 5G รบกวนการใช้งานระบบ VSAT สามารถแสดงได้เช่นเดียวกับรูป 119 โดยสัญญาณระบบ 5G จะรบกวนการรับสัญญาณฝั่ง Downlink ซึ่งใช้คลื่นความถี่ในช่วง 3.4 ถึง 4.2 กิกะเฮิรตซ์

จานสายอากาศแบบ Offset feed ซึ่งนิยมใช้สำหรับ VSAT terminal มีค่าพารามิเตอร์ทางเรขาคณิต (Geometry parameters) แสดงดังรูป 180 จานสายอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง D และระยะโฟกัส F โดยจานสายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของพื้นผิวจานแหล่งกำเนิด (Parent reflector) รูปทรงพาราโบลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $D/2$ และมีแกนเป็นแนวเส้นตรง s ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง C ของจานสายอากาศอยู่สูงจากแนวแกน s เป็นระยะ offset H

[29] MCMC; Co-existence Evaluation between Mobile Service (5G) from 3400 to 3600 MHz and Fixed Satellite Service (VSAT) from 3700 to 4200 MHz – 4th meeting 29 Sep 2020



รูป 125 พารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของจานสายอากาศแบบ Offset feed

มุมที่ขอบจานสายอากาศด้านบน (ตำแหน่ง U) และด้านล่าง (ตำแหน่ง L) ทำกับจุดโฟกัส (Subtended angle) ได้แก่ $2\Psi_S$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\Psi_S = \tan^{-1}\left(\frac{8FD}{16F^2 + 4H^2 - D^2}\right)$$

โปรดสังเกตว่า กรณีระยะ offset $H = 0$ ได้แก่จานสายอากาศแบบ Axial feed

อัตราขยายสูงสุดของจานสายอากาศแบบ Offset feed สามารถคำนวณค่าโดยประมาณโดยใช้สมการเดียวกับจานสายอากาศแบบ Axial feed ดังในหัวข้อ 7.1 ได้แก่

$$G_0 = \varepsilon_{ap}\left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

โดยที่ D คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจาน λ คือความยาวคลื่น และ ε_{ap} คือประสิทธิภาพช่องเปิด (Aperture efficiency) ของจานสายอากาศ ซึ่งเป็นผลรวมของประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของจานสายอากาศ ดังสมการ

$$\varepsilon_{ap} = \varepsilon_r \varepsilon_t \varepsilon_s \varepsilon_a$$

โดยที่

ε_r คือ Radiation efficiency ขึ้นกับการสูญเสีย (Loss) ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของสายอากาศ

ε_t คือ Taper efficiency ขึ้นกับแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศตัวป้อน (Feed antenna)

ε_s คือ Spillover efficiency ขึ้นกับขนาดลำคลื่นของสายอากาศตัวป้อนและขนาดพื้นที่ของจาน

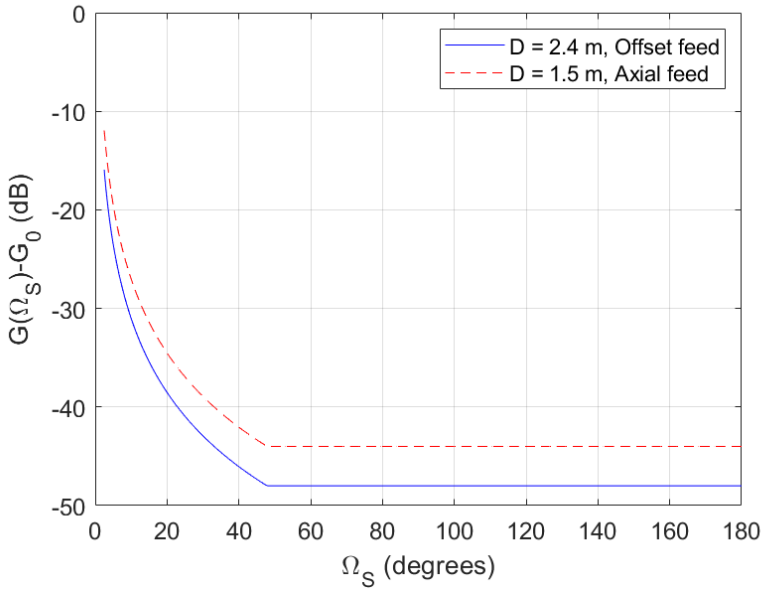
ε_a คือ Achievement efficiency เป็นผลรวมจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความไม่เรียบของพื้นผิวจาน ความคลาดเคลื่อนของรูปทรงของพื้นผิวจานจากอุดมคติ การบังสัญญาณโดยสายอากาศป้อนและตัวจับยึด ความคลาดเคลื่อนของโพลาไรเซชันของคลื่น ฯลฯ

ตัวอย่างเช่น จานสายอากาศแบบ Offset feed ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ซึ่งนิยมใช้สำหรับ VSAT terminal มีอัตราขยายสูงสุดที่ความถี่ 3800 MHz เท่ากับ $G_0 \approx 9121\varepsilon_{ap}$ สำหรับกรณี $\varepsilon_{ap} = 0.75$ จะได้ $G_0 \approx 6841 \approx 38$ dB ซึ่งใกล้เคียงกับค่าใน Datasheet ของตัวอย่างจานสายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ย่านความถี่ C-band ที่ขายในท้องตลาด ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

Electrical		C-Band Linear	C-Band Circular
Antenna Size		2.4M (96 in.)	2.4M (96 in.)
Operating Frequency (GHz)	Receive Transmit	3.625 - 4.20 GHz 5.85 - 6.425 GHz	3.625 - 4.20 GHz 5.85 - 6.425 GHz
Antenna Gain at Midband, dBi (± .2dB)	Receive Transmit	38.20 dBi 42.20 dBi	38.00 dBi 42.00 dBi
VSWR		1.3:1 Max	1.3:1 Max
Pattern Beamwidth (in degrees at midband)	-3 dB -15 dB	Rx: 2.20° Tx: 1.40° Rx: 4.90° Tx: 3.10°	Rx: 2.20° Tx: 1.40° Rx: 4.90° Tx: 3.10°
Sidelobe Envelope, Co-Pol (dBi) $100\lambda / D < \theta \leq 20°$ $20° < \theta \leq 26.3°$ $26.3° < \theta \leq 48°$ $\theta > 48°$		 29 - 25 Logθ dBi -3.5 dBi 32 - 25 Logθ dBi -10 dBi (averaged)	 29 - 25 Logθ dBi -3.5 dBi 32 - 25 Logθ dBi -10 dBi (averaged)
Antenna Noise Temperature 10° Elevation 20° Elevation 30° Elevation 40° Elevation		 52 K 46 K 45 K 44 K	 57 K 49 K 45 K 45 K
Cross Polarization Isolation (Linear) On Axis	Receive Transmit	 >30 dB >30 dB	 N/A N/A
Axial Ratio (Circular)	Receive Transmit	N/A N/A	1.4 VAR (2.95 dB) 1.3 VAR (2.28 dB)
Feed Interface	Receive Transmit	CPR 229F CPR 137 or Type N	CPR 229F CPR 137 or Type N

ที่มา : Technical Specifications, 2.4M C-Band Rx/Tx Antenna Series 1241, General Dynamics

สำหรับอัตราขยายในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานสายอากาศแบบ Offset feed จะต้องไม่เกินค่าขอบเขตตามข้อกำหนดของ ITU-R ใน Recommendation ITU-R S.465-6 เช่นเดียวกับจานสายอากาศชนิด Axial feed ดังแสดงในหัวข้อ 7.1 ดังนั้น ค่าขอบเขตของอัตราขยายสัมพัทธ์ในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานสายอากาศแบบ Offset feed ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ย่านความถี่ C-band ($G_0 \approx 38$ dB) อ้างอิงตามข้อกำหนดของ ITU-R แสดงได้ดังรูป 126 เปรียบเทียบกับค่าของจานสายอากาศแบบ Axial feed ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ($G_0 \approx 34$ dB) จากกราฟจะเห็นได้ว่า จานสายอากาศแบบ Offset ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร มีค่าขอบเขตของอัตราขยายสัมพัทธ์ในทิศทางนอกลำคลื่นหลักที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีค่าอัตราขยายสูงสุดในทิศแกนของลำคลื่นหลัก (G_0) ที่สูงกว่านั่นเอง



รูป 126 ค่าขอบเขตของอัตราขยายสัมพัทธ์ในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานสายอากาศแบบ Offset feed ขนาด ∅ 2.4 เมตร ($G_0 \approx 38$ dB) เปรียบเทียบกับจานสายอากาศแบบ Axial feed ขนาด ∅ 1.5 เมตร ($G_0 \approx 34$ dB) ตามข้อกำหนดของ ITU-R

ประสิทธิภาพการสื่อสารฝั่ง Downlink ของระบบ VSAT สัมพันธ์กับค่า Carrier-to-Interference-plus-Noise Ratio (CINR) ที่ภาครับสัญญาณของ VSAT Terminal ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการต่อไปนี้

$$\text{CINR} = \text{EIRP} - \text{LOSSES} - P_N - \text{EIRP}_I - \tilde{G}_r(\Omega_S) + 20\log(r) - 20\log(\lambda_I/(4\pi))$$

โดยที่

- EIRP คือ Equivalent isotropic radiated power ของสัญญาณดาวเทียม
- LOSSES คือ ค่ากำลังสูญเสียทั้งหมดตลอดเส้นทางการรับส่งสัญญาณ
- P_N คือ กำลังของสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดจากเครื่องรับ
- EIRP_I คือ Equivalent isotropic radiated power ของสัญญาณรบกวน (Interference) จากระบบ 5G
- λ_I คือความยาวคลื่นของสัญญาณรบกวนจากระบบ 5G
- r คือระยะห่างระหว่างจานรับสัญญาณดาวเทียมและสถานีฐานระบบ 5G
- $\tilde{G}_r(\Omega_S) = G_r(\Omega_S) - G_{r0}$ คือ อัตราขยายสัมพัทธ์เทียบกับค่าอัตราขยายสูงสุดของจานสายอากาศในทิศทางทำมุม Ω_S กับแกนของลำคลื่นหลัก ซึ่งเป็นทิศทางที่รับสัญญาณรบกวนเข้ามา

หากเปรียบเทียบระบบ VSAT และ TVRO ซึ่งถูกรบกวนโดยสัญญาณระบบ 5G โดยพิจารณาจากค่า CINR ตามสมการข้างต้น จะได้ว่า ค่า $\text{EIRP}, \text{LOSSES}$ และ P_N ของระบบ VSAT และ TVRO มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่า $\text{EIRP}_I, \lambda_I, r$ และ Ω_S มีค่าเท่ากันในการเปรียบเทียบทั้งสองระบบ เนื่องจากพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนจากสถานีฐานระบบ 5G เดียวกัน จากกราฟในรูป 126 ค่าขอบเขตในทิศทางนอกลำคลื่นหลัก

ตามข้อกำหนดของ ITU-R ของ $\tilde{G}_r(\Omega_S)$ สำหรับ VSAT Terminal กรณีใช้จานสายอากาศแบบ Offset feed ขนาด ∅ 2.4 เมตร มีค่าต่ำกว่าของเครื่องรับ TVRO กรณีใช้จานสายอากาศแบบ Axial feed ขนาด ∅ 1.5 เมตร ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ค่า CINR ของระบบ VSAT มีแนวโน้มสูงว่าของระบบ TVRO ในสถานการณ์ถูกรบกวนแบบเดียวกันโดยสัญญาณระบบ 5G ซึ่งค่า Sensitivity ของเครื่องรับสำหรับระบบ VSAT และ TVRO มีค่าประมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงคาดได้ว่า ระบบ VSAT จะสามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนจากระบบ 5G ได้ดีกว่าระบบ TVRO โดยประสิทธิภาพที่ดีกว่าของระบบ VSAT มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อมุม Ω_S เพิ่มขึ้น (ดังเห็นได้จากกราฟในรูป 126) ตัวอย่างเช่น ในกรณีสถานีฐาน 5G อยู่ในทิศทำมุมในแนวราบกับทิศที่จานสายอากาศเล็งไปยังดาวเทียมเพิ่มมากขึ้น ($|\phi_S - \phi_B|$ มีค่ามากขึ้น)

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาทางทฤษฎีข้างต้นจึงสรุปได้ว่า ระบบ VSAT มีประสิทธิภาพในการทนทานต่อสัญญาณรบกวนจากระบบ 5G ได้มากกว่าระบบ TVRO เนื่องจากใช้จานสายอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่า โดยประสิทธิภาพจะยิ่งดีกว่ามากขึ้นในกรณีที่สถานีฐาน 5G และจานรับสัญญาณดาวเทียมไม่ได้หันเข้าหากันโดยตรง ดังนั้น ในทางปฏิบัติ ระบบ VSAT จึงอาจเข้าใกล้สถานีฐานระบบ 5G ได้มากกว่าระบบ TVRO โดยที่ระบบยังสามารถทำงานได้ปกติ ทั้งนี้ ข้อสรุปข้างต้นมาจากผลการศึกษาทางทฤษฎี และอาจต้องมีการตรวจสอบยืนยันจากการทดลองภาคสนาม

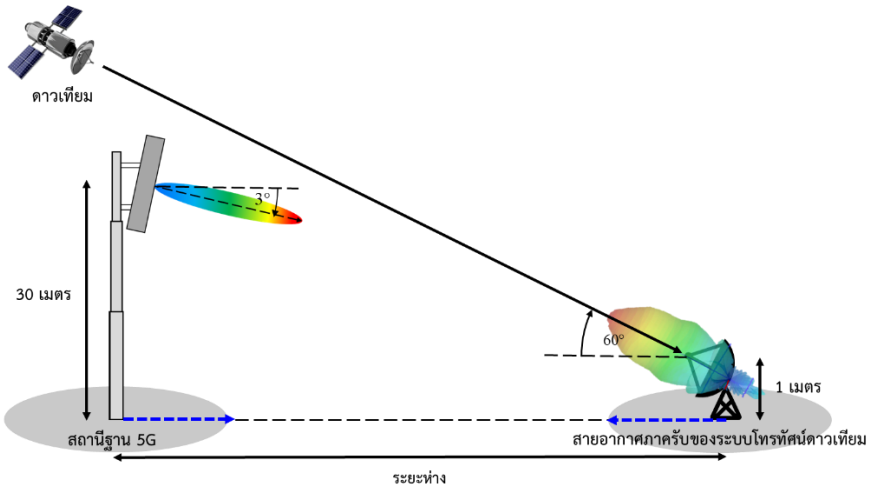
ทั้งนี้ จากผลการทดสอบภาคสนามในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรณีการรบกวนระบบ TVRO ในย่านความถี่ 3500 MHz โดยสถานีฐานระบบ 5G ติดตั้งภายนอกอาคารและหันหน้าเข้าหาจานรับสัญญาณดาวเทียมพอดี โดยระบบ TVRO ใช้จานสายอากาศแบบ Axial feed ขนาด ∅ 1.5 เมตร หากกำหนดแถบความถี่ป้องกัน (Guard band) เท่ากับ 100 MHz พบว่าระยะทางในแนวราบระหว่างจานรับสัญญาณและสถานีฐานระบบ 5G ที่น้อยที่สุดที่ระบบ TVRO ยังสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ปกติ เท่ากับประมาณ 130 เมตร ข้อกำหนดนี้จึงสามารถนำมาใช้ได้กับระบบ VSAT ซึ่งใช้จานสายอากาศแบบ Offset feed ขนาด ∅ 2.4 เมตร เช่นเดียวกัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่าในทางทฤษฎี

6.3 การจำลองเพื่อหาระยะห่างป้องกันสำหรับการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียมในกรณีที่ใช้หัว LNB ที่ไม่มี 5G Filter

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการจำลองการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียม เพื่อหาระยะห่างป้องกันที่ทำให้ระบบโทรทัศน์ดาวเทียมสามารถทำงานได้อย่างราบรื่นในกรณีที่ไม่มี 5G Filter

ภาพรวมการจำลอง

ภาพเหตุการณ์ที่ใช้สำหรับการจำลองเพื่อหาระยะห่างป้องกันสำหรับกรณีใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียมจะแสดงดังรูปด้านล่าง โดยจานดาวเทียมหรือสายอากาศภาครับของระบบโทรทัศน์ดาวเทียมจะหันหน้าและเล็งจานดาวเทียมไปยังดาวเทียมที่ให้บริการซึ่งในที่นี้จะพิจารณาว่าเป็นดาวเทียมไทยคม 6 ดังนั้นในการจำลองจึงกำหนดให้มุมเงยของจานดาวเทียมมีค่าเป็น 60 องศาซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงของมุมเงยจานดาวเทียมที่เล็งไปยังดาวเทียมไทยคม 6 ซึ่งมีค่าเป็น 59.7984 องศา ทั้งนี้เพื่อให้การจำลองเป็นการจำลองในกรณีเลวร้ายที่สุดที่อาจเกิดขึ้นในสถานการณ์จริง ในการจำลองนี้จึงได้กำหนดให้สายอากาศ 5G และจานดาวเทียมหันหน้าเข้าหากัน ซึ่งหมายถึง จานดาวเทียมจะอยู่ในตำแหน่งที่มุมเบี่ยงเบนตามแนวราบจากสายอากาศ 5G มีค่าเป็น 0 องศา และในทางเดียวกันนั้น สายอากาศ 5G ก็จะอยู่ในตำแหน่งที่มุมเบี่ยงเบนตามแนวราบจากจานดาวเทียมมีค่าเป็น 0 องศา ดังแสดงได้ด้วยลูกศรเส้นประสีน้ำเงินในรูปด้านล่าง

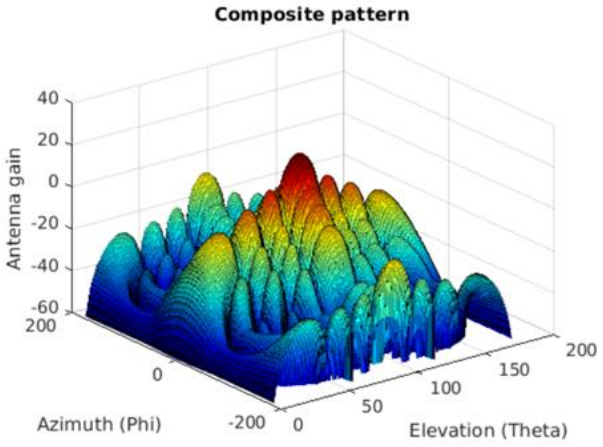


รูป 127 ภาพเหตุการณ์ที่ใช้ในการจำลองการใช้คลื่น 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียม

สำหรับพารามิเตอร์ของสถานีฐาน 5G และจานดาวเทียมนั้น ในการจำลองนี้จะกำหนดให้สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz โดยใช้กำลังงานส่งเป็น 200 W และความกว้างแถบความถี่เป็นเป็น 20 และ 100 MHz ส่วนสายอากาศ 5G จะกำหนดให้สูงจากพื้น 30 เมตร มีมุมก้มเป็น 3 องศา และมีแบบรูปกระจายคลื่น

เป็นแบบรูปตามข้อกำหนด RECOMMENDATION ITU-R M.2101 พร้อมกับกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศตามเอกสาร ITU-R WP5D Contribution 742 “AN OPEN-SOURCE IMPLEMENTATION OF RECOMMENDATION ITU-R M.2101” ซึ่งจะทำให้แบบรูปของสายอากาศมีลักษณะดังรูปด้านล่าง สำหรับพารามิเตอร์ของจานดาวเทียมนั้น ในการจำลองนี้จะกำหนดให้จานดาวเทียมสูง 1 เมตร มีมุมเงยเป็น 60 องศา และมีแบบรูปกระจายคลื่นเป็นแบบรูปตามข้อกำหนด ITU-R S.465-6 โดยจานดาวเทียมจะถูกวางไว้ที่ระยะห่างตั้งแต่ 1 เมตรจนถึง 5,000 เมตร

ค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐาน 5G และจานดาวเทียมจะถูกสรุปไว้ในตาราง 7 และตาราง 8 ตามลำดับ โดยการจำลองการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz นี้จะทำการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ Planet ที่ผลิตโดยบริษัท INFOVISTA



รูป 128 แบบรูปสายอากาศ 5G ตามข้อกำหนด RECOMMENDATION ITU-R M.2101 เมื่อมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศตามเอกสาร ITU-R WP5D Contribution 742 “AN OPEN-SOURCE IMPLEMENTATION OF RECOMMENDATION ITU-R M.2101”

ตาราง 7 พารามิเตอร์ของสถานีฐาน 5G สำหรับการจำลองการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียม

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ความถี่กลาง	3.5	GHz
ความกว้างแถบความถี่	20, 100	MHz

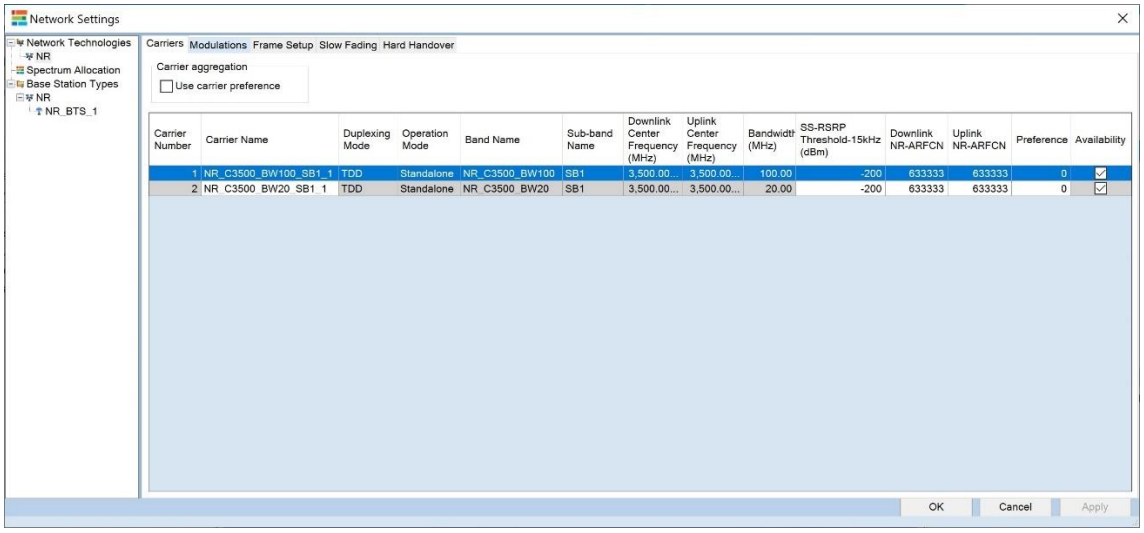
พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
กำลังงานส่ง	200	W
แบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศ	ITU-R M.2101	-
มุมก้มสายอากาศ	3	องศา
ความสูงของสายอากาศจากพื้นดิน	30	เมตร

ตาราง 8 พารามิเตอร์ของจานดาวเทียมระบบโทรทัศน์ดาวเทียม สำหรับการจำลองการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียม

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
แบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศ	ITU-R S.465-6	-
ความสูงสายอากาศจากพื้นดิน	1	เมตร
ระยะห่างแนวราบจากสถานีฐาน 5G	1 ถึง 5,000	เมตร
มุมเงยจานดาวเทียม	60	องศา

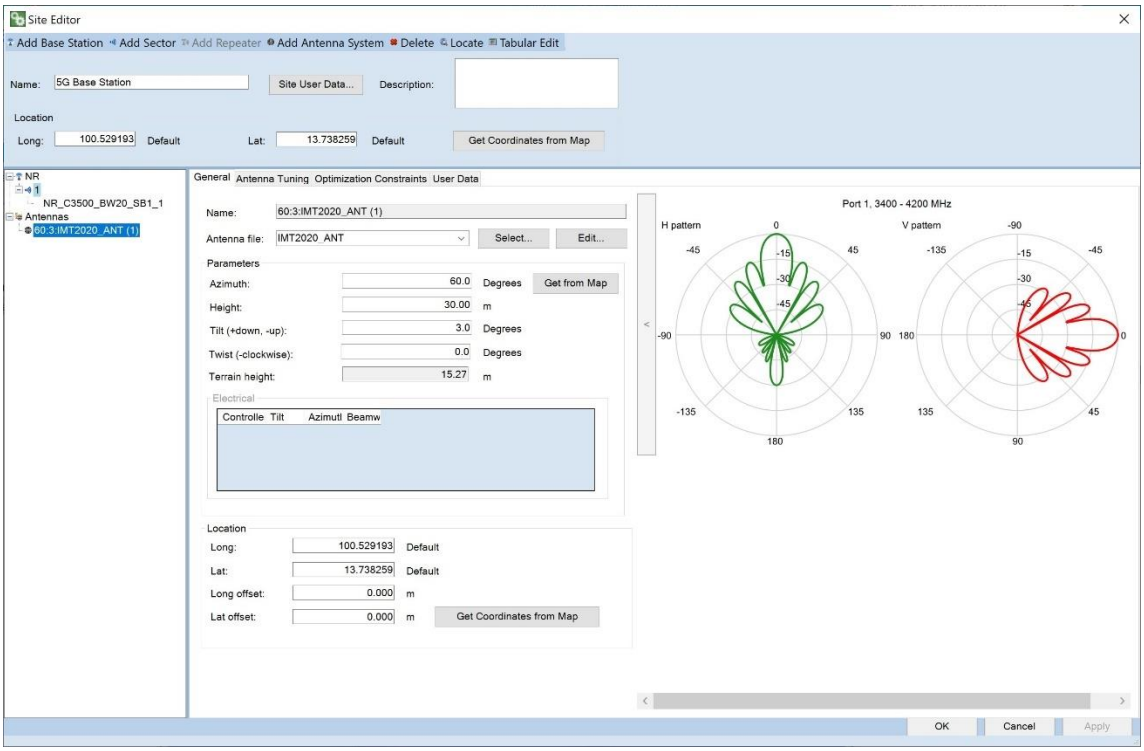
6.3.1 การจำลองด้วยซอฟต์แวร์ Planet

ในการจำลองนั้น ค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐาน 5G และจานดาวเทียมในซอฟต์แวร์ Planet จะต้องถูกกำหนดค่าให้มีค่าตามตาราง 7 และตาราง 8 ตามลำดับ โดยรูป 129 จะแสดงหน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐาน 5G โดยจากรูปดังกล่าวจะเห็นว่า ในหน้าต่างการตั้งค่าได้มีการกำหนดคลื่นพาห์ของสถานีฐาน 5G ไว้ 2 รูปแบบ โดยคลื่นพาห์แบบแรก (ซึ่งก็คือ Carrier Number 1) นั้น ได้ถูกกำหนดขึ้นสำหรับกรณีที่ต้องการให้สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz ด้วยกำลังงาน 200 W โดยใช้ความกว้างแถบความถี่เป็น 100 MHz ส่วนคลื่นพาห์แบบที่สอง (ซึ่งก็คือ Carrier Number 2) จะใช้สำหรับกรณีที่ต้องการให้สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz ด้วยกำลังงาน 200 W โดยใช้ความกว้างแถบความถี่เป็น 20 MHz



รูป 129 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐาน 5G

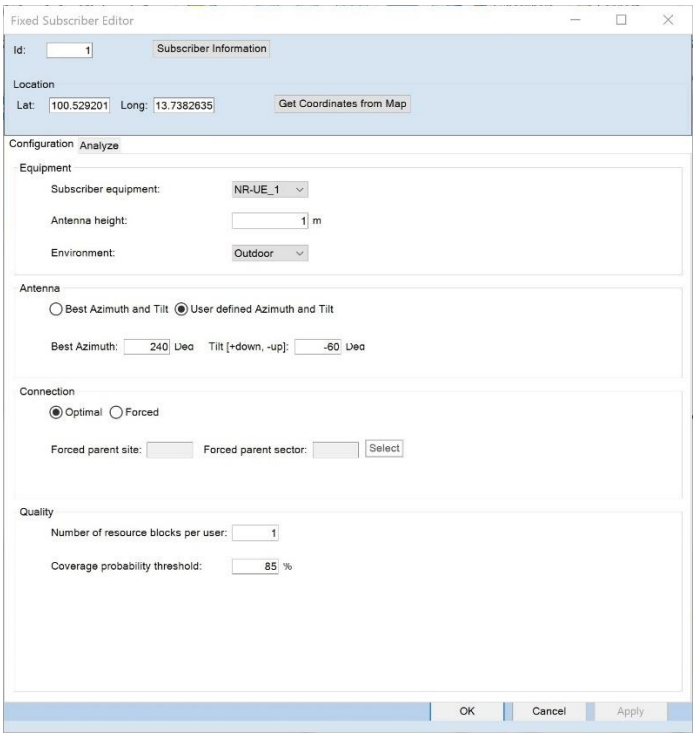
หลักจากที่ได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์คลื่นพาห์ของสถานีฐาน 5G แล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการกำหนดพารามิเตอร์ของสายอากาศสถานีฐาน 5G โดยรูป 130 จะแสดงหน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศสถานีฐาน 5G โดยจากรูปดังกล่าวจะเห็นว่า สายอากาศสถานีฐาน 5G ที่ใช้ในการจำลองได้ถูกกำหนดความสูงเป็น 30 เมตรและมุมก้มเป็น 3 องศา รวมถึงแบบรูปสายอากาศที่มีลักษณะเป็นไปตามแบบรูปสายอากาศในรูป 128



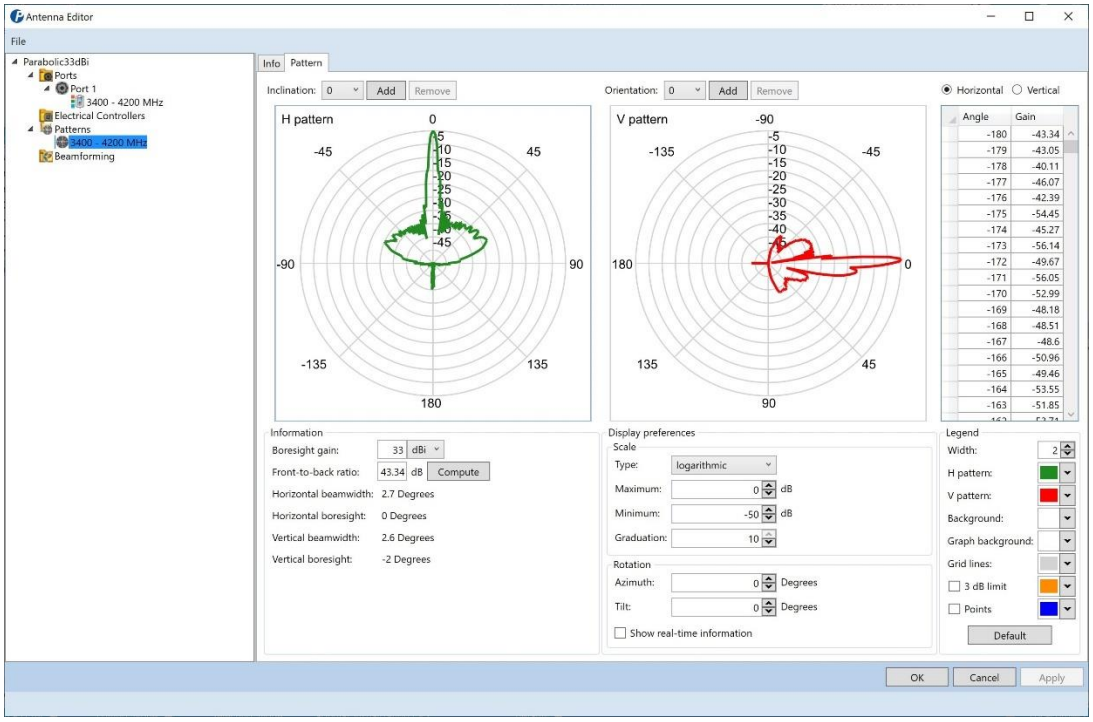
รูป 130 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศของสถานีฐาน 5G

สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของจานดาวเทียมที่ใช้ในการจำลองนั้น จะแสดงดังรูป 131 โดยจากรูปดังกล่าวจะเห็นว่า จานดาวเทียมได้ถูกกำหนดให้มีความสูงเป็น 1 เมตรและมีมุมเงยเป็น 60 องศา ส่วนแบบรูปกระจายคลื่นของจานดาวเทียมนั้น จะแสดงดังรูป 132

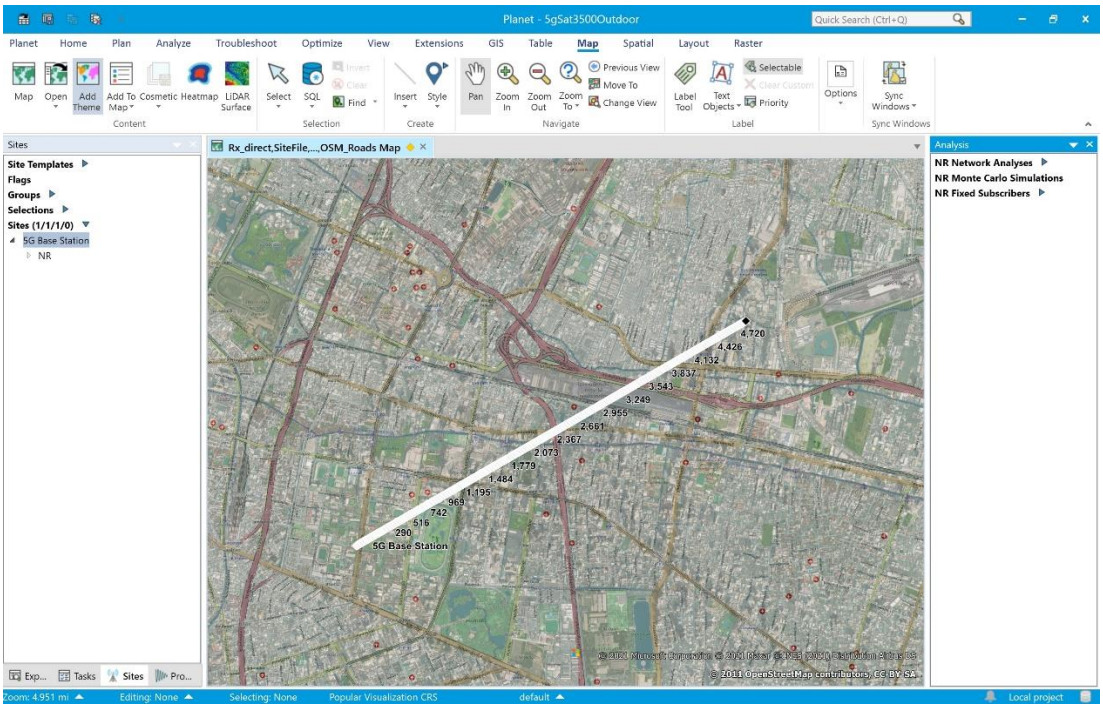
สำหรับพื้นที่ที่ใช้ในการทำการจำลองนั้น จะกำหนดให้มีลักษณะใกล้เคียงกับการทดสอบจริง ซึ่งดำเนินการทดสอบในพื้นที่ทดสอบ Chula Sandbox ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสถานีฐาน 5G จะถูกติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งอาคารจามจุรี 5 ส่วนจานดาวเทียมจะถูกวางลงในตำแหน่งหน้าสายอากาศ 5G ที่มุมเบี่ยงเบนตามแนวราบจากหน้าสายอากาศ 5G มีค่าเป็น 0 องศา และทำการปรับระยะห่างตั้ง 1 จนถึง 5,000 เมตรดังแสดงในรูป 133



รูป 131 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของจานดาวเทียม



รูป 132 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าแบบรูปกระจายคลื่นของจานดาวเทียม



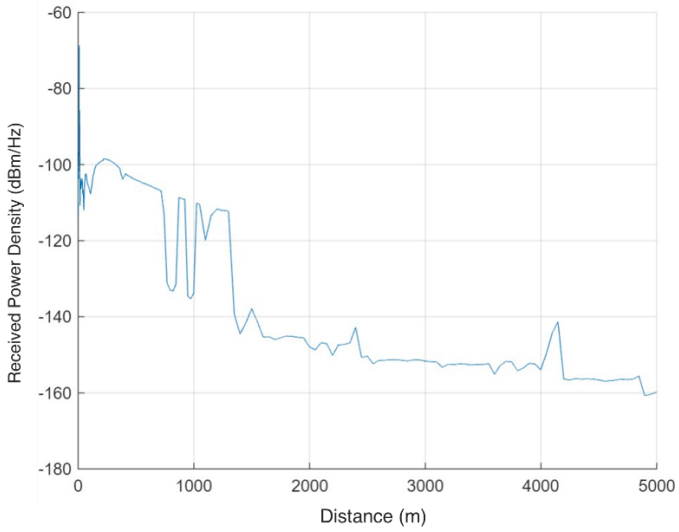
รูป 133 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีฐาน 5G และตำแหน่งการวางจานดาวเทียมที่ระยะ 1 ถึง 5,000 เมตรจากสถานีฐาน 5G

6.3.2 ผลการจำลอง

หลังจากที่ได้ทำการจำลองเพื่อหาความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณแทรกสอดที่จานดาวเทียมได้รับจากสถานีฐาน 5G ที่ระยะต่าง ๆ นั้น ค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณแทรกสอดที่ได้จะถูกนำไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณแทรกสอดกับระยะทาง จากนั้นกราฟดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการหาระยะห่างป้องกัน โดยในที่นี้ได้ทำการหาระยะห่างป้องกัน ณ ค่าขีดจำกัดการแทรกสอด (interference limit) ไว้หลายค่า และได้ทำการสรุประยะห่างป้องกันไว้ในรูปแบบของตาราง

สำหรับกราฟความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณแทรกสอดกับระยะทาง และตารางสรุประยะห่างป้องกันของกรณีที่สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz ด้วยกำลังงาน 200 W โดยใช้ความกว้างแถบความถี่เป็น 20 MHz นั้น จะแสดงดังรูป 134 และตาราง 9 ตามลำดับ

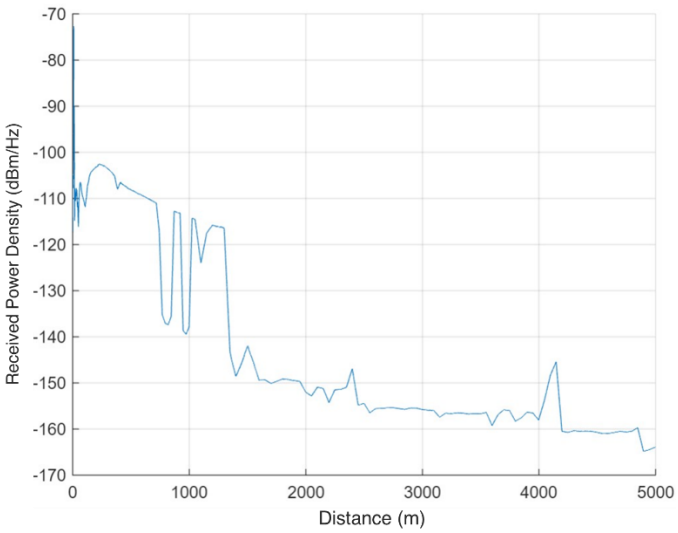
ส่วนในกรณีที่สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz ด้วยกำลังงาน 200 W โดยใช้ความกว้างแถบความถี่เป็น 100 MHz นั้น กราฟความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณแทรกสอดกับระยะทาง และตารางสรุประยะห่างป้องกัน จะแสดงดังรูป 135 และตาราง 10 ตามลำดับ



รูป 134 กราฟความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนที่จานดาวเทียมรับได้กรณีที่สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz ด้วยกำลังงาน 200 W โดยใช้ความกว้างแถบความถี่เป็น 20 MHz

ตาราง 9 ตารางสรุปค่าระยะห่างป้องกันการจำลองการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างสถานีฐาน 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียม กรณีที่สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz ด้วยกำลังงาน 200 W โดยใช้ความกว้างแถบความถี่เป็น 20 MHz

Interference Limit (dBm/Hz)	**ระยะห่างป้องกัน (เมตร)**
-100	324
-105	579
-110	922
-115	1304
-120	1314
-125	1323
-130	1332
-135	1342
-140	1530
-145	4159
-150	4176
-155	4192
-160	>5000
-165	>5000
-170	>5000
-175	>5000
-180	>5000
-185	>5000
-190	>5000



รูป 135 กราฟความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนที่จานดาวเทียมรับได้กรณีที่สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz ด้วยกำลังงาน 200 W โดยใช้ความกว้างแถบความถี่เป็น 100 MHz

ตาราง 10 ตารางสรุปค่าระยะห่างป้องกันการจำลองการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างสถานีฐาน 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียม กรณีที่สถานีฐาน 5G ส่งคลื่นความถี่ 3.5 GHz ด้วยกำลังงาน 200 W โดยใช้ความกว้างแถบความถี่เป็น 100 MHz

Interference Limit (dBm/Hz)	**ระยะห่างป้องกัน (เมตร)**
-100	15
-105	356
-110	644
-115	1052
-120	1306
-125	1315
-130	1325
-135	1334
-140	1343
-145	1543
-150	4162
-155	4179
-160	4849
-165	>5000
-170	>5000
-175	>5000
-180	>5000
-185	>5000
-190	>5000

6.3.3 การนำตารางไปใช้งาน

จากตารางสรุประยะห่างป้องกันที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่แล้วนั้น จะเห็นได้ว่าตารางดังกล่าวได้ทำการสรุปค่าระยะห่างป้องกันไว้ ณ ค่าขีดจำกัดการแทรกสอดหลายค่า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้ตารางสามารถเลือกใช้ค่าระยะห่างป้องกันได้สอดคล้องตรงกันกับกรณีที่ต้องการ

สำหรับในหัวข้อนี้จะนำเสนอแนวทางการนำตารางสรุประยะห่างป้องกันที่มีอยู่ไปใช้งาน โดยขั้นตอนการใช้งานตารางจะประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักสองขั้นตอนคือ การเลือกขีดจำกัดการแทรกสอดที่จะใช้ในการหาระยะห่างป้องกัน และการนำค่าขีดจำกัดการแทรกสอดนั้นไปหาค่าระยะห่างป้องด้วยการใช้ข้อมูลในตาราง

ในขั้นตอนของการเลือกขีดจำกัดการแทรกสอดนั้น ในที่นี้จะเริ่มจากการพิจารณาในกรณีที่ LNB แบบไม่ใช้ตัวกรอง 5G (5G filter) รับสัญญาณ 5G และสัญญาณดาวเทียมเข้ามาพร้อมกัน แล้วเกิดการเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation Distortion: IMD) โดยสมการของสัญญาณที่เกิดการเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกันสามารถเขียนอธิบายได้ดังนี้

$$y = a_1 x + a_2 x^3 = a_1 (x + \frac{a2}{a1} x^3) \qquad (1)$$

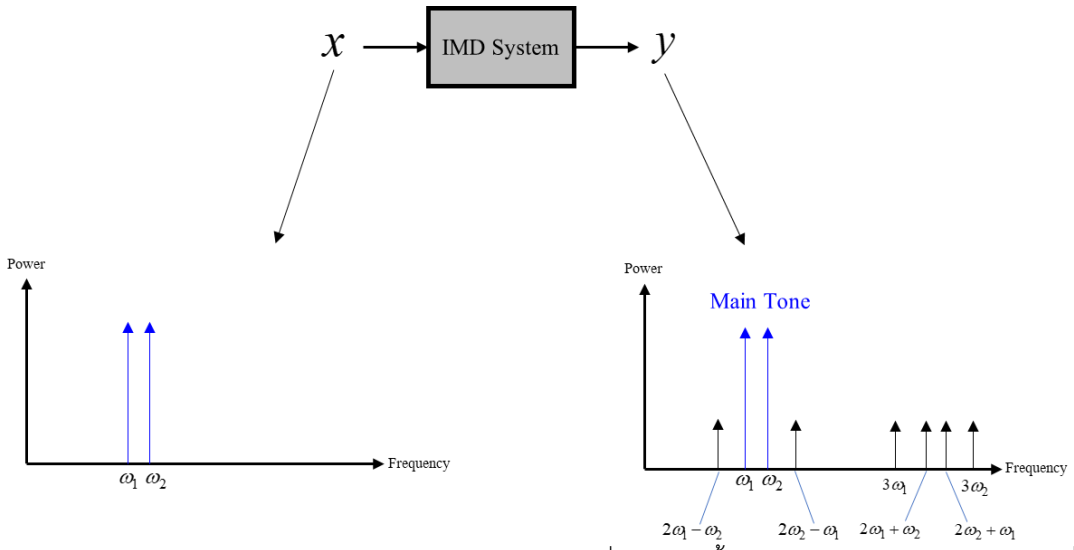
โดยที่สมการข้างต้นนี้จะเป็นการพิจารณาแค่ในส่วนของการมอดูเลตระหว่างกันลำดับที่ 1 (1st order intermodulation) และลำดับที่ 3 (3rd order intermodulation) เมื่อ y คือสัญญาณขาออกของ LNB x

คือสัญญาณขาเข้าของ LNB a_1 คือสัมประสิทธิ์ของเทอมลำดับที่ 1 และ a_2 คือสัมประสิทธิ์ของเทอมลำดับที่ 3

จากสมการข้างต้นหากได้ทำการกำหนดให้สัญญาณขาเข้าประกอบไปด้วยสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีแอมพลิจูดเท่ากันคือ A และมีความถี่เป็น ω_1 และ ω_2 ตามลำดับ ก็จะได้ว่า

$$x = A\cos(\omega_1 t) + A\cos(\omega_2 t) \tag{2}$$

โดยรูป 136 จะแสดงสเปกตรัมของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของระบบที่เกิดการเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกัน



รูป 136 สเปกตรัมของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของระบบที่เกิดการเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกัน เมื่อกำหนดให้แอมพลิจูดของสัญญาณทั้งสองเท่ากัน

เมื่อนำสมการ (2) แทนลงในสมการ (1) ก็จะได้ว่า

$$\begin{aligned} y &= a_1\left[(A\cos(\omega_1 t) + A\cos(\omega_2 t))\right] + a_2\left[(A\cos(\omega_1 t) + A\cos(\omega_2 t))\right]^3 \\ &= a_1 A\left[\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)\right] + a_2\Big[\, A^3\cos^3(\omega_1 t) + 3A^3\cos^2(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t) + \\ &\quad 3A^3\cos(\omega_1 t)\cos^2(\omega_2 t) + A^3\cos^3(\omega_2 t)\Big] \\ &= a_1 A\left[\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)\right] + a_2 A^3\Big[\, \cos^3(\omega_1 t) + 3\cos^2(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t) + \\ &\quad 3\cos(\omega_1 t)\cos^2(\omega_2 t) + \cos^3(\omega_2 t)\Big] \end{aligned} \tag{3}$$

และจากสมการ (3) เมื่อนำเทอม $a_2 A^3\left\{3\cos^2(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)\right\}$ และเทอม $a_2 A^3\left\{3\cos(\omega_1 t)\cos^2(\omega_2 t)\right\}$ มาพิจารณาก็จะได้ว่า

$$\begin{aligned} a_2 A^3\left\{3\cos^2(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)\right\} &= a_2 3A^3\left\{0.5\left[1+\cos(2\omega_1 t)\right]\cos(\omega_2 t)\right\} \\ &= a_2 3A^3\left\{0.5[\cos(\omega_2 t) + \cos(2\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)]\right\} \\ &= a_2 3A^3\left\{0.5\cos(\omega_2 t) + 0.25\left[\cos((2\omega_1 - \omega_2)t) + \right.\right. \\ &\quad \left.\left. + \cos((2\omega_1 + \omega_2)t)\right]\right\} \end{aligned} \tag{4}$$

$$
\begin{aligned}
a_2A^3\left\{3\cos(\omega_1 t)\cos^2(\omega_2 t)\right\} &= a_2 3A^3\left\{\cos(\omega_1 t)\times 0.5\left[1+\cos(2\omega_2 t)\right]\right\} \\
&= a_2 3A^3\left\{0.5[\cos(\omega_1 t)+\cos(\omega_1 t)\cos(2\omega_2 t)]\right\} \\
&= a_2 3A^3\left\{0.5\cos(\omega_1 t)+0.25\left[\cos((\omega_1-2\omega_2)t)+\right.\right. \\
&\quad \left.\left.+\cos((\omega_1+2\omega_2)t)\right]\right\} \\
&= a_2 3A^3\left\{0.5\cos(\omega_1 t)+0.25\left[\cos((2\omega_2-\omega_1)t)+\right.\right. \\
&\quad \left.\left.+\cos((\omega_1+2\omega_2)t)\right]\right\}
\end{aligned}
\qquad (5)
$$

โดยจากสมการ (4) และสมการ (5) นั้น เทอมที่จะทำให้เกิดผลการเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกันลำดับที่ 3 (3rd intermodulation product) ที่อยู่ใกล้กับโทนหลัก (main tone) นั้น คือเทอม $\cos((2\omega_1-\omega_2)t)$ ในสมการที่ (4) และเทอม $\cos((2\omega_2-\omega_1)t)$ ในสมการที่ (5)

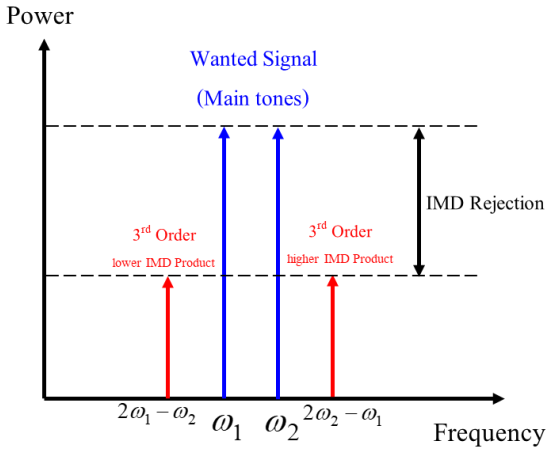
จากที่ได้กล่าวไป หากทำการพิจารณาสัญญาณ 2 ส่วน คือ สัญญาณที่ต้องการ (Wanted signal) และสัญญาณที่เป็น 3rd intermodulation product ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ต้องการให้มีแอมพลิจูดที่สูงนั้น จะได้ว่า

$$
\text{Wanted_signal} = \mathrm{a}_1 A[\cos(\omega_1 t)+\cos(\omega_2 t)] \qquad (6)
$$

$$
3^{\text{rd}}\text{order_IMD_signal} = 0.75a_2A^3[\cos((2\omega_1-\omega_2)t)+\cos((2\omega_2-\omega_1)t)] \qquad (7)
$$

และทั้งนี้ หากต้องการจะหาค่า IMD Rejection ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างสเปกตรัมกำลังของสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณ 3rd intermodulation product ดังแสดงในรูป 137 ก็สามารถทำได้ด้วยการใช้สมการต่อไปนี้

$$
\begin{aligned}
\text{IMD_Rejection} &= 20\log_{10}\left[\frac{\text{amplitude of wanted signal}}{\text{amplitude of } 3^{\text{rd}} \text{ order IMD product}}\right] \\
&= 20\log_{10}\left(\frac{a_1A}{0.75a_2A^3}\right) \\
&= 20\log_{10}\left(\frac{4}{3A^2}\times\frac{a_1}{a_2}\right)
\end{aligned}
\qquad (8)
$$



รูป 137 สเปกตรัมของสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณ 3rd intermodulation product และ IMD Rejection

จากสมการ (8) นั้น หากทำการย้ายข้างสมการและจัดรูปใหม่เพื่อใช้สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมลำดับที่ 1 a_1 และสัมประสิทธิ์ของเทอมลำดับที่ 3 a_2 ของระบบนั้น ก็จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{IMD_rejection} &= 20\log_{10}\left(\frac{4}{3A^2}\times\frac{a_1}{a_2}\right)\\ \left(\frac{4}{3A^2}\times\frac{a_1}{a_2}\right) &= 10^{\frac{\text{IMD_rejection}}{20}}\\ \frac{a_1}{a_2} &= 0.75\times A^2\times 10^{\frac{\text{IMD_rejection}}{20}}\end{aligned} \quad (9)$$

โดยหากทำการแทนค่า IMD_rejection และ A ลงในสมการข้างต้น ก็จะสามารถทำการหาอัตราส่วน a_1 ต่อ a_2 ของระบบได้

ในเอกสารคู่มือ ACA Series C-Band VSAT Outdoor Low Noise Block ของบริษัท ACA Series C-Band VSAT Outdoor Low Noise Block ได้กำหนดค่า Intermodulation Products ต่ำสุดมีค่าเป็น 45 dB เมื่อป้อนสัญญาณพาห์ขาเข้า (input carrier) มีกำลังงานเป็นเป็น -75 dBm โดยหากนำค่าทั้งสองไปแทนลงในสมการ (9) ก็จะทำให้สามารถหา อัตราส่วน a_1 ต่อ a_2 ได้ อย่างไรก็ดีเนื่องจากสมการ (9) จะใช้ A ซึ่งเป็นค่าแอมพลิจูดของสัญญาณพาห์ขาเข้าในการคำนวณ ดังนั้นจึงต้องทำการหาค่าแอมพลิจูดของสัญญาณพาห์ขาเข้าที่มีกำลังงานเป็นเป็น -75 dBm ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{Input_carrier(dBm)} &= 10\log_{10}\left(\frac{A^2}{2}\times 10^3\right)\\ -75 &= 10\log_{10}\left(\frac{A^2}{2}\times 10^3\right)\\ \left(\frac{A^2}{2}\times 10^3\right) &= 10^{-7.5}\\ A^2 &= 2\times 10^{-10.5}\\ A &= \sqrt{2\times 10^{-10.5}}\\ &= 7.952707288\times 10^{-6}\ \text{Volts}\end{aligned} \quad (10)$$

และเมื่อแทนค่า IMD_rejection = 45 dB กับ A = 7.9527 x 10^{-6} Volts ลงในสมการ (9) ก็จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\frac{a_1}{a_2} &= 0.75\times A^2\times 10^{\frac{\text{IMD_rejection}}{20}}\\ &= 0.75\times(7.952707288\times 10^{-6})^2\times 10^{\frac{45}{20}}\\ &= 8.4351199\times 10^{-9}\end{aligned} \quad (11)$$

ซึ่งหมายความว่า เมื่อทำการกำหนด IMD_rejection ให้มีค่าเป็น 45 dB และทำการป้อนสัญญาณพาห์ขาเข้า 2 ความถี่ โดยสัญญาณทั้งสองที่มีแอมพลิจูดเป็น 7.9527 x 10^{-6} Volts นั้น อัตราส่วน a_1 ต่อ a_2 ของระบบจะมีค่าเป็น 8.4351199 x 10^{-9}

หลังจากที่ทราบค่าอัตราส่วน a_1 ต่อ a_2 ของระบบแล้ว การหาค่า a_1 และ a_2 ก็สามารถกระทำได้ โดย a_1 สามารถถูกพิจารณาว่าเป็นอัตราขยายของสายอากาศภาครับได้ เมื่อกำหนดให้สายอากาศภาครับ

ขยายกำลังงานสัญญาณที่รับเข้ามาแค่เฉพาะในช่วงความถี่โทนหลักเท่านั้น ดังนั้น a_1 จึงสามารถหาค่าได้ด้วยการใช้สมการดังต่อไปนี้

$$G_{\mathrm{rx}} = 20\log_{10}(a_1) \tag{12}$$

ซึ่งถ้าหากได้ทำการกำหนดค่าอัตราขยายสายอากาศภาครับ G_{rx} แล้ว ก็จะสามารถหาค่า a_1 ได้ และหลังจากทราบค่า a_1 แล้ว ก็ให้นำ a_1 แทนลงไปในสมการ (11) ก็จะทำให้สามารถค่า a_2 ออกมาได้

หลังจากที่ทราบค่า a_1 และ a_2 ของระบบแล้วนั้น ในขั้นตอนต่อมาจะทำการกำหนดสัญญาณขาเข้าใหม่ โดยจะกำหนดให้สัญญาณขาเข้าประกอบไปด้วย สัญญาณของสถานีฐาน 5G และและสัญญาณจากดาวเทียมของระบบโทรทัศน์ดาวเทียม โดยสัญญาณของสถานีฐาน 5G จะมีแอมพลิจูดเป็น A และความถี่เป็น ω_1 ส่วนสัญญาณจากดาวเทียมจะมีแอมพลิจูดเป็น B และความถี่เป็น ω_2 ซึ่งสามารถเขียนอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$x = A\cos(\omega_1 t) + B\cos(\omega_2 t) \tag{13}$$

เมื่อ $A\cos(\omega_1 t)$ คือเทอมของสัญญาณจากสถานีฐาน 5G และ $B\cos(\omega_2 t)$ คือเทอมของสัญญาณจากดาวเทียมของระบบโทรทัศน์ดาวเทียม โดยเมื่อทำการแทนสมการ (13) ลงในสมการ (1) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} y &= a_1\left[(A\cos(\omega_1 t) + B\cos(\omega_2 t))\right] + a_2\left[(A\cos(\omega_1 t) + B\cos(\omega_2 t))\right]^3 \\ &= a_1\left[A\cos(\omega_1 t) + B\cos(\omega_2 t)\right] + a_2\Big[\, A^3\cos^3(\omega_1 t) + 3A^2B\cos^2(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t) + \\ &\quad 3AB^2\cos(\omega_1 t)\cos^2(\omega_2 t) + B^3\cos^3(\omega_2 t)\Big] \end{aligned} \tag{14}$$

จากสมการข้างต้น เมื่อนำเทอม $a_2 3A^2B\left\{\cos^2(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)\right\}$ และ $a_2 3AB^2\left\{\cos(\omega_1 t)\cos^2(\omega_2 t)\right\}$ มาพิจารณาก็จะได้ว่า

$$\begin{aligned} a_2 3A^2B\left\{\cos^2(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)\right\} &= a_2 3A^2B\left\{0.5\left[1+\cos(2\omega_1 t)\right]\cos(\omega_2 t)\right\} \\ &= a_2 3A^2B\left\{0.5[\cos(\omega_2 t) + \cos(2\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)]\right\} \\ &= a_2 3A^2B\left\{0.5\cos(\omega_2 t) + 0.25\left[\cos((2\omega_1 - \omega_2)t) + \right.\right. \\ &\quad \left.\left. + \cos((2\omega_1 + \omega_2)t)\right]\right\} \end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned} a_2 3AB^2\left\{\cos(\omega_1 t)\cos^2(\omega_2 t)\right\} &= a_2 3AB^2\left\{\cos(\omega_1 t)\times 0.5\left[1+\cos(2\omega_2 t)\right]\right\} \\ &= a_2 3AB^2\left\{0.5[\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_1 t)\cos(2\omega_2 t)]\right\} \\ &= a_2 3AB^2\left\{0.5\cos(\omega_1 t) + 0.25\left[\cos((\omega_1 - 2\omega_2)t) + \right.\right. \\ &\quad \left.\left. + \cos((\omega_1 + 2\omega_2)t)\right]\right\} \\ &= a_2 3AB^2\left\{0.5\cos(\omega_1 t) + 0.25\left[\cos((2\omega_2 - \omega_1)t) + \right.\right. \\ &\quad \left.\left. + \cos((\omega_1 + 2\omega_2)t)\right]\right\} \end{aligned} \tag{16}$$

โดยจากสมการ (15) และสมการ (16) นั้น เทอมที่จะทำให้เกิด 3rd intermodulation product ที่อยู่ใกล้กับโทนหลักนั้น คือเทอม $\cos((2\omega_1 - \omega_2)t)$ ในสมการที่ (15) และเทอม $\cos((2\omega_2 - \omega_1)t)$ ในสมการที่ (16) และหากทำการพิจารณาสัญญาณ 2 ส่วนเช่นเดิม ก็จะได้ว่าสัญญาณที่ต้องการคือสัญญาณจากดาวเทียม ส่วนสัญญาณที่ไม่ต้องการคือสัญญาณที่เป็น 3rd intermodulation product ซึ่งสามารถเขียนอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Wanted_signal} = \text{a}_1 B[\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)] \quad (17)$$

$$3^{\text{rd}}\text{order_IMD_signal} = 0.75a_2[AB^2\cos((2\omega_1 - \omega_2)t) + A^2 B\cos((2\omega_2 - \omega_1)t)] \quad (18)$$

และค่า IMD_Rejection ซึ่งในที่นี้คือค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณจากดาวเทียมระบบโทรทัศน์ดาวเทียมกับสัญญาณ 3rd intermodulation product จะมีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{IMD_Rejection} &= 20\log_{10}\left[\frac{\text{amplitude of wanted signal}}{\text{amplitude of } 3^{\text{rd}} \text{ order IMD product}}\right] \\ &= 20\log_{10}\left[\frac{a_1 B}{0.75a_2 AB^2}\right] \\ &= 20\log_{10}\left[\frac{4}{3}\left(\frac{a_1}{a_2}\right)\left(\frac{1}{AB}\right)\right]\end{aligned} \quad (19)$$

จากสมการข้างต้นนี้ หากกำหนดให้สัญญาณจากดาวเทียมระบบโทรทัศน์ดาวเทียมมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังสูงกว่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของ 3rd intermodulation product มากกว่า 10 dB ขึ้นไปนั้น ก็จะได้ว่า IMD_Rejection จะต้องมีค่ามากกว่า 10 dB ซึ่งสามารถเขียนอธิบายได้ดังอสมการต่อไปนี้

$$\text{IMD_Rejection} > 10 \quad (20)$$

ซึ่งเมื่อทำการแทนสมการ (19) ลงในอสมการข้างต้น ก็จะได้ว่าสัญญาณ 5G จะต้องมีค่าแอมพลิจูดดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{IMD_Rejection} &> 10 \\ 20\log_{10}\left[\frac{4}{3}\left(\frac{a_1}{a_2}\right)\left(\frac{1}{AB}\right)\right] &> 10 \\ \frac{4}{3}\left(\frac{a_1}{a_2}\right)\left(\frac{1}{AB}\right) &> 10^{0.5} \\ A &< \frac{4}{3}\left(\frac{a_1}{a_2}\right)\left(\frac{10^{-0.5}}{B}\right)\end{aligned} \quad (21)$$

หรือสัญญาณ 5G จะต้องมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังเป็น

$$A_{\text{PSD}} < 20\log_{10}\left[\frac{4}{3}\left(\frac{a_1}{a_2}\right)\left(10^{-0.5}\right)\right] - B_{\text{PSD}} \quad (22)$$

เมื่อ A_{PSD} คือความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณ 5G และ B_{PSD} คือความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณดาวเทียม

หากสมมุติให้ สัญญาณจากดาวเทียมที่วัดได้ ณ ตำแหน่งขาเข้า (input) ของอุปกรณ์ LNB มีค่าเป็น -55 dBm/100 kHz ดังนั้นจึงได้ว่า

$$
\begin{aligned}
A_{\mathrm{PSD}} &< 20\log_{10}\left[\frac{4}{3}\left(\frac{a_1}{a_2}\right)\left(10^{-0.5}\right)\right] - B_{\mathrm{PSD}}(\mathrm{dBm/100kHz}) \\
&= 20\log_{10}\left[\frac{4}{3}\left(8.4351199\times10^{-9}\right)\left(10^{-0.5}\right)\right] + 55(\mathrm{dBm/100kHz}) \\
&= -168.979 + 55(\mathrm{dBm/100kHz}) \\
&= -113.979 \qquad \mathrm{dBm/100kHz} \\
&= -113.979 - 50 \qquad \mathrm{dBm/Hz} \\
&= -163.979 \qquad \mathrm{dBm/Hz}
\end{aligned}
\tag{23}
$$

ซึ่งมีความหมายว่า หากต้องการให้สัญญาณจากดาวเทียมระบบโทรทัศน์ดาวเทียมมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังสูงกว่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของ 3rd intermodulation product มากกว่า 10 dB ขึ้นไป (IMD_Rejection > 10 dB) นั้น สัญญาณ 5G จะต้องมีสเปกตรัมกำลังต่ำกว่า -163.979 dBm/Hz ที่ ณ ตำแหน่งขาเข้าของอุปกรณ์ LNB และหากต้องการทราบว่า สัญญาณ 5G จะต้องมีสเปกตรัมกำลังต่ำกว่าเท่าใด ณ ตำแหน่งขาเข้าของสายอากาศ ก็สามารถทำได้ด้วยการลบค่าอัตราขยายสายอากาศจากค่าสเปกตรัมกำลัง ณ ตำแหน่งขาเข้าของอุปกรณ์ LNB เช่น หากกำหนดให้สายอากาศ 5G มีอัตราขยายเป็น 30 dBi สัญญาณ 5G จะต้องมีสเปกตรัมกำลังดังต่อไปนี้

$$
\begin{aligned}
A_{\mathrm{PSD_front_Ant}} &= A_{\mathrm{PSD}} - G_{rx} \\
&= -163.979 - 30 \\
&= -193.979 \qquad \mathrm{dBm/Hz}
\end{aligned}
\tag{24}
$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หากต้องการให้สัญญาณจากดาวเทียมระบบโทรทัศน์ดาวเทียมมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังสูงกว่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของ 3rd intermodulation product มากกว่า 10 dB ขึ้นไป (IMD_Rejection > 10 dB) นั้น สัญญาณ 5G จะต้องมีสเปกตรัมกำลังต่ำกว่า -163.979 dBm/Hz ที่ ณ ตำแหน่งขาเข้าของอุปกรณ์ LNB และต่ำกว่า -193.979 dBm/Hz ที่ ณ ตำแหน่งขาเข้าของสายอากาศที่มีอัตราขยายสายอากาศเป็น 30 dBi โดยหากดูจากตารางที่ 4 จะพบว่าระยะทางป้องกันต้องมีค่ามากกว่า 5,000 เมตร ซึ่งในการคำนวณเราแสดงค่าระยะป้องกันไว้เพียงแค่ 5,000 เมตร (5 กิโลเมตร) เท่านั้น

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในความเป็นจริงผิวโลกมีลักษณะเป็นทรงกลม ทำให้สัญญาณที่รับอาจถูกบดบังด้วยระยะทางของขอบฟ้า ทำให้ระยะทางป้องกันจะมีค่าลดลงเท่ากับระยะทางของขอบฟ้า หากระยะทางของขอบฟ้ามีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้หากคำนวณระยะทางของขอบฟ้าในกรณีให้จานดาวเทียมมีความสูงจากพื้นดิน (h) 1 เมตร จะสามารถคำนวณระยะทางของขอบฟ้า (d) ได้จาก d [km] = $3.57(h)^{1/2}$ = 3.57 กิโลเมตร [อ้างอิงจาก *Applied Optics* **37,** 3785–3792 (1998)] ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าระยะทางป้องกันจะลดลงเหลือ 3.57 กิโลเมตรในกรณีที่จานดาวเทียมมีความสูง 1 เมตรจากพื้นดิน

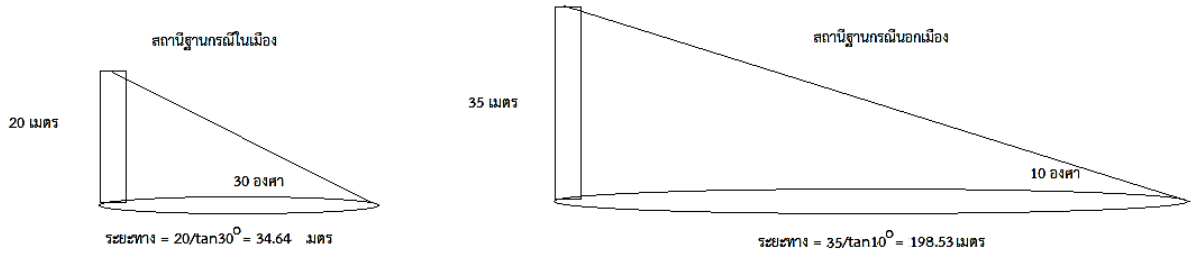
6.4 การจำลองเพื่อหาระยะห่างป้องกันสำหรับการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียมในกรณีการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ชนบท (Rural Area)

สำหรับการจำลองเพื่อหาระยะห่างป้องกันสำหรับการใช้คลื่นความถี่ 3.5 GHz ระหว่างระบบ 5G และระบบโทรทัศน์ดาวเทียมในกรณีการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ชนบท (Rural Area) นั้น ในที่นี้ตารางด้านล่างจะถูกใช้เพื่อหาค่าความสูงและมุมก้มของสถานีฐาน 5G ในกรณีในเมือง (Urban) และกรณีชนบท หรือนอกเมือง (Rural) ซึ่งสามารถเขียนเป็นรูปภาพแสดงเปรียบเทียบสถานีทั้งสองที่มีค่าความสูงและมุมก้มที่แตกต่างกันได้ดังรูป 138

Table 6-4: 5G Base Station Characteristics[18] for 16 x 16 AAS Arrays

Environment	Urban	Suburban	Rural
Antenna Pattern	ITU-R M.2101-0	ITU-R M.2101-0	ITU-R M.2101-0
Array Size	16 x 16	16 x 16	16 x 16
Element Gain	6.4 dBi	7.1 dBi	7.1 dBi
Element Horizontal 3 dB Beamwidth	90 degrees	90 degrees	90 degrees
Element Vertical 3 dB Beamwidth	65 degrees	54 degrees	54 degrees
Front-to-Back Ratio	30 dB	30 dB	30 dB
Horizontal Array Spacing Coefficient	0.5	0.5	0.5
Vertical Array Spacing Coefficient	0.7	0.9	0.9
Vertical Scan Range[19]	-30 to 0 degrees	-10 to 0 degrees	-10 to 0 degrees
Peak Array Gain	30.5 dBi	31.2 dBi	31.2 dBi
Mechanical Downtilt[20]	10 degrees	6 degrees	3 degrees
Mast Height	20 meters	25 meters	35 meters
Downlink Bandwidth	100 MHz	100 MHz	100 MHz
Activity Factor	50%	50%	50%
Conducted Power per Element	25 dBm	25 dBm	25 dBm
Peak Output EIRP	79.6 dBm	80.3 dBm	80.3 dBm
Peak Output PSD (EIRP)[21]	59.6 dBm/MHz	60.3 dBm/MHz	60.3 dBm/MHz
Conducted PSD, Spurious	-20 dBm/MHz	-20 dBm/MHz	-20 dBm/MHz
Peak Output PSD, Spurious (EIRP)[22]	-13.6 dBm/MHz	-12.9 dBm/MHz	-12.9 dBm/MHz

The 50% activity factor is assumed based on Report ITU-R M.2292-0, using the deployment parameters for bands between 3 and 6 GHz given in Table 4 of Section 5.3 [24]. This factor is treated as a duty cycle in order to compute average output power from the base stations based on the peak power listed in the table. With a 50% activity factor,



รูป 138 ภาพเปรียบเทียบสถานีฐาน 5G กรณีภายในเมืองและนอกเมือง

ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบ เราจะพบว่ากรณีสถานีฐานตั้งอยู่ภายในเมืองจะมีพื้นที่สัญญาณครอบคลุมระยะทาง 34.64 เมตร ในขณะที่สถานีฐานที่ตั้งอยู่ภายนอกเมืองนั้นมีพื้นที่ครอบคลุมระยะทาง 198.53 เมตร ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม ลักษณะภูมิประเทศภายในเมืองและภายนอกเมืองจะมีความแตกต่างกัน โดยพื้นที่ภายในเมืองจะมีตึกสูงและอาคารหนาแน่น ในขณะที่พื้นที่ภายนอกเมืองจะมีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งกว้าง ทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นจากหลายทิศทาง (Multipath) ด้วยเฟสที่แตกต่างกัน เนื่องจากคลื่นบางเส้นทางไปกระทบสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขา ตึก อาคาร รถยนต์ ส่งผลให้เกิดการเสริมและหักล้างของคลื่นในแต่ละทิศทาง เกิดเป็นการลดทอนเนื่องจากระยะทาง (Path Loss) ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ จำนวนสถานีฐานกรณีนอกเมืองนั้น จะมีจำนวนน้อยกว่าสถานีฐานที่อยู่ภายในเมือง ซึ่งอาจจะทำให้ผลรวมของค่าความหนาแน่นของความเข้มของสัญญาณน้อยกว่าภายในเมือง ส่งผลให้เกิดระดับของสัญญาณรบกวน (Interference) ที่แตกต่างกัน

ดังนั้น เพื่อให้ได้รับผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง ทำให้ต้องมีการศึกษาถึงผลกระทบดังกล่าวเพิ่มเติม โดยการทดสอบในสนามจริง ต่อไป

6.5 การประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจ

การประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจมีแนวคิดจากการตั้งสมมติฐานในเชิงเศรษฐศาสตร์ในเรื่องของการประเมินต้นทุนการดำเนินงาน ทั้งในส่วนของ จำนวนครัวเรือนที่มีการใช้งานโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมประเภท C-Band ราคาเฉลี่ยของการจำนวนหัวรับสัญญาณดาวเทียม (LNB) ประเภท C-Band ค่าแรงการดำเนินงาน เป็นต้น โดยแสดงวิธีการคำนวณด้วยแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ ในบทที่ 8.9

ระยะเวลา	ปี
ระยะเวลาในการเปลี่ยนหัวรับ LNB ทุกครัวเรือน	5
จำนวนครัวเรือนต่อปีที่ได้รับการเปลี่ยนหัวรับ LNB ต่อปี[30]	2,532,000

ต้นทุนทั้งหมดต่อปี	บาท
ต้นทุนรวมครัวเรือนทั้งหมด	2,719,065,025

ต้นทุนทั้งหมดต่อปี (คาดการณ์เงินเฟ้อ 5 ปี)	2022	2023	2024	2025	2026
ต้นทุนรวมครัวเรือนทั้งหมด	2,719,065,025	2,719,065,025	2,719,065,025	2,719,065,025	2,719,065,025
อัตราเงินเฟ้อของแต่ละปี	1.20%	1.24%	1.55%	1.75%	1.90%
รวมต้นทุนต่อปี (บาท)	2,751,693,805	2,752,781,431	2,761,210,533	2,766,648,663	2,770,727,261

จากสมมติฐานการคำนวณต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการเปลี่ยนแปลงหัวรับ LNB ให้เป็นประเภท C Band ที่รองรับกับการป้องกันคลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz ของกิจการโทรคมนาคมนั้น พบว่า มีต้นทุนในการเปลี่ยนให้กับจำนวนครัวเรือนที่มีโทรทัศน์ดาวเทียมทั้งประเทศภายในระยะเวลา 5 ปี ทั้งสิ้น 2,644,417,914 บาท ต่อปี

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงภายใน 5 ปี นั้นให้แก่ 2,532,000 ครัวเรือน พบว่า ในปีที่ 1 ใช้ต้นทุนจำนวน 2,676,150,929 บาท และเมื่อคิดอัตราเงินเฟ้อในทุกๆ ปี นั้น พบว่า ในปีที่ 5 จะมีต้นทุนอยู่ที่ 2,719,065,025 บาท

[30] ผลสำรวจจำนวนครัวเรือนที่มีโทรทัศน์ดาวเทียม สำนักงานสถิติแห่งชาติ พ.ศ. 2562

6.6 ผลการศึกษาการรบกวนสัญญาณจากระบบ 5G ต่อเครื่องวัดความสูงด้วยคลื่นวิทยุของอากาศยาน

6.6.1 ข้อกังวลและคำเตือนโดย ICAO

องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) ได้ออกหนังสือ (เลขที่ SP 74/1-21/22 ลงวันที่ 25 มีนาคม 2564) แจ้งให้องค์กรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบินและหน่วยงานซึ่งทำหน้าที่กำกับดูแลและจัดสรรคลื่นความถี่ของประเทศต่าง ๆ ได้ตระหนักถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากสัญญาณของกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G ในย่านความถี่ใกล้เคียงกับช่วงความถี่ใช้งานของเครื่องวัดความสูงด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Altimeter: RA) ของอากาศยาน ได้แก่ความถี่ในช่วง 4200 MHz – 4400 MHz ซึ่ง ICAO มีข้อกังวลว่าสัญญาณของระบบ 5G อาจมีโอกาสรบกวนสัญญาณของ RA และส่งผลให้การทำงานของ RA เกิดความผิดพลาด และก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยอย่างร้ายแรงต่อการบิน ผู้โดยสาร ลูกเรือ และประชาชนภาคพื้นดิน ดังนั้น ICAO จึงเรียกร้องให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องพิจารณาการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G ในย่านใกล้เคียงกับความถี่ของ RA โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของการบินและความปลอดภัยของสาธารณะเป็นลำดับสำคัญ ทางคณะวิจัยของโครงการนี้จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดการรบกวนของสัญญาณในสถานการณ์ดังกล่าว และแนวทางในการบรรเทาการรบกวนของสัญญาณ โดยการศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยหรือแนวทางการกำกับดูแลในต่างประเทศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.6.2 เครื่องวัดความสูงด้วยคลื่นวิทยุ

เครื่องวัดความสูงด้วยคลื่นวิทยุ (RA) เป็นระบบเรดาร์ที่ใช้ระบุความสูงของอากาศยานเหนือภูมิประเทศ สำหรับเครื่องบินพาณิชย์ RA จะทำงานขณะเครื่องอยู่เหนือพื้นดินไม่เกินระดับความสูงประมาณ 2,500 ft. (~ 762 m) โดยจะใช้งานร่วมกับเครื่องวัดความสูงด้วยความดัน (Pressure Altimeter: PA) ซึ่งเป็นเครื่องมือระบุความสูงโดยใช้หลักการวัดความดันอากาศที่แปรผกผันกับระยะความสูงจากพื้นดิน ในการระบุความสูงของอากาศยานเหนือพื้นดินจะใช้ค่าที่ได้จากเครื่องวัดทั้งสองแบบตรวจสอบซึ่งกันและกันเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

หลักการทำงานของ RA คือ ระบบจะส่งคลื่นวิทยุ (Transmitted wave) ออกไปกระทบกับพื้นดินหรือภูมิประเทศและรับคลื่นที่สะท้อน (Reflected wave) กลับมายังระบบ ดังแสดงในรูปที่ 1 จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นสะท้อนที่รับมาและคลื่นที่ส่งออกไปสามารถคำนวณหาระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางไปและกลับ และแปลงเป็นระยะความสูงของระบบจากพื้นดินได้ RA เป็นระบบเรดาร์ชนิด Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW) ซึ่งส่งสัญญาณคลื่นรูปไซน์แบบต่อเนื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามเวลา (Frequency sweep) เป็นฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยมในช่วงความถี่ $f_{\min}$ และ $f_{\max}$ ดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับ RA ที่ติดตั้งบนอากาศยานจะมีความถี่เปลี่ยนแปลงในช่วง 4200 MHz – 4400

MHz จากผลต่างระหว่างความถี่ของคลื่นที่ส่งออกไป (f_2) และความถี่ของคลื่นสะท้อนที่รับเข้ามา (f_1) ณ เวลาใดๆ นั่นคือ

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

สามารถคำนวณหาระยะเวลาหน่วง (Delay time) Δt ระหว่างคลื่นทั้งสองได้จากสมการ

$$\Delta t = \frac{\Delta f}{df/dt}$$

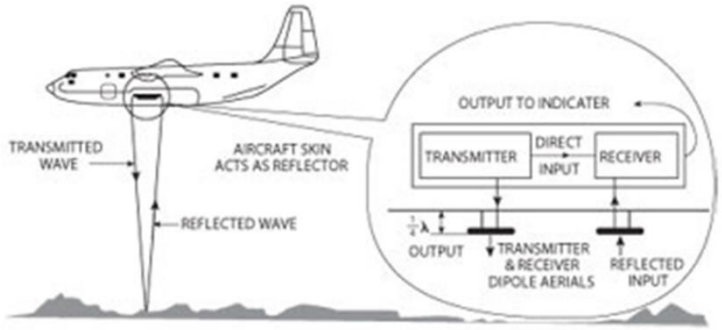
โดยที่ df/dt คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณคลื่นเรดาร์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา (Hz/s)

ระยะเวลาหน่วง Δt คือระยะเวลาที่คลื่นเรดาร์ใช้ในการเดินทางไปและกลับระหว่างอากาศยานและพื้นดิน ดังนั้น สามารถคำนวณหาระยะความสูงของอากาศยานจากพื้นดิน H ได้จากสมการ

$$H = \frac{c\Delta t}{2} = \frac{c\Delta f}{2(df/dt)}$$

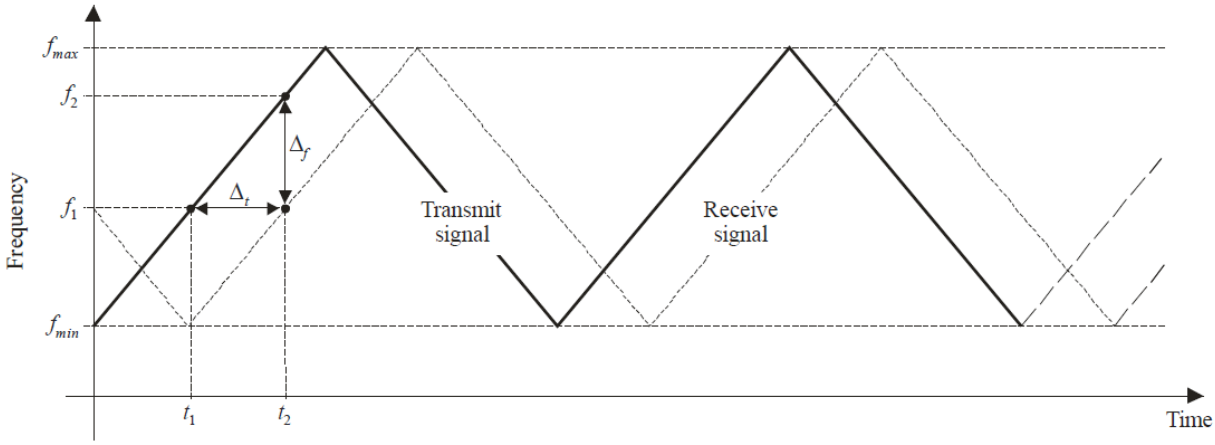
โดยที่ c คือ ความเร็วที่คลื่นเรดาร์เดินทางในอากาศ มีค่าประมาณ 3×10^8 m/s

ส่วนประกอบสำคัญของ RA ได้แก่ เครื่องส่ง (Transmitter) เครื่องรับ (Receiver) สายอากาศ (Antennas) ของเครื่องส่งและเครื่องรับ หน่วยประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Unit) และหน่วยแสดงผล (Display Unit)



รูป 139 หลักการทำงานเบื้องต้นและส่วนประกอบของ Radio Altimeter ที่ติดตั้งบนอากาศยาน

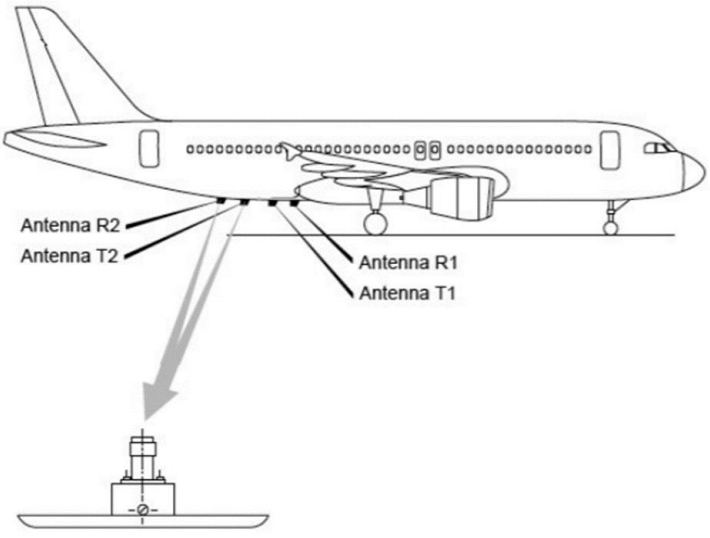
ที่มา : เว็บไซต์



รูป 140 ความถี่ของสัญญาณคลื่นเรดาร์ชนิด FMCW ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม (เส้นทึบแสดงความถี่ของคลื่นที่ส่งออกไป และเส้นประแสดงความถี่ของคลื่นสะท้อนที่รับมา)

ที่มา : RCTA (2020)

รูปที่ 109 แสดงตัวอย่างตำแหน่งสายอากาศของเครื่องส่งและเครื่องรับของ RA จำนวน 2 ชุด ที่ติดตั้งบนเครื่องบิน Airbus A320 สายอากาศของ RA ที่ติดตั้งบนอากาศยานมีอัตราขยาย (Gain) ประมาณ 8 – 13 dBi และมีความกว้างลำคลื่นที่กำลังครึ่งหนึ่ง (Half-power beamwidth) ประมาณ 35 – 60 องศา เพื่อให้มีช่วงครอบคลุมสัญญาณกว้างเพียงพอสำหรับการเคลื่อนที่ของอากาศยานในแนว pitch และ roll ขณะบินสายอากาศมีโพลาไรเซชันในแนวราบ (Horizontally polarized)

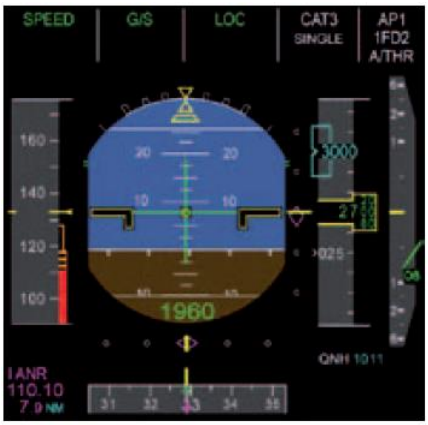


รูป 141 สายอากาศของเครื่องส่ง (T1, T2) และเครื่องรับ (R1, R2) ของ RA ที่ติดตั้งบนเครื่องบิน Airbus A320

ที่มา : Baillion (2011)

ค่าระยะความสูงของอากาศยานเหนือพื้นดินที่วัดโดย RA จะถูกแสดงบนแผงหน้าปัด (Console) ของเครื่องบิน ดังรูปที่ 110 และถูกนำไปใช้ในระบบต่าง ๆ ของอากาศยาน ได้แก่

- Automatic Flight Control System (AFCS) สำหรับการนำเครื่องลงจอดแบบอัตโนมัติโดยระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ (Instrument Landing System: ILS)
- Ground Proximity Warning System (GPWS) ซึ่งใช้ข้อมูลระยะความสูงจากพื้นดินและอัตราการเปลี่ยนแปลงความสูง
- Terrain Awareness System
- Aircraft Collision Avoidance

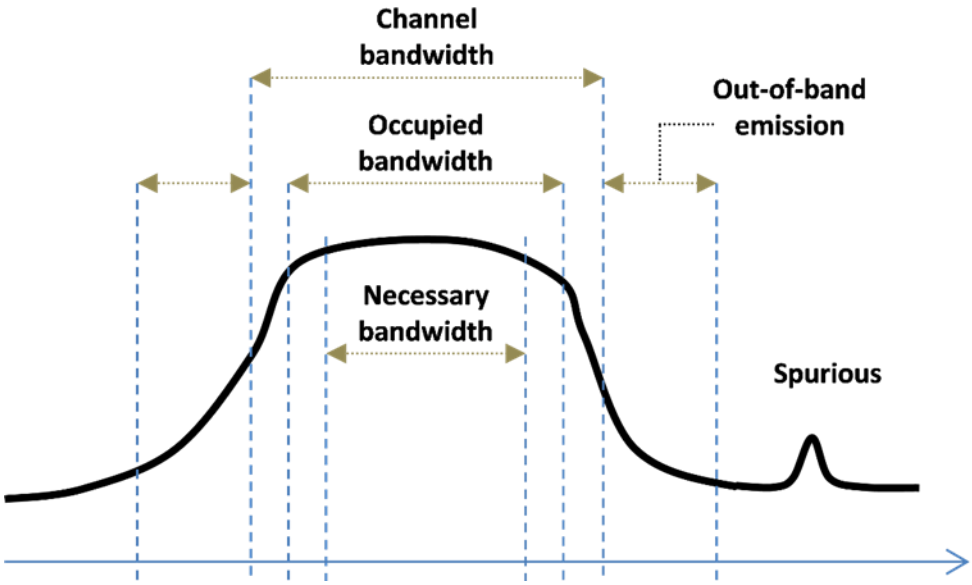


รูป 142 แผงหน้าปัดของเครื่องบินแสดงค่าระยะความสูงของอากาศยานเหนือพื้นดินที่วัดโดย RA

ที่มา : Baillion (2011)

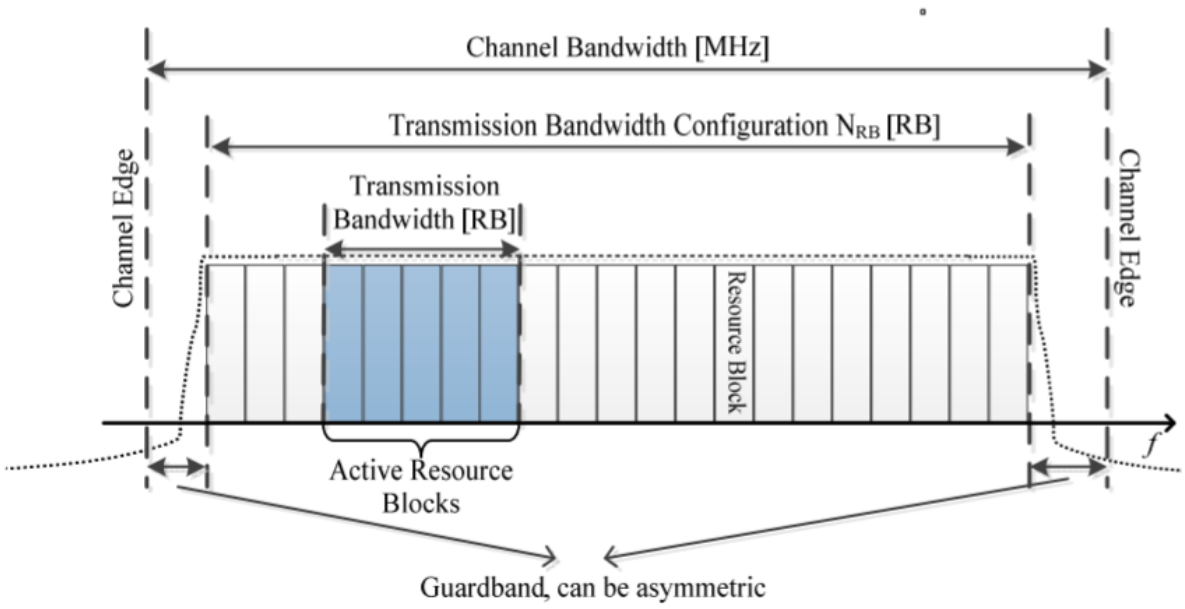
6.6.3 ลักษณะการรบกวนสัญญาณ RA

สเปกตรัมของสัญญาณระบบ 5G แสดงดังรูปที่ 110 ประกอบด้วย ส่วนที่อยู่ภายในความกว้างแถบความถี่หรือแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ (Channel bandwidth) ส่วนที่แพร่ล้ำออกนอกช่องสัญญาณไปยังความถี่ที่อยู่ติดกัน เรียกว่า การแพร่นอกแถบ (Out-of-band emission) ซึ่งอาจเกิดจากมอดูเลชัน (Modulation) หรือความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linearity) ของเครื่องส่ง และส่วนหางของสเปกตรัมที่ต่อเนื่องยาวออกไปและมีระดับกำลังงานต่ำมาก เรียกว่า การแพร่แปลกปลอม (Spurious emission) ทั้งส่วนการแพร่นอกแถบและการแพร่แปลกปลอมถือเป็นการแพร่ที่ไม่ต้องการ (Unwanted emissions)



(a) ภาพรวมของสเปกตรัม

ที่มา : ECO (2017)



รูป 143 ลักษณะสเปกตรัมของสัญญาณระบบ 5G

(b) ส่วนของสเปกตรัมที่อยู่ภายในความกว้างแถบความถี่ของช่องสัญญาณ

ที่มา : 3GPP (2021)

การรบกวนของสัญญาณระบบ 5G ต่อสัญญาณเรดาร์ของ RA แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

1) Receiver front-end overload เกิดจากการที่สัญญาณรบกวนมีกำลังสูงมากพอจนทำให้อุปกรณ์ส่วนหน้า (Front-end) ของเครื่องรับเกิดภาวะอิ่มตัว (Saturated) และแสดงคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) ทำให้เกิดผลอันไม่พึงประสงค์ เช่น Harmonic distortion และ Intermodulation ซึ่งเป็นสาเหตุให้ RA ทำงานผิดพลาดได้

ค่าเกณฑ์ (Threshold) ของกำลังเข้า (Input power) ที่ทำให้เครื่องรับของ RA เกิดภาวะโอเวอร์โหลด สำหรับกลุ่มตัวอย่าง RA ที่เป็นตัวแทนชนิดแอนะล็อก (Analog) และชนิดดิจิทัล (Digital) แสดงในตารางที่ 218 และ 219 พร้อมด้วยค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังเข้า (Input power spectrum density: Input PSD) สำหรับกรณีสัญญาณมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 100 MHz (*) จากข้อมูลดังกล่าวจะได้ว่า ค่าเกณฑ์ของกำลังเข้าที่ทำให้เครื่องรับเกิดภาวะโอเวอร์โหลดสำหรับกลุ่มตัวอย่าง RA ชนิดแอนะล็อกมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -56 dBm และสำหรับชนิดดิจิทัลมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -53 dBm

ตาราง 11 ค่าเกณฑ์ของกำลังเข้าที่ทำให้เครื่องรับเกิดภาวะโอเวอร์โหลด สำหรับกลุ่มตัวอย่าง RA ชนิดแอนะล็อก

ที่มา : ITU-R (2014)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Input Power Threshold (dBm)	-30	-53	-56	-40	-40	-40
Input PSD Threshold (dBm/Hz) *	-50	-73	-76	-60	-60	-60

ตาราง 12 ค่าเกณฑ์ของกำลังเข้าที่ทำให้เครื่องรับเกิดภาวะโอเวอร์โหลด สำหรับกลุ่มตัวอย่าง RA ชนิดดิจิทัล

ที่มา : ITU-R (2014)

	D1	D2	D3	D4
Input Power Threshold (dBm)	-30	-43	-53	-40
Input PSD Threshold (dBm/Hz) *	-50	-63	-73	-60

โดยทั่วไป อุปกรณ์ส่วนหน้าของ RA จะมีความสามารถในการกรองสัญญาณรบกวนในระดับปานกลาง นั่นคือ ตัวกรองสัญญาณวิทยุ (RF filter) มีช่วงการตัดความถี่ (Roll-off) ที่ไม่ชันมาก ดังตารางที่ 220 ดังนั้น RA จึงมีโอกาสถูกรบกวนจากสัญญาณที่อยู่ในช่วงความถี่ใช้งาน (4200 MHz – 4400 MHz) หรือสัญญาณที่มีความถี่ติดกันหรือใกล้เคียงกับช่วงความถี่ดังกล่าว การรบกวนสัญญาณ RA โดยสัญญาณระบบ 5G ในลักษณะนี้จึงมีโอกาสเกิดจากกรณีที่สัญญาณระบบ 5G มีแถบความถี่ใกล้เคียงหรือติดกับช่วงความถี่ใช้งานของ RA

ตาราง 13 ลักษณะสมบัติการกรองสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์ส่วนหน้าของ RA

ที่มา : ITU-R (2014)

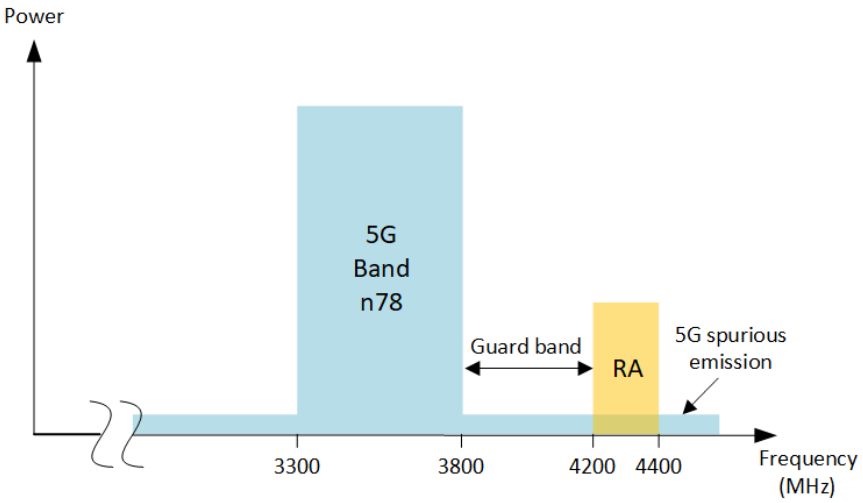
Interference frequency (MHz)	**RF filter attenuation (dB)**
$\leq$ 4,200	Attenuated at 24 dB per octave to a maximum of 40 dB
4,200	0
4,300	0
4,400	0
$\geq$ 4,400	Attenuated at 24 dB per octave to a maximum of 40 dB

2) การที่สัญญาณรบกวนที่มีความถี่ในช่วงความถี่ใช้งานของ RA ทำให้ Signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) ของเครื่องรับมีค่าลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณของเครื่องรับลดน้อยลง

3) การที่เครื่องรับตรวจจับและประมวลผลสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ในช่วงความถี่ใช้งานของ RA เสมือนเป็นสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนจากพื้นดิน ทำให้การคำนวณระยะความสูงเกิดความคลาดเคลื่อน

การรบกวนในลักษณะที่ 2) และ 3) อาจเกิดจากกรณีสัญญาณระบบ 5G มีแถบความถี่อยู่ห่างจากช่วงความถี่ใช้งานของ RA แต่มีการแพร่แปลกปลอมล้ำเข้าไปในช่วงความถี่ใช้งานของ RA

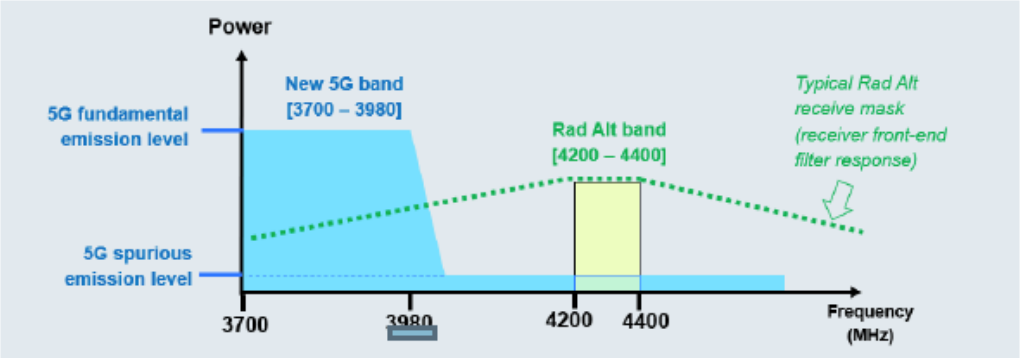
คลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz ซึ่งคาดว่าจะถูกนำมาใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G ในประเทศไทย ได้แก่ แถบความถี่ (Band) n78 (3300 MHz – 3800 MHz) ซึ่งจะมีระยะห่างจากช่วงความถี่ใช้งานของ RA (4200 MHz – 4400 MHz) อย่างน้อย 400 MHz เป็นแถบความถี่ป้องกัน (Guard band) ดังรูปที่ 6 นอกจากนั้น หากจัดสรรคลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz สำหรับระบบ 5G โดยให้มี Guard band จากช่วงความถี่ใช้งานของกิจการโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมเพื่อการรับชมโดยเฉพาะ (TVRO) ในย่านความถี่ C-Band อย่างน้อย 100 MHz ตามข้อเสนอแนะในโครงการนี้ นั่นคือ 3400 MHz – 3600 MHz จะทำให้มี Guard band จากช่วงความถี่ใช้งานของ RA อย่างน้อย 600 MHz ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดการรบกวนสัญญาณ RA โดยสัญญาณระบบ 5G ที่อยู่ภายในแถบความถี่โดยตรงและทำให้เครื่องรับของ RA เกิดภาวะโอเวอร์โหลดจึงไม่ควรจะเกิดขึ้น จะมีโอกาสเพียงแต่การแพร่แปลกปลอมของสัญญาณระบบ 5G ไปซ้อนทับกับช่วงความถี่ใช้งานของ RA ดังรูปที่ 112 และอาจเกิดการรบกวนสัญญาณในลักษณะที่ 2) หรือ 3) และทำให้ RA ทำงานผิดพลาดได้



รูป 144 สเปกตรัมของสัญญาณระบบ 5G แถบความถี่ n78 (3400 MHz – 3800 MHz) และสัญญาณของ RA

6.6.4 ตัวอย่างผลการศึกษาในสหรัฐอเมริกา

คณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร (Federal Communications Commission: FCC) ของสหรัฐอเมริกา ได้จัดสรรคลื่นความถี่ในช่วง 3700 – 4200 MHz ใหม่ โดยกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม (Fixed-Satellite Service: FSS) ถูกย้ายไปใช้งานในช่วงความถี่ 4000 – 4200 MHz และจัดสรรคลื่นความถี่ช่วง 3700 – 3980 MHz สำหรับใช้งานในกิจการอื่น ๆ รวมไปถึงกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล ระบบ 5G โดยเริ่มประมูลคลื่นความถี่ในย่านดังกล่าวในเดือนธันวาคม ค.ศ. 2020 ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการบินของสหรัฐอเมริกามีข้อกังวลเกี่ยวกับโอกาสที่สัญญาณระบบ 5G ในย่านความถี่ 3700 – 3980 MHz อาจไปรบกวนการทำงานของ RA บนอากาศยาน ซึ่งใช้คลื่นความถี่ในช่วง 4200 – 4400 MHz ที่อยู่ใกล้เคียงกับความถี่ของระบบ 5G ดังรูปที่ 326



รูป 145 สเปกตรัมของสัญญาณระบบ 5G และ Spurious Emission ที่ล้ำเข้าไปในช่วงความถี่ใช้งานของ RA

ที่มา : RTCA (2020)

สหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาและทดลอง-ทดสอบการรบกวนสัญญาณของระบบ 5G ย่านความถี่ 3700 – 3980 MHz ต่อ RA บนอากาศยาน ซึ่งใช้ความถี่ช่วง 4200 - 4400 MHz โดยสนใจการรบกวนทั้งที่เกิดจากสถานีฐาน (Base Station) และอุปกรณ์ผู้ใช้ (User equipment: UE) ในระบบ 5G ทั้งนี้ การทดลอง-ทดสอบของสหรัฐอเมริกาถือเป็นต้นแบบที่ประเทศต่าง ๆ ใช้ในการทดลอง-ทดสอบการรบกวนสัญญาณ RA ของแต่ละประเทศ

สัญญาณของระบบ 5G ที่มีโอกาสรบกวน RA อาจเกิดจากแหล่งกำเนิดดังต่อไปนี้

- สถานีฐาน
- UE ที่ใช้งานภาคพื้นดินหรือที่ใช้งานบนเครื่องบิน

ในการทดลอง-ทดสอบ นอกจากสัญญาณรบกวนที่เกิดจากระบบ 5G แล้ว ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากการใช้งานของอากาศยาน เช่น การดำเนินการก่อนการแตะพื้นดิน อีกด้วย

แบบจำลองที่ใช้คำนวณกำลังสัญญาณรบกวน แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$P_{RX} = P_{source} + G_{source} - L_{prop} + G_{RA} - L_{RX}$$

โดยที่

P_{RX} คือ กำลังสัญญาณรบกวนที่พอร์ตขาเข้าของเครื่องรับของ RA (dBm)

P_{source} คือ กำลังส่งออกของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (dBm)

G_{source} คือ อัตราขยายของสายอากาศแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (dBi)

L_{prop} คือ ค่าความสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยัง RA (dB)

G_{RA} คือ อัตราขยายของสายอากาศ RA (dBi)

L_{RX} คือ ค่าความสูญเสียในสายส่งระหว่างสายอากาศและเครื่องรับของ RA (dB)

แบบจำลองสำหรับคำนวณสัญญาณรบกวนข้างต้น อาจแสดงในรูปของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power spectral density: PSD) ดังนี้

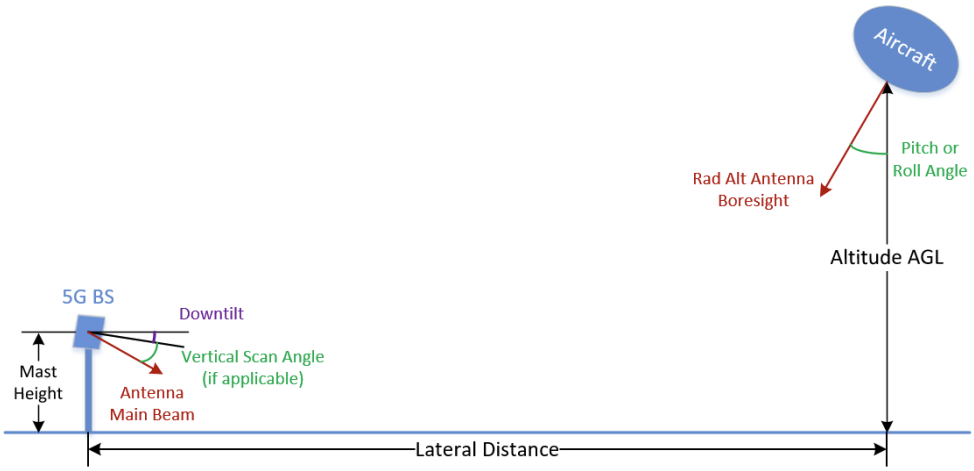
$$P_{RX} = P_{source} + G_{source} - L_{prop} + G_{RA} - L_{RX}$$

โดยที่

PSD_{RX} คือ PSD ของสัญญาณรบกวนที่พอร์ตขาเข้าของเครื่องรับของ RA (dBm/MHz)

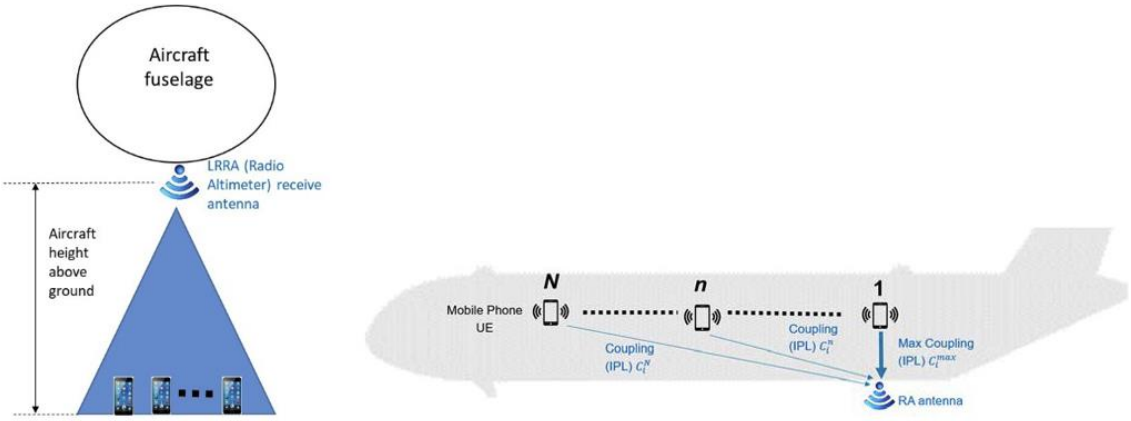
PSD_{source} คือ PSD ของสัญญาณรบกวนที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิด (dBm/MHz)

รูปแบบการทดสอบการรบกวนสัญญาณ RA โดยสถานีฐาน 5G ขึ้นกับมุมก้ม (Down-tilt) ของสายอากาศสถานีฐาน 5G และระยะห่างในแนวราบ (Lateral distance) ดังแสดงในรูปที่ 114



รูป 146 รูปแบบสำหรับการคำนวณการรบกวนสัญญาณ RA ของอากาศยาน โดยสถานีฐาน 5G

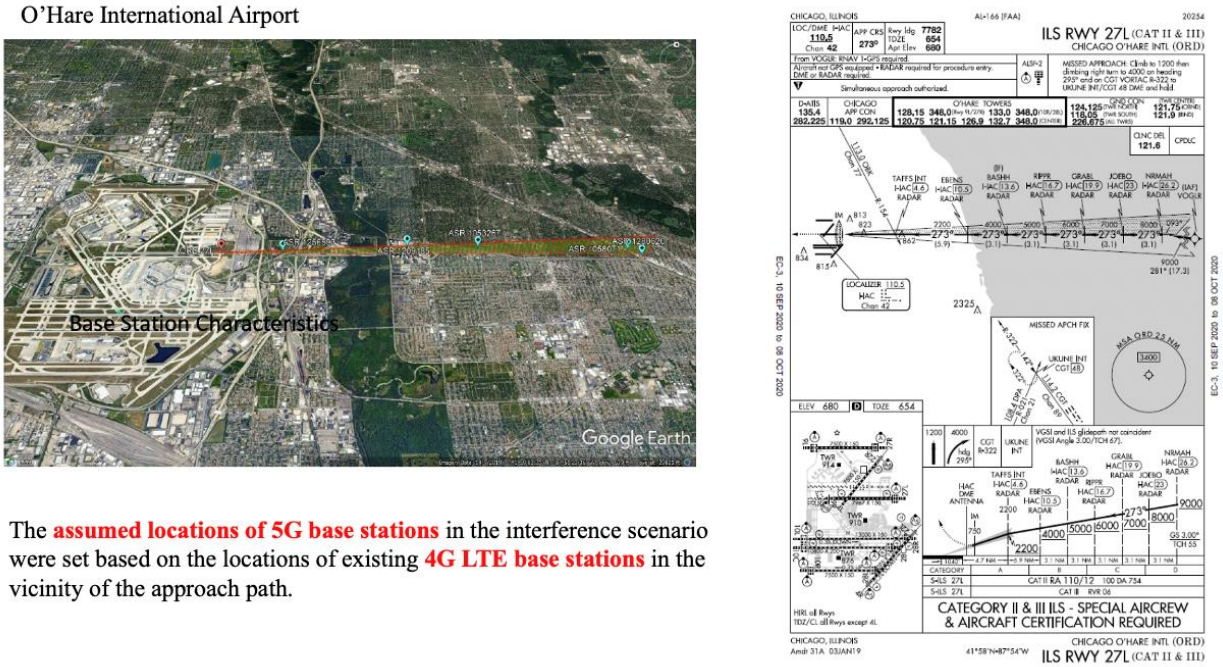
ที่มา : RTCA (2020)



รูป 147 รูปแบบสำหรับการคำนวณการรบกวนสัญญาณ RA ของอากาศยาน โดย 5G UE

ที่มา : RTCA (2020)

พื้นที่ในการทดสอบการรบกวนสัญญาณ RA ของอากาศยานโดยสัญญาณระบบ 5G ได้แก่ สนามบินนานาชาติ O'Hare เมืองชิคาโก รัฐอิลลินอยส์ ดังแสดงในรูปที่ 329



รูป 148 พื้นที่การทดสอบการรบกวนสัญญาณ RA โดยสัญญาณระบบ 5G ในสนามบินนานาชาติ O'Hare

ที่มา : RTCA (2020)

การทดลอง-ทดสอบแบ่งตามลักษณะของอากาศยานได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- Usage Category 1: Commercial air transport airplanes, both single-aisle and wide-body

- Usage Category 2: All other fixed-wing aircraft not included in Usage Category 1, including regional, business aviation, and general aviation airplanes

- Usage Category 3: Both transport and general aviation helicopters

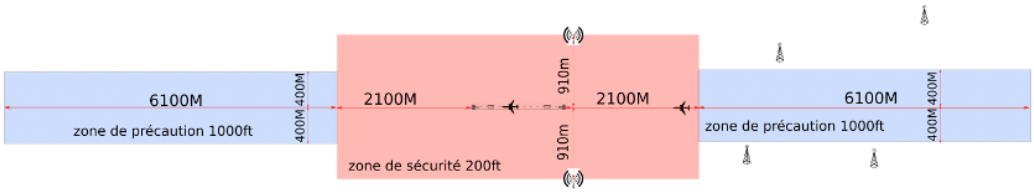
การทดสอบใช้สายอากาศของสถานีฐาน 5G ชนิด Array ขนาด 8 x 8 ซึ่งมีลักษณะเฉพาะแสดงดังตาราง 4 โดยใช้ตำแหน่งสถานีฐานของระบบ 4G ที่ติดตั้งอยู่แล้วในบริเวณโดยรอบสนามบิน ดังแสดงในรูป 117

ตาราง 14 ลักษณะเฉพาะของสายอากาศสถานีฐาน 5G ชนิด Array ขนาด 8 x 8 ที่ใช้ในการทดสอบ

ที่มา : RTCA (2020)

Environment	Urban	Suburban	Rural
Antenna Pattern	ITU-R M.2101-0	ITU-R M.2101-0	ITU-R M.2101-0
Array Size	8 x 8	8 x 8	8 x 8
Element Gain	6.4 dBi	7.1 dBi	7.1 dBi
Element Horizontal 3 dB Beamwidth	90 degrees	90 degrees	90 degrees
Element Vertical 3 dB Beamwidth	65 degrees	54 degrees	54 degrees
Front-to-Back Ratio	30 dB	30 dB	30 dB
Horizontal Array Spacing Coefficient	0.5	0.5	0.5
Vertical Array Spacing Coefficient	0.7	0.9	0.9
Vertical Scan Range[14]	-30 to 0 degrees	-10 to 0 degrees	-10 to 0 degrees
Peak Array Gain	24.5 dBi	25.2 dBi	25.2 dBi
Mechanical Downtilt[15]	10 degrees	6 degrees	3 degrees
Mast Height	20 meters	25 meters	35 meters
Downlink Bandwidth	100 MHz	100 MHz	100 MHz
Activity Factor	50%	50%	50%
Conducted Power per Element	25 dBm	25 dBm	25 dBm
Peak Output EIRP	67.5 dBm	68.2 dBm	68.2 dBm
Peak Output PSD (EIRP)[16]	47.5 dBm/MHz	48.2 dBm/MHz	48.2 dBm/MHz
Conducted PSD, Spurious	-20 dBm/MHz	-20 dBm/MHz	-20 dBm/MHz
Peak Output PSD, Spurious (EIRP)[17]	-13.6 dBm/MHz	-12.9 dBm/MHz	-12.9 dBm/MHz

ผลการทดสอบสามารถสรุปพื้นที่ปลอดภัย (Safety zone) และพื้นที่เฝ้าระวัง (Precaution zone) บริเวณโดยรอบทางวิ่งในสนามบิน แสดงดัง



รูป 149 ผลสรุป Safety zone และ Precaution zone จากการทดสอบการรบกวนสัญญาณ RA

ที่มา : RTCA (2020)

6.6.5 ตัวอย่างแนวทางการกำกับดูแลในต่างประเทศ

ตัวอย่างแนวทางการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G ในย่านความถี่ใกล้เคียงกับช่วงความถี่ใช้งานของเครื่องวัดความสูงด้วยคลื่นวิทยุของอากาศยานเพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของกิจการการบิน ในประเทศต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้

1) สหรัฐอเมริกา

ผลการทดลอง-ทดสอบการรบกวนของสัญญาณระบบ 5G ต่อ RA ของอากาศยาน ที่สนามบินนานาชาติ O'Hare ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณากำหนดแนวทางการกำกับดูแล สรุปได้ดังนี้

การรบกวนสัญญาณ RA สำหรับอากาศยานแต่ละประเภท โดยสถานีฐานระบบ 5G มีดังนี้

- Usage Category 1: สถานีฐาน 5G อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนมากกว่า Safety interference limit ซึ่งขึ้นกับความสูงของอากาศยาน และระยะห่างระหว่างอากาศยานกับสถานีฐาน
- Usage Category 2: สถานีฐาน 5G ทำให้เกิดการรบกวน RA ที่อาจก่อให้เกิดอันตราย (Harmful Interference)
- Usage Category 3: สถานีฐาน 5G ทำให้เกิดการรบกวน RA ที่อาจก่อให้เกิดอันตราย ใกล้เคียงกับ Usage Category 2

การรบกวนสัญญาณ RA สำหรับอากาศยานแต่ละประเภท โดย 5G UE มีดังนี้

- 5G UE ที่ใช้งานภาคพื้นดิน พบว่าไม่ทำให้เกิดการรบกวน RA ที่เป็นอันตราย
- 5G UE ที่ใช้งานบนอากาศยาน ก่อให้เกิดการรบกวน RA ที่เป็นอันตรายต่ออากาศยานทั้ง 3 ประเภท

2) ออสเตรเลีย

ประเทศออสเตรเลียจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G โดยกำหนดความกว้างแถบความถี่วิทยุป้องกัน (Guard band) เท่ากับ 200 MHz จากช่วงความถี่ใช้งานของ RA (4200 MHz – 4400 MHz)

3) ญี่ปุ่น

ประเทศญี่ปุ่นจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G โดยกำหนด Guard band เท่ากับ 100 MHz จากช่วงความถี่ใช้งานของ RA (4200 MHz – 4400 MHz) และกำหนดให้สถานีฐานอยู่ห่างจากบริเวณทางวิ่ง (Runway) ในสนามบินอย่างน้อย 200 เมตร

4) ฝรั่งเศส

ประเทศฝรั่งเศสกำหนดให้กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G ตั้งสถานีฐานห่างจากบริเวณทางวิ่งในสนามบิน ปรับทิศทางสายอากาศของสถานีฐานที่อยู่ใกล้บริเวณสนามบินให้ชี้ลงพื้นดิน และควบคุมความแรงของสัญญาณ อีกทั้งกำหนดให้ผู้โดยสารและลูกเรือปิดเครื่องโทรศัพท์มือถือระบบ 5G หรือใช้งานเฉพาะในโหมดเครื่องบิน (Airplane mode) ขณะอยู่บนเครื่องบิน

5) แคนาดา

ประเทศแคนาดาใช้แนวทางกำกับดูแลตามอย่างสหรัฐอเมริกา

6.6.6 ข้อเสนอแนะแนวทางกำกับดูแลสำหรับประเทศไทย

ประเทศไทยมีแผนที่จะนำโครงข่ายโทรคมนาคมระบบ 5G มาให้บริการในสนามบินและนำไปสู่การสร้างระบบนิเวศของสนามบินอัจฉริยะ (Smart Airport) เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวและขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการบิน ตามยุทธศาสตร์ระดับชาติและนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ของรัฐบาล ดังนั้น หากมีการนำคลื่นความถี่ย่าน 3,500 MHz มาให้บริการโครงข่าย 5G ในบริเวณสนามบิน จะต้องมีมาตรการกำกับดูแลเพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณระบบ 5G ไปรบกวนการทำงานของ RA บนอากาศยาน โดยคำนึงถึงความปลอดภัยด้านการบินเป็นลำดับสำคัญ แนวทางการกำกับดูแลฯ อาจเสนอแนะได้ดังนี้

1. ข้อกำหนดสำหรับ Guard band ระหว่างความถี่ใช้งานของระบบ 5G และความถี่ใช้งานของ RA ที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการป้องกันการรบกวนสัญญาณ ทั้งนี้ หากกำหนด Guard band โดยใช้หลักเกณฑ์เดียวกับที่เสนอแนะสำหรับการป้องกันการรบกวนกิจการ TVRO ในย่านความถี่ C-Band นั่นคือ จัดสรรคลื่นความถี่สำหรับระบบ 5G ในช่วง 3400 MHz – 3600 MHz ก็จะมี Guard band ที่น่าจะเพียงพอ โดยอ้างอิงจากตัวอย่างในต่างประเทศข้างต้น

2. ข้อกำหนดสำหรับสถานีฐานของโครงข่ายระบบ 5G ที่ตั้งใกล้กับบริเวณสนามบิน ได้แก่

    - ระยะห่างของสถานีฐานจากทางวิ่งในสนามบินอย่างน้อย 200 เมตร (อ้างอิงจากตัวอย่างในต่างประเทศ)
    - ปรับทิศทางของสายอากาศให้ชี้ลงสู่พื้นดิน

3. ผู้โดยสารบนเครื่องบินจะไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด รวมทั้งคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือ ขณะที่เครื่องบินทะยานขึ้นหรือร่อนลงจอดที่สนามบิน เมื่อเครื่องบินบินที่ระดับสูงประมาณ 3 กม. จากพื้นดินหรือมากกว่า ผู้โดยสารจึงจะได้รับอนุญาตให้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ส่วนโทรศัพท์มือถือและแท็บเล็ตอนุญาตให้ใช้งานเฉพาะใน “โหมดเครื่องบิน” (Airplane mode) เท่านั้น ซึ่งทุกสายการบินในประเทศไทยและสายการบินต่างชาติส่วนใหญ่ใช้กฎนี้

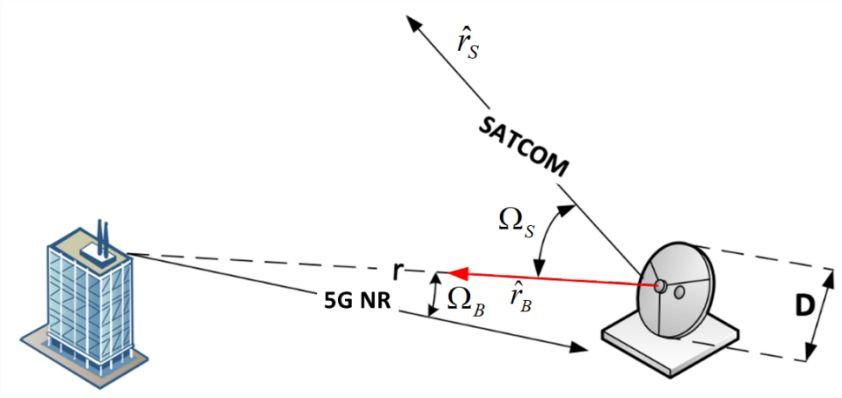
6.6.7 ข้อคิดเห็นของผู้ใช้งาน

จากการสอบถามความเห็นของนักบินพาณิชย์ของสายการบินภายในประเทศ ซึ่งเป็นผู้ใช้งาน RA โดยตรง จำนวน 4-5 ท่าน สามารถสรุปข้อคิดเห็นได้ดังนี้

1) ในกรณีสภาพอากาศดี ทัศนวิสัยชัดเจน นักบินสามารถมองเห็นทางวิ่ง (Runway) ได้ชัดเจนจากระยะไกล หาก RA ถูกสัญญาณอื่นรบกวนการทำงานขณะเครื่องบินร่อนลงจอด อาจไม่เป็นปัญหาร้ายแรงมากนัก เนื่องจากนักบินสามารถใช้การบินลงจอดโดยใช้สายตา (Visual landing) แทนการใช้ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ (ILS) ในการนำเครื่องบินลงจอดได้อย่างปลอดภัย
2) ในกรณีสภาพอากาศเลวร้าย ทัศนวิสัยไม่ดี เครื่องบินต้องพึ่งพาระบบ ILS เป็นหลัก ซึ่งใช้ข้อมูลระยะความสูงเหนือพื้นดินที่วัดได้จาก RA ตรวจสอบกับระยะความสูงที่วัดได้จาก PA หากข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ทั้งสองระบบไม่ตรงกันและนักบินเกิดความไม่มั่นใจ นักบินก็จะตัดสินใจไม่นำเครื่องบินร่อนลงจอด
3) โดยทั่วไปเครื่องบินแต่ละลำจะมี RA จำนวน 2-3 ชุด ติดตั้งบนเครื่อง ตัวอย่างเช่น ติดตั้งเรียงกันทางด้านซ้าย ตรงกลาง และด้านขวา โดยนำค่าที่วัดได้จากแต่ละชุดมาตรวจสอบกันโดยมีหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกค่าที่น่าเชื่อถือได้สำหรับกรณีค่าที่อ่านได้ไม่ตรงกัน หากมี RA ชุดใดเกิดขัดข้องหรือค่าที่วัดได้ผิดพลาด และ RA ที่เหลืออีก 2 ชุดยังสามารถทำงานได้ปกติ ก็ยังสามารถระบุความสูงของเครื่องบินได้ แต่หาก RA ขัดข้องพร้อมกันทั้งหมดหรือเกิดกรณีที่ไม่สามารถตัดสินหาค่าที่น่าเชื่อถือได้ ระบบจะมีสัญญาณเตือนระดับ Fatal alarm แจ้งให้นักบินทราบ เพื่อตัดสินใจดำเนินการต่อไป
4) ปกติผู้โดยสารบนเครื่องบินไม่สามารถใช้โทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์สื่อสารทุกชนิดขณะเครื่องบินขึ้น-ลง หรือขณะแล่นอยู่บนทางวิ่ง โดยลูกเรือจะทำการแจ้งเตือนและควบคุมดูแลอย่างเข้มงวด
5) เท่าที่ผู้ให้ข้อมูลทราบ ที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีรายงานกรณี RA ถูกรบกวนจากสัญญาณระบบสื่อสารอื่นๆ

6.7 ผลของทิศทางสถานีฐาน

พิจารณาสถานการณ์ที่สัญญาณของโครงข่ายระบบ 5G รบกวนระบบรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (TVRO system) ย่านความถี่ C-band แสดงดัง รูป 150



รูป 150 สถานการณ์ที่สัญญาณของโครงข่ายระบบ 5G รบกวนระบบรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

ที่มา : Ardavan (2020)

ในการใช้งานระบบ TVRO จานรับสัญญาณดาวเทียมจะชี้ไปยังทิศทางของดาวเทียม (SATCOM) นั่นคือ ทิศทางที่อัตราขยายหรือแบบรูปการแผ่กำลังงาน (หรือรับกำลังงาน) ของจานรับสัญญาณมีค่าสูงสุด หรือทิศทางของแกนของลำคลื่นหลัก (Boresight direction) จะเล็งไปยังตำแหน่งของดาวเทียม ในที่นี้แทนด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วย $\hat{r}_S$ ซึ่งสัมพันธ์กับมุมในแนวดิ่ง θ_S และมุมในแนวราบ ϕ_S ในระบบพิกัดอ้างอิง

กำหนดให้สถานีฐานระบบ 5G อยู่ห่างจากจานรับสัญญาณดาวเทียมเป็นระยะทาง r ในทิศทางแทนด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วย $\hat{r}_B$ ซึ่งสัมพันธ์กับมุมในแนวดิ่ง θ_B และมุมในแนวราบ ϕ_B ในระบบพิกัดอ้างอิง ดังแสดงด้วยแนวเส้นประในรูป 150 ดังนั้น มุมระหว่างทิศของสถานีฐาน 5G และทิศของดาวเทียมเท่ากับ

$$\Omega_S = \cos^{-1}(\hat{r}_S \cdot \hat{r}_B)$$

โดยที่

$$\hat{r}_S = \hat{x}\sin\theta_S\cos\phi_S + \hat{y}\sin\theta_S\sin\phi_S + \hat{z}\cos\theta_S$$
$$\hat{r}_B = \hat{x}\sin\theta_B\cos\phi_B + \hat{y}\sin\theta_B\sin\phi_B + \hat{z}\cos\theta_B$$
$$\hat{r}_S \cdot \hat{r}_B = \sin\theta_S\sin\theta_B\cos(\phi_S - \phi_B) + \cos\theta_S\cos\theta_B$$

สัญญาณรบกวนจากสถานีฐานระบบ 5G จะถูกรับเข้ามาทางลำคลื่นรอง (Side lobe) ของจานรับสัญญาณดาวเทียมในทิศทางทำมุม Ω_S กับแกนของลำคลื่นหลัก (ซึ่งเล็งไปยังดาวเทียม) ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการรับสัญญาณ ได้แก่ Carrier-to-Interference-plus-Noise Ratio (CINR) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\text{CINR} = \text{EIRP} + G_{r0} - \text{LOSSES} - P_N - \text{EIRP}_I - G_r(\Omega_s) + 20\log(r) - 20\log(\lambda_I/(4\pi))$$
$$= \text{EIRP} + G_{r0} - \text{LOSSES} - P_N - \text{EIRP}_I - G_r(\Omega_s) + 20\log(r) - 20\log(\lambda_I/(4\pi))$$

โดยที่ CINR คือ Carrier-to- interference-plus-noise ratio (หน่วย dB)

EIRP คือ Equivalent isotropic radiated power ของสัญญาณดาวเทียม (หน่วย dBW)

G_{r0} คือ อัตราขยายสูงสุดของจานรับสัญญาณดาวเทียมในทิศแกนของลำคลื่นหลัก (หน่วย dBi)

LOSSES คือ ค่ากำลังสูญเสียทั้งหมดตลอดเส้นทางการรับส่งสัญญาณ (หน่วย dB)

P_N คือ กำลังของสัญญาณรบกวน (Noise) (หน่วย dBW)

EIRP_I คือ Equivalent isotropic radiated power ของสัญญาณรบกวน (หน่วย dBW)

$G_r(\Omega_s)$ คือ อัตราขยายของจานรับสัญญาณดาวเทียมในทิศทำมุม Ω_s กับแกนของลำคลื่นหลัก (หน่วย dBi)

$\tilde{G}_r(\Omega_s) = G_r(\Omega_s) - G_{r0}$ คือ อัตราขยายสัมพัทธ์เทียบกับอัตราขยายสูงสุดของจานรับสัญญาณดาวเทียมในทิศทำมุม Ω_s กับแกนของลำคลื่นหลัก (หน่วย dB)

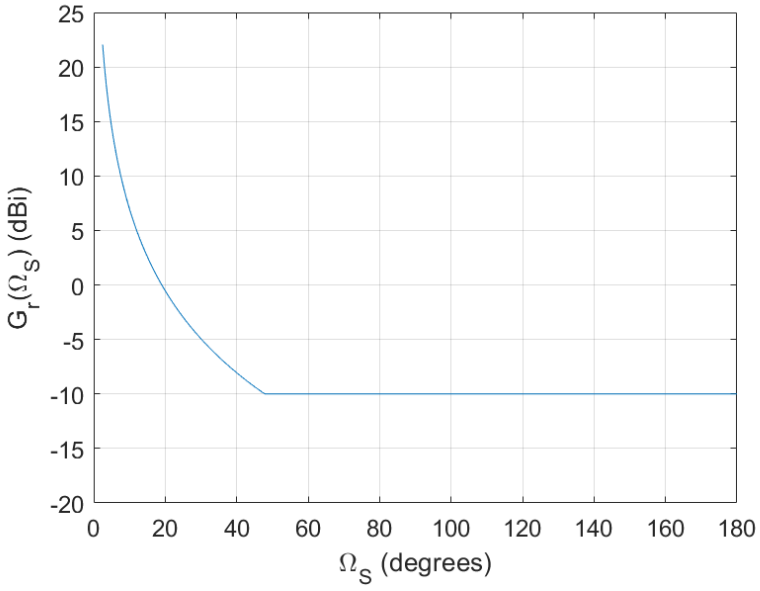
r คือระยะห่างระหว่างจานรับสัญญาณดาวเทียมและสถานีฐานระบบ 5G (หน่วย m)

λ_I คือความยาวคลื่นของสัญญาณรบกวน (หน่วย m)

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า ค่า CINR เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยายของจานรับสัญญาณดาวเทียม $G_r(\Omega_s)$ ในทิศทำมุม Ω_s กับแกนของลำคลื่นหลัก ซึ่งตามข้อกำหนดของ ITU-R ใน Recommendation ITU-R S.465-6 จะต้องมีค่าไม่เกินค่าขอบเขตตามสมการต่อไปนี้

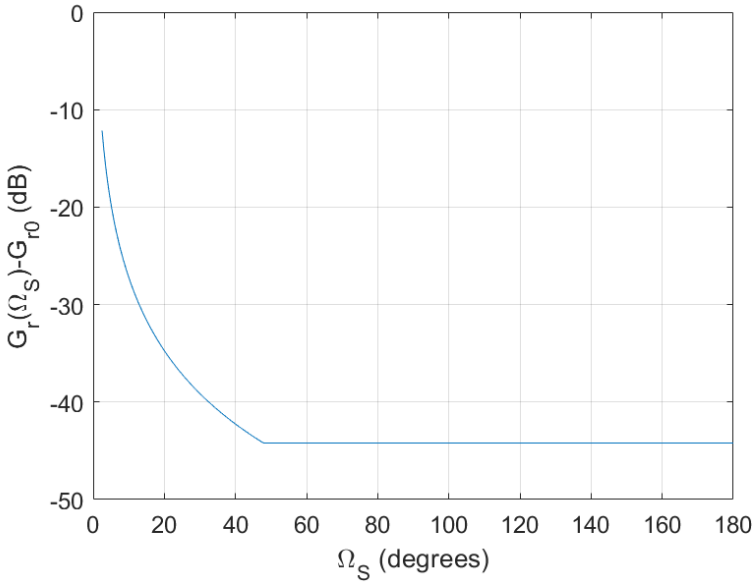
$$G_r(\Omega_S) \leq \begin{cases} 32 - 25\log\Omega_S \ \text{dBi}, & \Omega_{\min} \leq \Omega_S < 48^\circ \\ -10 \ \text{dBi}, & 48^\circ \leq \Omega_S < 180^\circ \end{cases}$$

โดยที่ $\Omega_{\min} = 2.5^\circ$ สำหรับจานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบกับความยาวคลื่น $D/\lambda < 33.3$ ค่าขอบเขตของอัตราขยายในทิศทางนอกลำคลื่นหลักตามข้อกำหนดของ ITU-R ดังกล่าวข้างต้น สามารถแสดงในรูปกราฟได้ดังรูป 151



รูป 151 ค่าขอบเขตของอัตราขยายในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานรับสัญญาณดาวเทียมตามข้อกำหนดของ ITU-R ใน Recommendation ITU-R S.465-6

สำหรับจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร มีอัตราขยายสูงสุด $G_{r0} \approx 34.2$ dBi ดังนั้น ตามข้อกำหนดของ ITU-R ดังกล่าวข้างต้น ค่าขอบเขตของอัตราขยายสัมพัทธ์ (เทียบกับค่าสูงสุด) $\tilde{G}_r(\Omega_s)$ ในทิศทางนอกลำคลื่นหลัก สามารถแสดงในรูปกราฟได้ดังรูป 152



รูป 152 ค่าขอบเขตของอัตราขยายสัมพัทธ์ในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m ตามข้อกำหนดของ ITU-R ใน Recommendation ITU-R S.465-

ค่าของมุม Ω_S เทียบกับแกนของลำคลื่นหลัก ซึ่งเป็นทิศทางที่รับสัญญาณรบกวนระบบ 5G เข้ามาขึ้นกับตำแหน่งและทิศทางของสถานีฐานเมื่อเทียบกับตำแหน่งและทิศทางของจานรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งสัมพันธ์กับความแตกต่างของมุมในแนวดิ่ง $|\theta_S - \theta_B|$ และความแตกต่างของมุมในแนวราบ $|\phi_S - \phi_B|$ ในสถานการณ์จริง มุม $\theta_S < \theta_B$ เนื่องจากตำแหน่งของดาวเทียมอยู่สูงกว่าสถานีฐานมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจานรับสัญญาณดาวเทียมตั้งอยู่ในพื้นที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรเช่นประเทศไทย สำหรับดาวเทียม ไทยคม 6 และจานรับสัญญาณดาวเทียมติดตั้งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ทิศทางของจานรับสัญญาณดาวเทียมจะชี้ไปยังมุม $\theta_S = 90° - 54.7° = 35.3°$ ในระบบพิกัดอ้างอิง ส่วนมุม θ_B ขึ้นกับความสูงของสถานีฐานและระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับจานรับสัญญาณดาวเทียม

สำหรับความแตกต่างของมุมในแนวราบ $|\phi_S - \phi_B|$ ขึ้นกับทิศทางในแนวราบของสถานีฐานเมื่อเทียบกับทิศของจานฯ ซึ่งเล็งไปยังดาวเทียม กรณีที่สถานีฐาน 5G และจานรับสัญญาณดาวเทียมหันเข้าหากันโดยตรง ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่าเป็นกรณีที่ได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด (Worst-case scenario) นั่นคือมุม $\phi_S = \phi_B$ จะได้ว่า

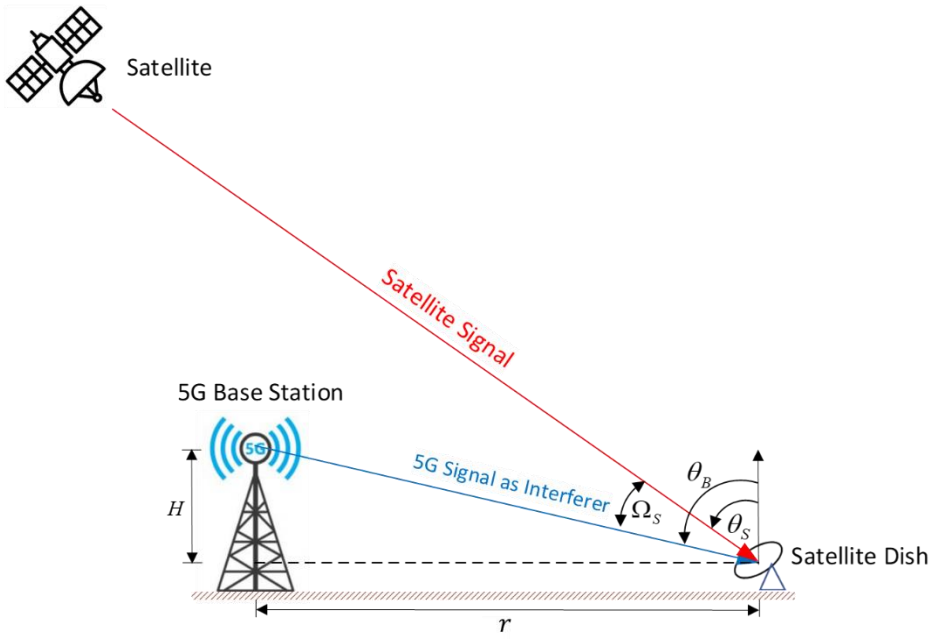
$$\hat{r}_S \cdot \hat{r}_B = \sin\theta_S \sin\theta_B + \cos\theta_S \cos\theta_B = \cos(\theta_S - \theta_B)$$
$$\Omega_S = \cos^{-1}(\hat{r}_S \cdot \hat{r}_B) = |\theta_S - \theta_B|$$

นั่นคือ มุม Ω_S ขึ้นกับ $|\theta_S - \theta_B|$ เท่านั้น

ตัวอย่างการทดลองภาคสนามในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นกรณีที่สถานีฐาน 5G และจานรับสัญญาณดาวเทียมหันเข้าหากันโดยตรง (โดยประมาณ) มีค่าพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องแสดงดังรูป 152 ค่าขอบเขตของอัตราขยายสัมพัทธ์ในทิศทางนอกลำคลื่นหลักของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m ตามข้อกำหนดของ ITU-R ใน Recommendation ITU-R S.465- โดยที่

- ความสูงของสถานีฐาน 5G เท่ากับ 37.5 เมตร จากพื้นดิน
- ความสูงของศูนย์กลางจานรับสัญญาณดาวเทียมจากพื้นดินเท่ากับ 1.8 เมตร
- ระยะความสูง $H = 37.5 - 1.8 = 35.7$ เมตร
- มุม $\theta_S = 35.3°$ สำหรับดาวเทียมไทยคม

- มุม $\theta_B = 90° - \tan^{-1}(H/r)$
- มุม $\Omega_S = |\theta_S - \theta_B|$



รูป 153 ค่าพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องในการทดลองภาคสนามในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างของค่ามุม Ω_S ซึ่งเป็นทิศทางเทียบกับแกนของลำคลื่นหลักที่จานดาวเทียมรับสัญญาณรบกวนระบบ 5G เข้ามา สำหรับระยะทาง r เท่ากับ 130, 200 และ 280 เมตร ตามลำดับ แสดงดังตาราง 15 จะเห็นว่ามุม Ω_S อยู่ในช่วงระหว่าง 39 – 48 องศา จากกราฟในรูป 152 จะได้ว่าอัตราขยายสัมพัทธ์ของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ในทิศทางดังกล่าวมีค่าต่ำกว่า -40 dB

r (m)	θ_B (degree)	Ω_S (degree)
130	74.6	39.3
200	79.9	44.6
280	82.7	47.4

ตาราง 15 ค่าของมุม Ω_S สำหรับการทดลองภาคสนามในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ระยะทางต่าง ๆ

กรณีที่สถานีฐาน 5G และจานรับสัญญาณดาวเทียมไม่ได้หันเข้าหากันโดยตรง นั่นคือมุม $\phi_S \neq \phi_B$ จะทำให้มุม Ω_S มีค่ามากกว่ากรณีที่ $\phi_S = \phi_B$ ยิ่งทิศทางในแนวราบของสถานีฐาน 5G แตกต่างจากทิศที่จานรับสัญญาณดาวเทียมหันไปมากขึ้น จะทำให้มุม Ω_S มีค่ามากขึ้น นั่นคือ อัตราขยายของจานรับสัญญาณดาวเทียม $G_r(\Omega_s)$ ในทิศดังกล่าวมีค่าลดลง (อ้างอิงตามค่าขอบเขตที่กำหนดโดย ITU-R) ส่งผลให้ค่า CINR มีค่ามากขึ้น หรือผลกระทบของสัญญาณรบกวนมีค่าลดลงตามความแตกต่างของมุมในแนวราบที่เพิ่มมากขึ้น

ในการทำงานของโครงข่ายระบบ 5G สัญญาณคลื่นจะแพร่กระจายจากสายอากาศของสถานีฐานในลักษณะหลายลำคลื่น (Multiple beams) ชี้ไปยังทิศทางของอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (User Equipment: UE) ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับสถานีฐานดังกล่าว สำหรับในรูป 153 ค่าพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องในการทดลองภาคสนามในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทิศทางของ ลำคลื่นสัญญาณ 5G ที่เล็งไปในบริเวณ

ใกล้เคียงกับจานรับสัญญาณดาวเทียมแสดงด้วยลูกศรที่มีป้ายกำกับว่า “5G NR” ทิศทางของแต่ละลำคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานซึ่งโดยทั่วไปมีการเคลื่อนที่ หากลำคลื่นสัญญาณ 5G เล็งไปยังตำแหน่งจานรับสัญญาณดาวเทียมพอดี สัญญาณที่ตกกระทบหน้าจานฯ ก็จะมีความเข้มสูง นั่นคือ ค่า $\mathbf{EIRP}_I$ ในสมการของ CINR จะมีค่ามาก แต่หากลำคลื่นสัญญาณ 5G ไม่ได้เล็งไปยังตำแหน่งจานรับสัญญาณดาวเทียมโดยตรง สัญญาณที่ตกกระทบหน้าจานฯ ก็จะมีความเข้มต่ำกว่า

7 สรุปผลการดำเนินงานโครงการ

7.1 ข้อสรุปคุณสมบัติทางเทคนิค

7.1.1 การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร (Indoor) ย่าน 3500 MHz

การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายในอาคาร (Indoor) ย่าน 3500 MHz		
1. **กรณีทดสอบที่ 1 (Case 1):** LNB = **3400 ถึง 4200 MHz**	ค่ากำลังส่งที่หน้าสถานีฐาน 1W ปล่อยสัญญาณในช่วงความถี่ 3500 ถึง 3600 MHz	• -45 dBm/Hz
	ค่ากำลังส่งสถานีฐานด้านล่างอาคารที่ระยะ 25 เมตร	• สัญญาณถูกลดทอนลงไปเหลือที่ -120.28 dB/Hz • สัญญาณ (Channel Power) ที่วัดหน้าจานรับดาวเทียมมีขนาดน้อยกว่า -110 dBm/Hz

คณะวิจัยพบว่าการตั้งสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคารที่มีกำลังส่ง 1W ปล่อยสัญญาณในช่วงความถี่ 3500 ถึง 3600 MHz ด้วยแบนด์วิดธ์ 100 MHz ได้ (โดยทั่วไปสถานีฐาน 5G ภายในอาคารจะใช้กำลังส่งและแบนด์วิดธ์ที่น้อยกว่าสถานีฐานภายนอกอาคาร) ไม่ส่งผลกระทบและสร้างสัญญาณรบกวนมากพอ จนทำให้ระบบโทรทัศน์ดาวเทียมที่ยังใช้หัวรับ LNB แบบปกติ (3.4 – 4.2 GHz) ทำงานผิดปกติ ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียมไม่น้อยกว่า 25 เมตร แต่ก็ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าไม่จำเป็นต้องกำหนดแถบความถี่ป้องกันการรบกวน (Guard band) ระหว่างกิจการทั้งสอง แล้วกิจการทั้งสองจะสามารถใช้งานแถบความถี่ร่วมกันได้จริง เนื่องจากความถี่ของสถานีฐาน 5G ที่ใช้ในการทดสอบจริง สามารถปล่อยสัญญาณได้ในช่วงแถบความถี่ 3500 MHz ถึง 3600 MHz เท่านั้น ไม่ใช่ 3500 MHz ถึง 3700 MHz จึงต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนต่อไป

7.1.2 การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor) ย่าน 3500 MHz

7.1.2.1 การสังเกตภาพด้วยสายตา (No Macro blocking , Blackout, Freeze และ Audio Silence)

การทดสอบในกรณีที่สถานีฐาน 5G อยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor) ย่าน 3500 MHz		
ประเภทหัว LNB_F	**ความถี่ป้องกัน (Guard band)**	**ระยะทางสั้นที่สามารถใช้งานได้**
1. **กรณีทดสอบที่ 1 (Case 1): LNB = 3400 ถึง 4200 MHz** **หมายเหตุ** ค่าความถี่ IMT ที่ทดสอบอยู่ในช่วง 3400 ถึง 3500 MHz	• ไม่สามารถหาได้[31]	• อาจจะมากกว่า 280 เมตร[32]
2. **กรณีทดสอบที่ 2 (Case 2): LNB, LNB_F, BPF = 3700 ถึง 4200 MHz** หมายเหตุ ค่าความถี่ IMT ที่ทดสอบอยู่ในช่วง 3400 ถึง 3600 MHz	• มีค่า 80-100 เม็กกะเฮิรตซ์ **หมายเหตุ** ค่า 100 เม็กกะเฮิรตซ์ จะถูกใช้เป็นค่าตั้งต้นเนื่องเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับได้	• 130 เมตร

7.1.2.2 การวัดค่า Signal Quality, C/N margin และค่า Bit error rate ของสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

ประเภท LNB	กรณีทดสอบ	Signal Quality		C/N margin (dB)	Bit error rate
		PWR กับระยะทาง (dB)	MER กับระยะทาง (dB)		
รุ่นที่ 1	กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz	-45 ถึง - 58	6.5 – 14.5	7 – 14.3	1.0E-07 ถึง 0.5E+00
	กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz	-44 ถึง -57	6.9 – 14.7	6.5 – 14.5	1.0E-07 ถึง 0.6E+00
รุ่นที่ 2	กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz	-42 ถึง -54	6.1 ถึง 14.8	8.1 – 16.4	1.0E-07 ถึง 0.6E+00

[31] เนื่องจากระยะทางสั้นสุดที่สามารถใช้งานได้สำหรับหัว LNB ชนิดความถี่ 3400 – 4200 MHz มีค่ามากกว่าระยะทดสอบไกลสุดคือ 280 เมตร ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าด้วยใช้สายตา จึงไม่สามารถหาค่าความถี่ป้องกัน (Guardband) ได้

[32] ระยะการทดลองจำกัดที่ 280 เมตร เนื่องจากคณะวิจัยไม่สามารถถอยร่นจานรับสัญญาณดาวเทียมไม่ได้ เพราะมีสิ่งปลูกสร้างกีดขวางอยู่

ประเภท LNB	กรณีทดสอบ	Signal Quality		C/N margin (dB)	Bit error rate
		PWR กับระยะทาง (dB)	MER กับระยะทาง (dB)		
	กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz	-43 ถึง -52	6.0 ถึง 14.8	7.6 – 16.4	5.2E-07 ถึง 0.2E+00
รุ่นที่ 3	กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz	-46 ถึง -55	6.2 ถึง 14.1	6.0 – 14.2	5.3E-07 ถึง 0.1E+00
	กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz	-46 ถึง -55	6.0 ถึง 13.8	6.8 – 13.1	2.2E-07 ถึง 0.0E+00
รุ่นที่ 4	กรณีทดสอบที่ 1 ความถี่ 3.4-3.5 GHz	-42 ถึง -68	5.8 ถึง 14	5.0 – 19.8	0.00021 ถึง 0
	กรณีทดสอบที่ 2 ความถี่ 3.5-3.6 GHz	-42 ถึง -68	5.8 ถึง 14	5.2 – 19.8	0.00049 ถึง 0

7.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ปัญหา อุปสรรค หรือข้อเสนอแนะอื่นๆ

7.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการกำกับดูแลใช้งานคลื่นความถี่ในย่าน 3500 MHz ระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลเทคโนโลยี 5G และกิจการอื่น

1) กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายในอาคาร หากจำเป็นต้องมีการใช้งานคลื่นความถี่ IMT ในช่วง 3400 – 3600 MHz ในประเทศไทย คณะวิจัยพบว่าการตั้งสถานีฐาน 5G ชนิดภายในอาคารที่มีกำลังส่ง 1W ปล่อยสัญญาณในช่วงความถี่ 3500 ถึง 3600 MHz ด้วยแบนด์วิดธ์ 100 MHz ได้ (โดยทั่วไปสถานีฐาน 5G ภายในอาคารจะใช้กำลังส่งและแบนด์วิดธ์ที่น้อยกว่าสถานีฐานภายนอกอาคาร) ไม่ส่งผลกระทบและสร้างสัญญาณรบกวนมากพอ จนทำให้ระบบโทรทัศน์ดาวเทียมที่ยังใช้หัวรับ LNB แบบปกติ (3.4 – 4.2 GHz) ทำงานผิดปกติ ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียมไม่น้อยกว่า 25 เมตร

2) ในระยะสั้น กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายนอกอาคาร หากจำเป็นต้องมีการใช้งานคลื่นความถี่ IMT ในช่วง 3400 – 3700 MHz ในประเทศไทย เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้

รายเดิมของระบบโทรทัศน์ดาวเทียม ควรกำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ในช่วง 3400 - 3600 MHz ด้วยแบนด์วิดธ์ 200 MHz ให้ใช้กับบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G เสียก่อน และจัดให้คลื่นความถี่ที่ใช้ในกิจการดาวเทียมในช่วง 3.7 – 4.2 GHz จำนวน 500 MHz ดังเดิม โดยมีแถบความถี่ป้องกันการรบกวน (Guard band) ขนาด 100 MHz ป้องกันไว้ที่ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียม (ขนาด 1.5 เมตรและ 1.8 เมตร) ไม่น้อยกว่า 130 เมตร และสถานีฐาน 5G ใช้กำลังส่ง (EIRP) ไม่เกิน 200 Watt โดยใช้หัวรับ LNB_F[33] ที่มีวงจรกรองความถี่ที่มีมาตรฐาน (คุณลักษณะขั้นต่ำตามที่คณะวิจัยเสนอแนะ)

3) ในระยะยาว (5 ปี เป็นต้นไป) กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายนอกอาคาร หากจำเป็นต้องมีการใช้งานคลื่นความถี่ IMT ในช่วง 3300 – 3800 MHz (N78) ในประเทศไทย ที่มากกว่าช่วง 3400 - 3600 MHz เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้รายเดิมของระบบโทรทัศน์ดาวเทียม อาจต้องกำหนดกรอบเวลาในการทำการเรียกคืนความถี่ในช่วง 3700-3900 MHz ที่ใช้งานสำหรับย่านกิจการดาวเทียมในปัจจุบัน มาเป็นการให้บริการ 5G หากพบว่ายังไม่มีเทคโนโลยีใหม่ๆ ทางด้านกิจการดาวเทียมที่ต้องการใช้ย่านความถี่ดังกล่าว เพื่อให้การให้บริการ 5G ทำได้เต็มประสิทธิภาพ

4) กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายนอกอาคาร นั้น คณะวิจัยได้ตั้งสถานการณ์การทดสอบให้เป็นกรณีที่เลวร้ายที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Worst case) ดังนั้นระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียมไม่น้อยกว่า 130 เมตรนั้น อาจจะมีการปรับให้ลดน้อยลงได้ในอนาคต หากได้มีการเริ่มใช้งานและติดตั้งสถานีฐาน 5G แบบภายนอกอาคารจริง อาจจะพิจารณาค่อยๆ ปรับลดระยะห่างดังกล่าวลงได้ หากไม่มีการรายงานว่าเกิดผลรบกวนระหว่างกัน เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วช่างติดตั้งระบบจานรับสัญญาณดาวเทียมได้ถูกฝึกอบรม ให้สามารถหลบเลี่ยงการรบกวนสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอื่นได้ เช่นการติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียมให้ต่ำลง หรือการอาศัยมุมของตึกในการบดบังสัญญาณรบกวนจากสถานีฐาน 5G ในบริเวณข้างเคียงได้

5) ในระยะยาว (5-10 ปี) กรณีการติดตั้งและใช้งานสถานีฐาน 5G ภายนอกอาคาร หากจำเป็นต้องมีการใช้งานคลื่นความถี่ IMT ในช่วง 3300 – 3800 MHz (N78) ในประเทศไทย อย่างเต็มรูปแบบ ทำให้แบนด์วิดธ์ของระบบโทรทัศน์ดาวเทียมลดลงเหลือแค่ 200 MHz ในช่วงความถี่ 4000 – 4200 MHz และไม่เพียงพอต่อการใช้งาน อาจต้องพิจารณาย้ายความถี่ดาวเทียมไปใช้ย่านอื่นแทนเช่น Ka-band ในช่วงความถี่ 26-40 GHz เพื่อให้รองรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ของดาวเทียมในอนาคต ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความไปเป็นได้ ให้เกิดความสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็นในเมืองหรือชานเมือง เนื่องจากประชาชนในเมืองจะเน้นพักอาศัยกันภายในห้องพักบนคอนโดมิเนียมที่

[33] หัวรับสัญญาดาวเทียม (Low-Noise Block Downconverter + 5G Filter (LNB_F)) ชนิดมีตัวกรองสัญญาณ 5G หรือ 5G Filter

ไม่สะดวกในการติดตั้งจานดาวเทียม C-band ที่มีขนาด 1.5 เมตร ซึ่งแตกต่างจากประชาชนที่พักอาศัยชานเมือง ที่มีพื้นที่ในการติดตั้งจานขนาดใหญ่ได้

6) ทั้งนี้ เนื่องจากข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของหัวรับ LNB LNB_F และ BPF นั้นสำคัญต่อการใช้งานระบบการรับสัญญาณดาวเทียมมาก คณะวิจัยจึงสนับสนุนให้เกิดข้อกำหนดและห้องปฏิบัติการในการทดสอบหัวรับ LNB LNB_F และ BPF ขึ้น โดยในการทดสอบครั้งนี้ คณะวิจัยได้รับความอนุเคราะห์การทดสอบจากห้องปฏิบัติการคลื่นความถี่ไมโครเวฟ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ซึ่งเป็นห้องทดสอบในระดับปฐมภูมิและได้รับการรับรองในระดับนานาชาติ เป็นผู้ทดสอบให้ โดยในการทดสอบแท้จริงแล้ว จะต้องมีการวัดค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ประกอบด้วยคือ ค่า 1 dB Gain Compression และค่า Noise Figure ของหัวรับ LNB LNB_F และ BPF เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของหัวรับ LNB LNB_F และ BPF อย่างเต็มรูปแบบ ดังนั้นในการทดลองนี้ คณะวิจัยจึงเพียงแค่สรุปว่าหากมีหัวรับ LNB_F ชนิดที่แตกต่างกันจะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันโดย LNB ที่พึงประสงค์จะส่งผลให้ต้องใช้ความถี่ป้องกัน (Guard band) 100 MHz ที่ระยะห่าง 130 เมตร สำหรับการทดสอบกรณีภายนอกอาคาร

7) ผลการทดสอบในครั้งนี้เป็นผลการทดสอบจริง ในสถานที่จริง ทั้งนี้ เนื่องจากคณะวิจัยต้องการจำลองกรณีศึกษาที่ใช้จริง บริเวณที่มีตึกหนาแน่นในเมืองเป็นหลัก หากมีการทดสอบบริเวณชานเมืองอาจได้รับผลการทดสอบที่แตกต่างออกไป และอุปกรณ์ทดสอบของสถานีฐาน 5G นั้นอาจมีความหลากหลายในแต่ละตราอักษรและรุ่น ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการทดลองจริง

7.2.2 รายละเอียดคุณลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำของหัวรับ LNB ที่พึงประสงค์

ทั้งนี้ จากผลการศึกษาวิจัย พบว่า คุณลักษณะที่เหมาะสม ของหัวรับ LNB ที่พึงประสงค์สำหรับการใช้งานรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในครัวเรือน เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการใช้งานคลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz ในกิจการโทรคมนาคม มีดังนี้

Specification	Value
Input Frequency	3.7-4.2 GHz
Output Frequency	950-2150 MHz
Frequency Stability	+/- 2MHz (-40 ถึง 70 องศาเซลเซียส)
Local Leak Input	-45 dBm
Lower Frequency Slope	>400 dB/GHz
Upper Frequency Slope	< -125 dB/GHz
Conversion Gain	เป็นไปตามผู้ผลิตกำหนด
Gain Flatness	+/- 4dB
Output VSWR	2.5:1 (ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้)
Output Spurious	-60 dBm (Max)
Power Supply	13-24 V
Waveguide	WC-229
Image Rejection	45 dB (Min)
Output Connector	Type “F” Female
Input Connector	Circular WG with Horn Ring

7.3 มาตรการบรรเทาการรบกวน และเงื่อนไขในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน

1) ผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่มีการใช้งานสถานีฐาน 5G ย่าน 3500 MHz หรือหน่วยงานกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่ควรมีการพิจารณาเกี่ยวกับการจัดสรรงบประมาณเพื่อเยียวยาหรือชดเชยผู้ได้รับผลกระทบจากการใช้งานย่านความถี่ 3500 MHz (ประชาชนผู้รับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม)[34] และสนับสนุนการติดตั้งวงจรกรองสัญญาณ (Bandpass filter) หรือเปลี่ยนหัวรับ LNB เป็น LNB_F ที่มีวงจรกรองความถี่ที่มีมาตรฐาน

2) ควรมีระยะเวลาในการปรับเปลี่ยนหัวรับ LNB เป็น LNB_F ในลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ในประกาศควรจะมีเวลาเผื่อในการติดตั้งหัวรับ LNB_F ให้กับผู้บริโภคด้วย

3) ควรมีการจัดทำคู่มือแนวทางปฏิบัติสำหรับการติดตั้งจานดาวเทียมและสถานีฐาน 5G กรณีมีข้อจำกัดของระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และจานรับดาวเทียม

[34] ต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) รวมถึงผลกระทบและค่าชดเชยเพิ่มเติม

8 ภาคผนวก ก

แสดงค่าสเปกตรัมของสัญญาณดาวเทียม ที่หน้าจานรับสัญญาณดาวเทียม ดังนี้

8.1 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3400 - 4200 MHz (บริษัท อินโฟแซท จำกัด)

5G Transmitter Indoor Type		Power = 1W Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz				Power = 1W Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz				Power = 1W Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz				Power = 1W Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz			
Item	Satellite Frequency 3700-4200MHz	Result				Result				Result				Result			
		PWR	MER	C/N	BER	PWR	MER	C/N	BER	PWR	MER	C/N	BER	PWR	MER	C/N	BER
1	3711	-26dBm		12.22dB	<1.0E-9	-26dBm		12.22dB	<1.0E-9	-25dBm		12.22dB	<1.0E-9	-27dBm		12.25dB	<1.0E-9
2	3731	-32dBm		-	-	-32dBm		-	-	-32dBm		-	-	-32dBm		-	-
3	3800	-24dBm		11.12dB	<1.0E-9	-24dBm		11.12dB	<1.0E-9	-25dBm		11.12dB	<1.0E-9	-24dBm		11.17dB	<1.0E-9
4	3840	-24dBm		9.90dB	<1.0E-9	-24dBm		9.90dB	<1.0E-9	-25dBm		9.90dB	<1.0E-9	-25dBm		8.87dB	<1.0E-9
5	3920	-26dBm		9.90dB	<1.0E-9	-26dBm		9.90dB	<1.0E-9	-27dBm		9.90dB	<1.0E-9	-27dBm		9.92dB	<1.0E-9
6	3946	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-
7	4009	-26dBm		10.70dB	<1.0E-9	-26dBm		10.70dB	<1.0E-9	-26dBm		10.70dB	<1.0E-9	-28dBm		10.70dB	<1.0E-9
8	4080	-26dBm		12.27dB	<1.0E-9	-26dBm		12.27dB	<1.0E-9	-26dBm		12.27dB	<1.0E-9	-26dBm		13.30dB	<1.0E-9
9	4120	-26dBm		12.22dB	<1.0E-9	-26dBm		12.22dB	<1.0E-9	-26dBm		12.22dB	<1.0E-9	-26dBm		12.22dB	<1.0E-9
10	4174	-35dBm		9.92dB	<1.0E-9	-35dBm		9.92dB	<1.0E-9	-36dBm		9.92dB	<1.0E-9	-36dBm		9.92dB	<1.0E-9

8.2 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3700 - 4200 MHz (บริษัท อินโฟแซท จำกัด)

5G Transmitter Indoor Type		Power = 1W Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz				Power = 1W Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz				Power = 1W Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz				Power = 1W Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz			
Item	Satellite Frequency 3700-4200MHz	Result				Result				Result				Result			
		PWR	MER	C/N	BER	PWR	MER	C/N	BER	PWR	MER	C/N	BER	PWR	MER	C/N	BER
1	3711	-36dBm		12.25dB	<1.0E-9	-35dBm		12.24dB	<1.0E-9	-35dBm		12.24dB	<1.0E-9	-35dBm		12.24dB	<1.0E-9
2	3731	-36dBm		7.72dB	9.9E-09	-36dBm		7.70dB	9.9E-09	-36dBm		7.71dB	9.9E-09	-36dBm		7.71dB	9.9E-09
3	3800	-23dBm		12.22dB	<1.0E-9	-22dBm		12.20dB	<1.0E-9	-22dBm		12.21dB	<1.0E-9	-22dBm		12.21dB	<1.0E-9
4	3840	-23dBm		10.50dB	<1.0E-9	-23dBm		10.40dB	<1.0E-9	-23dBm		10.50dB	<1.0E-9	-23dBm		10.50dB	<1.0E-9
5	3920	-23dBm		9.90dB	<1.0E-9	-22dBm		9.89dB	<1.0E-9	-22dBm		9.90dB	<1.0E-9	-26dBm		9.90dB	<1.0E-9
6	3946	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-
7	4009	-24dBm		11.12dB	<1.0E-9	-24dBm		11.12dB	<1.0E-9	-24dBm		11.12dB	<1.0E-9	-22dBm		11.15dB	<1.0E-9
8	4080	-22dBm		12.25dB	<1.0E-9	-22dBm		12.24dB	<1.0E-9	-22dBm		12.25dB	<1.0E-9	-22dBm		12.25dB	<1.0E-9
9	4120	-22dBm		11.17dB	<1.0E-9	-23dBm		11.18dB	<1.0E-9	-23dBm		11.18dB	<1.0E-9	-23dBm		11.18dB	<1.0E-9
10	4174	-40dBm		5.52dB	4.3E-04	-40dBm		5.51dB	4.3E-04	-40dBm		5.52dB	4.3E-04	-33dBm		7.75dB	4.3E-04

8.3 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3400 - 4200 MHz (บริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด)

5G Transmitter Indoor Type		Power = 1W Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz			
Item	satellite Frequency 3700-4200MHz	Result					Result					Result					Result			
		PWR	MER	C/N	LBER		PWR	MER	C/N	LBER		PWR	MER	C/N	LBER		PWR	MER	C/N	LBER
1	3711	-31.4dBm	12.2dB	12.5dB	<1.0E-8		-31.4dBm	12.4dB	12.2dB	<1.0E-7		-31.3dBm	12.5dB	11.8dB	<1.0E-8		-31.3dBm	12.4dB	8.9dB	<1.0E-7
2	3731	-35.5dBm	7.6dB	7.6dB	6.9E-06		-35.7dBm	7.4dB	7.5dB	5.80E-07		-35.8dBm	7.5dB	8.2dB	<1.0E-6		-35.7dBm	7.4dB	7.9dB	<1.0E-6
3	3800	-27.2dBm	11.6dB	0.3dB	<1.0E-7		-27.1dBm	11.6dB	10.9dB	<1.0E-8		-27.2dBm	11.6dB	11.4dB	<1.0E-8		-27.1dBm	11.7dB	11.4dB	
4	3840	-28.5dBm	9.8dB	9.6dB	<1.0E-8		-28.3dBm	10.1dB	10.3dB	<2.0E-8		-28.4dBm	10.0dB	9.8dB	<2.0E-8		-28.2dBm	9.9dB	10.6dB	
5	3920	-28.0dBm	8.8dB	10.6dB	<1.0E-7		-28.0dBm	8.9dB	10.7dB	<3.0E-8		-27.9dBm	9.1dB	10.3dB	<1.0E-7		-27.8dBm	9.1dB	10.5dB	
6	3965	-35.1dBm	10.8dB	9.8dB	6.80E-07		-31.3dBm		7.7dB			-30.7dBm		8.7dB			-34.9dBm	11.2dB	10.4dB	<1.0E-7
7	4008	-31.8dBm	10.9dB	1.4dB	<1.0E-7		-31.6dBm	11.3dB	13.0dB	<1.0E-7		-35.2dBm		1.0dB			-31.6dBm	11.2dB	12.6dB	<2.0E-7
8	4080	-29.9dBm					-28.1dBm	12.9dB	12.6dB	<2.0E-7		-28.3dBm	12.7dB	11.0dB	<1.0E-7		-28.2dBm	12.9dB	12.0dB	<3.0E-7
9	4120	-29.4dBm	11.8dB	12.2dB	8.50E-07		-29.6dBm	12.0dB	11.7dB	<3.0E-7		-29.8dBm	11.8dB	12.3dB	<1.0E-8		-29.8dBm	11.8dB	12.0dB	<1.0E-08
10	4174	-41.0dBm	8.0dB	8.2dB	3.30E-07		-40.5dBm	8.8dB	8.7dB	<4.0E-7		-40.3dBm	9.1dB	9.6dB	9.10E-08		-36.2dBm		9.9dB	

8.4 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3700 - 4200 MHz (บริษัท ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด)

5G Transmitter Indoor Type		Power = 1W Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz			
Item	Sattellite Frequency	Result					Result					Result					Result			
	3700-4200MHz	PWR	MER	C/N	LBER		PWR	MER	C/N	LBER		PWR	MER	C/N	LBER		PWR	MER	C/N	LBER
1	3711	-36.5dBm	11.8dB	12.8dB	<1.0E-7		-36.5dBm	11.9dB	12.3dB	<1.0E-8		-36.2dBm	11.9dB	12.3dB	3.00E-07		-36.3dBm	12.0dB	11.2dB	<1.0E-8
2	3731	-41.2dBm	6.3dB	6.5dB	1.90E-08		-41.3dBm	6.3dB	6.0dB	1.60E-08		-41.2dBm	6.1dB	6.8dB	2.40E-08		-41.0dBm	6.3dB	6.8dB	<1.0E-7
3	3800	-34.4dBm	11.0dB	0.0dB	<1.0E-7		-34.1dBm	11.2dB	0.0dB	<1.0E-7		-34.1dBm	11.2dB	9.1dB	<1.0E-7		-34.0dBm	11.3dB	12.0dB	<2.0E-7
4	3840	-35.3dBm	9.9dB	10.3dB	<1.0E-7		-35.3dBm	9.8dB	10.2dB	<2.0E-7		-35.4dBm	9.6dB	11.0dB	<1.0E-8		-35.2dBm	10.0dB	10.5dB	<1.0E-8
5	3920	-32.8dBm	8.5dB	9.5dB	<1.0E-8		-32.4dBm	8.8dB	10.8dB	<3.0E-7		-32.3dBm	8.7dB	10.0dB	<1.0E-8		-32.5dBm	8.5dB	11.6dB	<2.0E-8
6	3965	-37.9dBm	10.8dB	9.6dB	<1.0E-7		-38.2dBm	10.3dB	9.5dB	<4.0E-7		-33.6dBm		7.0dB			-37.5dBm	10.7dB	9.7dB	<1.0E-7
7	4008	-33.4dBm	10.6dB	9.8dB	<2.0E-7		-33.3dBm	10.6dB	11.1dB	<5.0E-7		-33.4dBm	10.2dB	10.2dB	<1.0E-7		-33.4dBm	10.3dB	9.7dB	<2.0E-7
8	4080	-29.5dBm	12.3dB	12.0dB	<3.0E-7		-31.1dBm	10.7dB	11.1dB	<6.0E-7		-29.5dBm	12.2dB	1.2dB	<2.0E-7		-29.7dBm	12.1dB	11.2dB	<3.0E-7
9	4120	-30.0dBm	11.7dB	11.6dB	<4.0E-7		-29.8dBm	11.7dB	11.7dB	<1.0E-8		-29.6dBm	11.7dB	11.3dB	<3.0E-7		-29.7dBm	11.7dB	10.7dB	<4.0E-7
10	4174	-40.5dBm	5.2dB	5.9dB	<1.0E-6		-37.9dBm	7.8dB	8.9dB	2.00E-07		-37.9dBm	7.9dB	7.7dB	<4.0E-7		-37.9dBm	7.9dB	8.3dB	2.70E-07

8.5 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3700 - 4200 MHz แบบ No Filter (บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์)

5G Transmitter Indoor Type		Power = 1W Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz				
Item	Sattellite Frequency	Result					Result					Result					Result				
	3400-4200MHz	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)
1	3711	-32.9	10.2	10.5	4.90E-07	73	-32.8	10.5	8.6	<1.0E-07	72	-33	10.4	10.8	<1.0E-08	82	-32.9	11.5	10.6	<1.0E-08	82
2	3731	-39.5	5.6	6	<1.0E-07	73	-39.5	5.6	6.1	<1.0E-07	72	-39.2	5.5	6	<1.0E-07	72	-39.3	5.5	6	<1.0E-07	72
3	3800	-29.7	8.7	9.3	4.90E-07	73	-29.6	9.1	9	1.00E-07	73	-29.6	8.7	9.3	8.40E-07	73	-29.6	8.7	9.3	8.40E-07	73
4	3840	-31.4	5.8	6.5	3.60E-04	42	-31.6	5.6	6.5	7.20E-04	42	-31.5	6.1	7.3	8.90E-05	52	-31.5	6	7	7.20E-04	45
5	3920	-30.5	7.4	7.7	9.10E-07	73	-30.4	7.5	8.4	8.70E-07	73	-30.5	7.2	8.4	2.20E-06	63	-30.5	7.2	8.2	4.90E-06	63
6	4009	-31.5	9.7	9.4	<1.0E-07	74	-31.1	10.4	10.8	<1.0E-07	74	-31.4	10.2	10.4	<1.0E-07	74	-31.5	10.4	10.4	<1.0E-07	74
7	4080	-27.3	11.3	9.5	<1.0E-08	84	-27.2	11.8	11.2	<1.0E-08	85	-27.2	11.9	10.4	<1.0E-07	75	-27.2	11.5	10.4	<1.0E-07	75
8	4120	-28.2	10.1	8.7	6.50E-08	84	-28.4	10.3	9.6	<1.0E-08	84	-28	9.8	9.3	2.70E-08	83	-28.8	9.6	9.6	2.70E-08	81

8.6 ตารางการทดสอบสัญญาณดาวเทียมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากสัญญาณโทรศัพท์ 5G ที่ช่วงความถี่ 3700 - 4200 MHz แบบมี Filter (บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์)

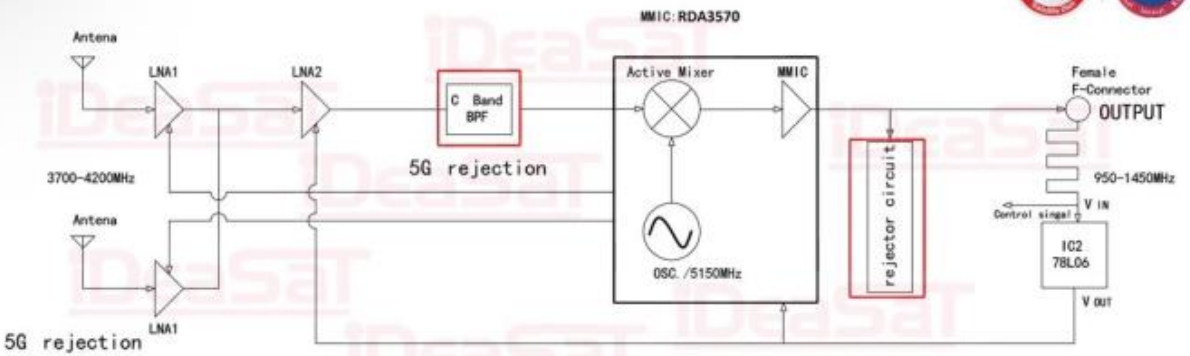
5G Transmitter Indoor Type		Power = 1W Bandwidth = 40MHz Frequency = 3560-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 60MHz Frequency = 3540-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 80MHz Frequency = 3520-3600MHz					Power = 1W Bandwidth = 100MHz Frequency = 3500-3600MHz				
Item	Sattellite Frequency	Result					Result					Result					Result				
	3700-4200MHz	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)	PWR dBm	MER	C/N	BER	TV signal quality(%)
1	3711	-36.2	11.5	13.6	<1.0E-07	72	-36.2	11.6	14	<1.0E-07	72	-35.9	11.8	14.9	<1.0E-08	82	-35.9	11.7	13.6	<1.0E-07	72
2	3731	-42.2	6.3	7.8	2.00E-08	87	-42.3	6.2	7.6	<1.0E-07	72	-42.5	6	7.5	1.10E-07	72	-42	6.3	8	<1.0E-07	72
3	3800	-33.9	10.1	13.6	<1.0E-08	84	-34	10.3	11.4	<1.0E-08	84	-34.3	10.3	11.3	<1.0E-07	74	-34	10.4	11.9	<1.0E-08	84
4	3840	-35.4	8.6	11.1	2.00E-08	83	-35.5	9	10.1	<1.0E-07	73	-35.1	9	10	2.30E-08	83	-35.1	9.1	9.9	<1.0E-07	73
5	3920	-34.8	7.6	9.4	1.60E-06	63	-35.1	7.8	9.5	3.30E-07	73	-34.6	8	9.9	<1.0E-07	73	-34.8	7.9	9.2	3.40E-07	73
6	4009	-34.4	9.6	10.3	<1.0E-07	73	-34.5	9.6	10.7	<1.0E-07	74	-34.4	9.6	10.9	<1.0E-07	74	-34.2	9.7	10.6	<1.0E-07	74
7	4080	-29.2	11.4	12	<1.0E-07	74	30.8	9.9	9.3	<1.0E-07	74	-29.6	11.5	8.4	<1.0E-07	74	-28.9	11.8	11.8	<1.0E-07	75
8	4120	-30.3	11	10.8	2.10E-08	84	-30.6	10.9	11.5	<1.0E-07	74	-30.4	11	10.1	<1.0E-07	74	-30.4	11	11	<1.0E-07	74

8.7 คุณลักษณะของหัวรับ LNB ที่ใช้ในการทดลอง

ตราอักษรและรุ่น	ตราอักษรและรุ่น	ชนิด	GuardBand	Minimum Distance	Noise Floor	Slope+	3dB Lower Frequency	Center Frequency	3dB Upper FreQuency	Slop-
		LNB	(MHz)	(m)	(dBm)	Degree (dB/GHz)	(GHz)	(GHz)	(GHz)	Degree (dB/GHz)
DP111 (BandPassFilter)	A	3.8-4.2 GHz	180	250	-105	82	3.70	4.00	4.30	75
DP111 (BandPassFilter)	B				-105	82	3.80	4.00	4.20	72
ID-DOI (BandPassFilter)	C				-105	81	3.80	4.00	4.20	72
ID920+ 5G Filter LNB	D				-100	80	3.75	3.98	4.20	42
ID 1000 5G Filter LNB	E	3.7-4.2 GHz	80	250	-100	79	3.68	3.99	4.30	56
ID 900+ 5G Filter LNB	F				-110	78	3.68	3.94	4.20	44
Infosat CG-1 band Inbf 5G pro filter	G	3.7-4.2 GHz	200	130	-90	76	3.70	3.95	4.20	18
ID 900 5G Filter LNB	H	3.7-4.2 GHz	100	130	-100	75	3.70	4.00	4.30	59
ID H2 5G Filter LNB	I	3.8-4.2 GHz	100	250	-100	75	3.80	4.05	4.30	33
ID D2 5G Filter LNB	J	3.9-4.2 GHz	300	250	-100	73	3.90	4.08	4.25	41
ID X1 5G Single Inbf	K				-100	72	3.70	3.95	4.20	49
PSI X-2 5G protect หมายเลข 4	L				-110	72	3.80	4.00	4.20	57
ID X2 5G filter twin Inbf	M				-93	70	3.70	3.95	4.20	51
PSI หมายเลข 5	N	3.8-4.2 GHz	160	130	-100	67	3.70	3.95	4.20	36
PSI หมายเลข 1	O	3.9-4.2 GHz	200	200	-100	67	3.90	4.05	4.20	77
Infosat CG-2 band Inbf 5G pro filter	P				-100	65	3.70	3.95	4.20	45
ID 820 twin Inbf	Q				-90	58	3.70	3.95	4.20	47
Infosat VHG-1 band Inbf 5G pro filter	R				-100	57	3.70	3.95	4.20	18
ID 800 extended C-band Polarity	S				-100	50	3.70	4.00	4.30	37
ID 800 Dual polarity	T				-90	47	3.30	3.80	4.30	58
Infosat C1+ Inbf 5G filter	U				-100	41	3.70	3.95	4.20	17
Infosat C2+ band Inbf 5G filter	V				-100	37	3.70	3.95	4.20	29

8.8 รายละเอียด Data sheet หัวรับ LNB และ Band Pass Filter ที่ใช้ในการทดลอง

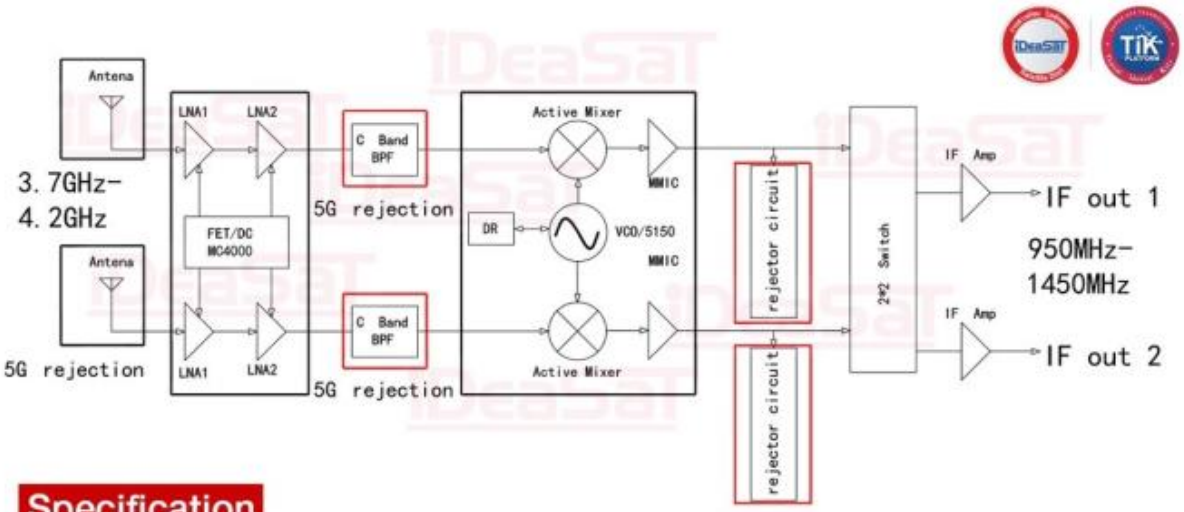
8.8.1 รุ่น ID 800 (5G)



Specification

Noise Temperature Maximum	: 13° K	Input VSWR	: 2.5 : 1
Typical Gain	: 63 dB	Output VSWR	: 2.5 : 1
Minimum Gain	: 55 dB	Gain Flatness	: ± 1 dB / 36 MHz
Maximum Gain	: 70 dB	Image Rejection	: 40 dB
Gain Flatness	: 6 dB	Current Consumption (for 13v and 18v)	: 110 mA(MAX)
Cross Polarization Minimum	: 20 dB MIN	Temperature Operation range	: -30°C - +70°C
Input Frequency range	: 3.7 GHz - 4.2 GHz	Temperature Storage range	: -40°C - +80°C
Output Frequency range	: 950 MHz - 1450 MHz	Relative Humidity range	: 0% - 95%
Local Oscillator Frequency	: 5150 MHz	Dimensions (mechanical drawing)	: 183mm*60mm
Local Oscillator Stability in 25°c	: 5150 MHz (±	Number of output connections	: ONE
Return Loss (Form 950 MHz to 1750 MHz in 100 MHz Steps)	: 10 dB (TPY)	Type of output connections	: "F" TYPE FEMALE
Phase Noise at 1 kHz 10 kHz and 100 kHz (if multipoint for Vertical and Horizontal LO frequencies)	: -65dBc/Hz@1KHz -85dBc/Hz@10KHz -95dBc/Hz@100KHz	Impredance of output connections	: 75 OHMS

8.8.2 รุ่น ID 820 (5G)

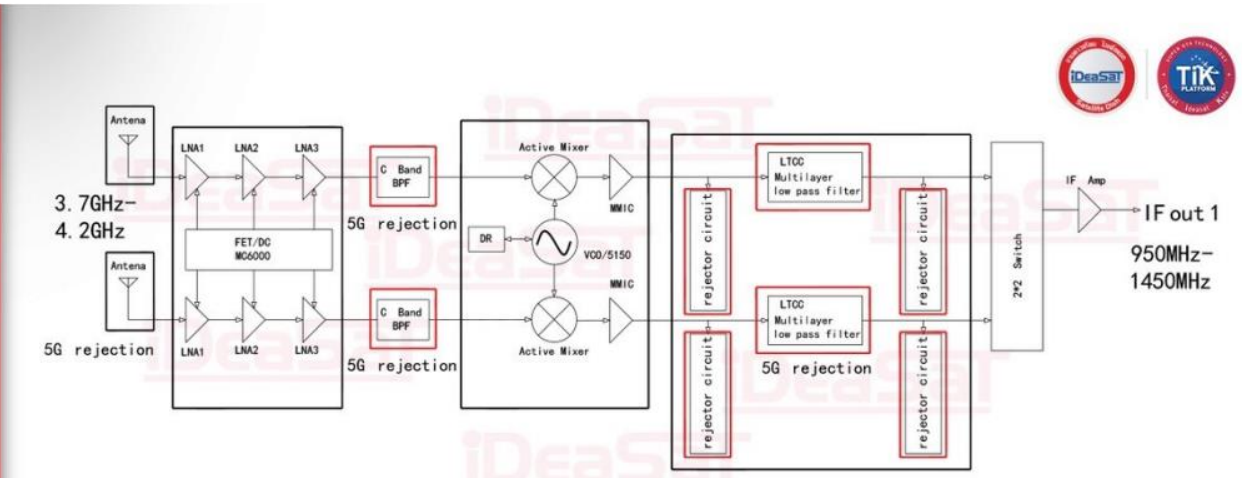


Specification

Noise Temperature Maximum	: 13° K
Typical Gain	: 63 dB
Minimum Gain	: 55 dB
Maximum Gain	: 70 dB
Gain Flatness	: 10 dB
Cross Polarization Minimum	: 20 dB MIN
Input Frequency range	: 3.7 GHz - 4.2 GHz
Output Frequency range	: 950 MHz - 1450 MHz
Local Oscillator Frequency	: 5150 MHz
Local Oscillator Stability in 25°c	: 5150 MHz (±
Return Loss (Form 950 MHz to 1750 MHz in 100 MHz Steps)	: 10 dB (TPY)
Phase Noise at 1 kHz 10 kHz and 100 kHz (if multipoint for Vertical and Horizontal LO frequencies)	: -65dBc/Hz@1KHz -85dBc/Hz@10KHz -95dBc/Hz@100KHz

Input VSWR	: 2.5 : 1
Output VSWR	: 2.5 : 1
Gain Flatness	: ± 1 dB / 36 MHz
Image Rejection	: 40 dB
Current Consumption (for 13v and 18v)	: 120 mA(MAX)
Temperature Operation range	: -30°C - +70°C
Temperature Storage range	: -40°C - +80°C
Relative Humidity range	: 0% - 95%
Dimensions (mechanical drawing)	: 183mm*80mm
Number of output connections	: ONE
Type of output connections	: "F" TYPE FEMALE
Impredance of output connections	: 75 OHMS

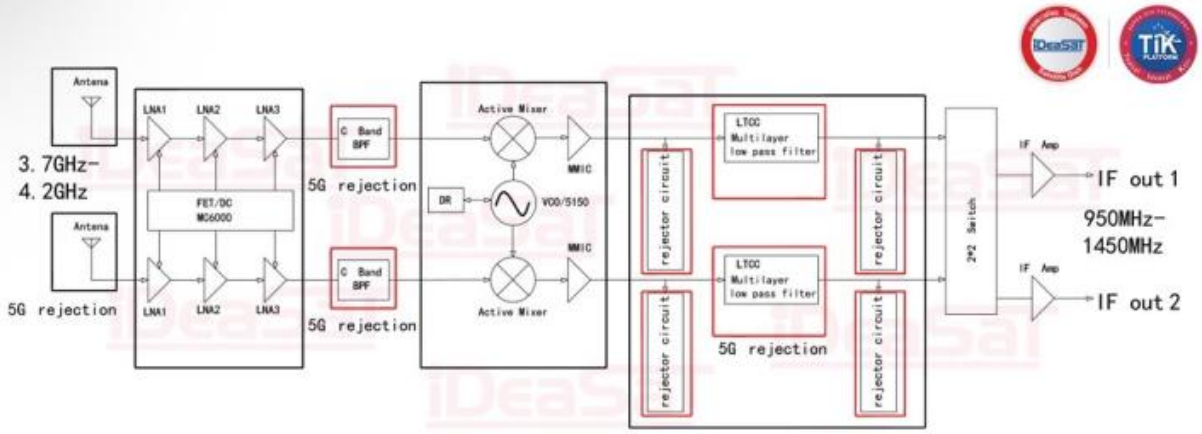
8.8.3 รุ่น ID 900+ 5G Filter 3.7-4.2 GHz



Specification

Input Frequency	: 3.7-4.2GHz	Output VSWR	: 2.5:1
Output Frequency	: 950~1450MHz	Output Spurious	: -60dBm(Max)
L.O Frequency	: 5.150GHz	Noise Temperature	: 12°K(Max)
Frequency Stability	: ±2MHz(-40°C~+70°C)	Power Supply	: 13-24V/150mA(Max)
Local Leakage Input	: -45dBm	Waveguide	: WC-229
REJECTION AT 3.5GHz	: ≥60dB	Switching Voltage	: 11-14.5 V(V)/15.5-20V(H)
Conversion Gain	: 65dB(Typ)	Image Rejection	: 45dB(Min)
L.O. PHASE NOISE	: -65 dBc/Hz@1KHz	Output Power	: +5dBm(at 1 dB compression)
L.O. PHASE NOISE	: -95 dBc/Hz@10KHz	Ouput Connector	: Type "F" Female
L.O. PHASE NOISE	: -105 dBc/Hz@100KHz	Input Connector	: Circular W G with Horn Ring
Gain Flatness	: ±4dB		

8.8.4 รุ่น ID 920+ 5G Filter LNB



Specification

Input Frequency	: 3.7-4.2GHz	Output VSWR	: 2.5:1
Output Frequency	: 950~1450MHz	Output Spurious	: -60dBm(Max)
L.O Frequency	: 5.150GHz	Noise Temperature	: 12°K(Max)
Frequency Stability	: ±2MHz(-40°C~+70°C)	Power Supply	: 11-22V/150mA(Max)
Local Leakage Input	: -45dBm	Waveguide	: WC-229
REJECTION AT 3.5GHz	: ≥60dB	Switching Voltage	: 11-14.5 V(V)/15.5-22V(H)
Conversion Gain	: 65dB(Typ)	Image Rejection	: 45dB(Min)
L.O. PHASE NOISE	: -65 dBc/Hz@1KHz	Output Power	: +5dBm(at 1 dB compression)
L.O. PHASE NOISE	: -95 dBc/Hz@10KHz	Ouput Connector	: Type "F" Female
L.O. PHASE NOISE	: -105 dBc/Hz@100KHz	Input Connector	: Circular W G with Horn Ring
Gain Flatness	: ±4dB		

infosat
คุณภาพเหนือความชัด

MODEL : CG-1
C-Band LNBF 5G Filter

Description: C-Band Single LNBF(3.7-4.2) with 5G Filter

Features:

1. Easy installation, scalar ring included.
2. Digital Ready,High Gain Output
3. Super low Noise,High Gain Output
4. High stop band rejection and low insertion loss;
5. Anti-5g signal interference,
6. 1 Output V/H : 13V/18V

Specification

Item	Specification	Item	Specification
Model No.	CG-1	Image Rejection	-40dB (Min.)
Input Frequency Range	3.70~4.20 GHz	Output VSWR	2.5:1 (Max.)
Output Frequency Range	950~1450 MHz	Output Power	1dBm (Min.)(at 1dB gain compression)
Noise Figure	17°K	Connector Type	75Ω Female Connector
Conversion Gain	65dB (Typ.)	DC Current Consumption	110mA (Max.)
Gain Flatness	±1dB(36MHz)	Polarity	Switching H/V 13V/18V
L.O. Frequency	5.150GHz	Operating Temperature	-30°C~+70°C
L.O. Frequency Stability	±0.5 MHz (Max.)@+25℃ ±1.0 MHz (Max.)@-30℃~+70℃	L.O. Phase Noise	60 dBc/Hz @1KHz 85 dBc/Hz @10KHz 110 dBc/Hz @100KHz

Satellite TVRO Products : Digital TV Products : CATV/SMATV Solution : Optical Fiber Solution : Digital Cable TV Solution : Security System Products

บริษัท อินโฟแซท จำกัด
32/58 ซ.ปากเกร็ด-ติวานนท์58 ม.5 ถ.ติวานนท์ ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 โทร. 0-2584-4755 แฟกซ์. 0-2584-4600 E-mail: sales@infosats.com
32/58 Soi.Pakkred-Tiwanon58, Moo.5 Tiwanon Rd., Banmai, Pakkred, Nontaburi 11120 THAILAND Tel. (66-2)584-4755 Fax. (66-2)584-4600 E-mail: sales@infosats.com

infosat
คุณภาพเหนือความชัด

MODEL : CG-2
C-Band LNBF Professional 5G Filter

Description: C-Band Twin outputs LNBF, 3.7- 4.2 GHz, Professional 5G Filter.

Features:

1. Professional 5G Filter. (2 PCBs of 5G Filter)
2. Twin outputs for 2 Rx.
3. Super low Noise,Hight Gain Output, High reliability.
4. Easy Installation,Qualified for working in harsh environments.

Specification

Item	Specification	Item	Specification
Model	CG-2	Image Rejection	40dB (Min.)
Input Frequency Range	3.70～4.20 GHz	Output VSWR	2.5:1 (Max.)
Output Frequency Range	950～1450 MHz	Output Power	3dBm (Min.)(at 1dB gain compression)
Noise Figure	35±5Tek	Connector Type	75Ω Female Connector
Conversion Gain	65dB (Typ.)	DC Current Consumption	80mA (Typ.)
Gain Flatness	±1dB(36MHz)	Polarity	Switching V/H 13V/18V
L.O. Frequency	5.150GHz	Operating Temperature	-30°C~+70°C
L.O. Frequency Stability	±1.0 MHz (Max.)@+25℃ ±2.0 MHz (Max.)@-30℃～+70℃	L.O. Phase Noise	70 dBc/Hz @1KHz 90 dBc/Hz @10KHz 110 dBc/Hz @100KHz

Satellite TVRO Products : Digital TV Products : CATV/SMATV Solution : Optical Fiber Solution : Digital Cable TV Solution : Security System Products

บริษัท อินโฟแซท อินเตอร์เทรด จำกัด (สำนักงานใหญ่)
32/58 ซ.ปากเกร็ด-ติวานนท์38 ม.5 ถ.ติวานนท์ ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 โทร. 0-2584-4755 แฟกซ์. 0-2584-4600 E-mail: sales@infosats.com
32/58 Soi.Pakkred-Tiwanon38, Moo.5 Tiwanon Rd., Banmai, Pakkred, Nontaburi 11120 THAILAND Tel. (66-2)584-4755 Fax. (66-2)584-4600 E-mail: sales@infosats.com

infosat
คุณภาพเหนือความชัด

MODEL : C1+
C-Band LNBF 5G Primary Filter

Description: C-Band Single LNBF, 3.7-4.2 GHz, 5G Primary Filter.

Features:

1. 5G Primary Filter. (2 PCBsof 5G Filter)
2. Dual Polarity Switchable, V/H: 13/18 VDC.
3. Super low Noise.
4. Digital HD Ready.
5. High Gain Output.
6. Easy Installation.
7. Water Proof.

Specification

Item	Specification	Item	Specification
Model	C1+	Image Rejection	40dB (Min.)
Input Frequency Range	3.70～4.20 GHz	Output VSWR	2.5:1 (Max.)
Output Frequency Range	950～1450 MHz	Output Power	3dBm (Min.)(at 1dB gain compression)
Noise Figure	35±5Tek	Connector Type	75Ω Female Connector
Conversion Gain	65dB (Typ.)	DC Current Consumption	80mA (Typ.)
Gain Flatness	±1dB(36MHz)	Polarity	Switching V/H 13V/18V
L.O. Frequency	5.150GHz	Operating Temperature	-30°C~+70°C
L.O. Frequency Stability	±1.0 MHz (Max.)@+25℃ ±2.0 MHz (Max.)@-30℃～+70℃	L.O. Phase Noise	70 dBc/Hz @1KHz 90 dBc/Hz @10KHz 110 dBc/Hz @100KHz

Satellite TVRO Products : Digital TV Products : CATV/SMATV Solution : Optical Fiber Solution : Digital Cable TV Solution : Security System Products

บริษัท อินโฟแซท อินเตอร์เทรด จำกัด (สำนักงานใหญ่)
32/58 ซ.ปากเกร็ด-ติวานนท์38 ม.5 ถ.ติวานนท์ ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 โทร. 0-2584-4755 แฟ็กซ์. 0-2584-4600 E-mail: sales@infosats.com
32/58 Soi.Pakkred-Tiwanon38, Moo.5 Tiwanon Rd., Banmai, Pakkred, Nontaburi 11120 THAILAND Tel. (66-2)584-4755 Fax. (66-2)584-4600 E-mail: sales@infosats.com

infosat
คุณภาพเหนือความชัด

MODEL : C2+
C-Band LNBF 5G Primary Filter

Description: C-Band Twinoutputs LNBF, 3.7-4.2 GHz, 5G Primary Filter.

Features:

1. 5G Primary Filter. (2 PCBsof 5G Filter)
2. Twinoutputs for 2 Rx.
3. Super low Noise,Hight Gain Output,High reliability.
4. Easy Installation,Qualified for working in harsh environments.
5. Multiswitch inside.

Specification

Item	Specification	Item	Specification
Model	C2+	Image Rejection	40dB (Min.)
Input Frequency Range	3.70～4.20 GHz	Output VSWR	2.5:1 (Max.)
Output Frequency Range	950～1450 MHz	Output Power	3dBm (Min.)(at 1dB gain compression)
Noise Figure	35±5Tek	Connector Type	75Ω Female Connector
Conversion Gain	65dB (Typ.)	DC Current Consumption	80mA (Typ.)
Gain Flatness	±1dB(36MHz)	Polarity	Switching V/H 13V/18V
L.O. Frequency	5.150GHz	Operating Temperature	-30°C~+70°C
L.O. Frequency Stability	±1.0 MHz (Max.)@+25℃ ±2.0 MHz (Max.)@-30℃～+70℃	L.O. Phase Noise	70 dBc/Hz @1KHz 90 dBc/Hz @10KHz 110 dBc/Hz @100KHz

Satellite TVRO Products : Digital TV Products : CATV/SMATV Solution : Optical Fiber Solution : Digital Cable TV Solution : Security System Products

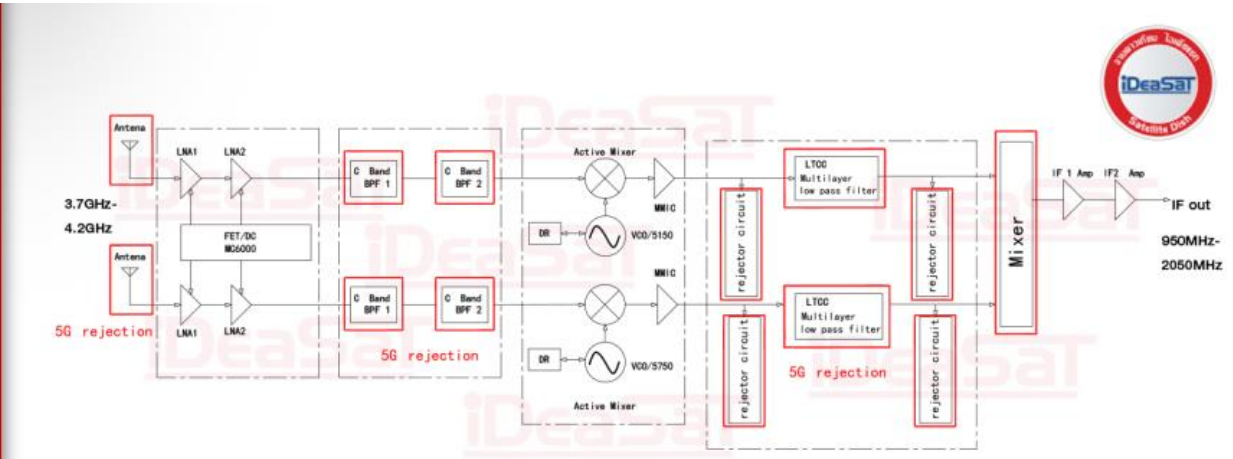
บริษัท อินโฟแซท อินเตอร์เทรด จำกัด (สำนักงานใหญ่)
32/58 ซ.ปากเกร็ด-ติวานนท์38 ม.5 ถ.ติวานนท์ ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 โทร. 0-2584-4755 แฟกซ์. 0-2584-4600 E-mail: sales@infosats.com
32/58 Soi.Pakkred-Tiwanon38, Moo.5 Tiwanon Rd., Banmai, Pakkred, Nontaburi 11120 THAILAND Tel. (66-2)584-4755 Fax. (66-2)584-4600 E-mail: sales@infosats.com

TECHNICAL SPECIFICATION

Model	X-2
Dish Type	C BAND
Input Frequency	3.7 - 4.2 GHz
L.O. Frequency	5.15 GHz
Frequency Stability	±2 MHz (-40°C ~ +70°C)
Output Frequency	950 ~ 1,450 MHz
Conversion Gain	65 dB (Type)
L.O. Phase Noise	-65 dBc / Hz @ 1 KHz -95 dBc / Hz @10 KHz -105 dBc/Hz @100 KHz
Gain Flatness	±4 dB
Noise Temperature	15°K
Output VSWR	2.5 : 1
Local Leakage Input	-45 dBm
Rejection at	3.4 GHz - 3.6 GHz > 60 dB
Output Spurious	-60 dBm (Max)
Output Power	+5 dBm (At 1 dB Compression)
Image Rejection	45 dB (Min)
Switching Voltage	11 - 14.5 V (V), 15.5 - 22 V (H) 11 - 14.5 V (V), 15.5 - 22 V (H)
EPG	Support 7 days
Power Supply	13-24 V / 150 mA (Max)
Operating Temperature	-40°C ~ +70°C
Relative Humidity	0% ~ 95%
WaveGuide	WC - 229
Output Connector	Type "F" Female * 2
Output Impedance	75 Ω
Input Connector	Circular W G with Horn Ring

PSI Official PSI.Official @PSI1247 PSISATS 1247
WWW.PSI.CO.TH

8.8.10 รุ่น ID-1000 (All In One) 5G Filter 3.7-4.2 GHz



Specification

Input Frequency	: 3.7-4.2GHz	Gain Flatness	: ±4dB
Output Frequency	: H: 950~1450MHz V:1550~2050MHz	Output VSWR	: 2.5:1
		Output Spurious	: -60dBm(Max)
L.O Frequency	: H: 5.150GHz V:5.75GHz	Noise Temperature	: 12°K(Max)
Frequency Stability	: ±2MHz(-40°C~+70°C)	Power Supply	: 11-22V/150mA(Max)
Local Leakage Input	: -45dBm	Waveguide	: WC-229
REJECTION AT 3.5GHz	: ≥60dB	Switching Voltage	: 11-22V
Conversion Gain	: 65dB(Typ)	Image Rejection	: 45dB(Min)
L.O. PHASE NOISE	: -65 dBc/Hz@1KHz	Output Power	: +5dBm(at 1 dB compression)
L.O. PHASE NOISE	: -95 dBc/Hz@10KHz	Ouput Connector	: Type "F" Female
L.O. PHASE NOISE	: -105 dBc/Hz@100KHz	Input Connector	: Circular W G with Horn Ring

iDeaSaT C-BAND With 3.5GHz Filter 3.7-4.2

C-BAND With 3.5GHz Filter

MODEL :

ID-D01

Technical Specification

Parameter	Specification
Input Frequency range	3.7-4.2GHz
Output Frequency range	950-1450MHz
L.O. Frequency	5.150GHz
Rejection at 3.5GHz	≥ 58 dB
Conversion Gain	62dB (Typ)
L.O. Phase Noise	-65dBc/Hz @ 1 KHz
L.O. Phase Noise	-95dBc/Hz @ 10 KHz
L.O. Phase Noise	-105dBc/Hz @ 100 KHz
Gain Flatness	±3dB
Output VSWR	2:1
Noise Temperature	20°K
Power Supply	12-24V/120mA(Max)
Output Connector	Type "F" Female
Connector	BJ40

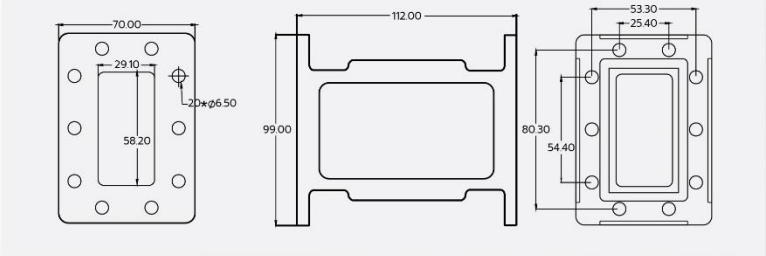
iDeaSaT

C-BAND BAND PASS FILTER 3.7-4.2

C-BAND
BAND PASS FILTER

Technical Specification

Parameter	Specification
Insertion Loss 3.7~4.2 GHz	≤ 0.5 dB
S. W. R 3.7~4.2 GHz	≤ 1. 3 dB
5G Rejection Competence 3.4~3.6 GHz	≥ 55 dB
Connector	BJ40
Dimensions	99x70x150mm
Weight	658g



8.9 แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์การประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนหัวรับ LNB

8.9.1 การคำนวณต้นทุนการเปลี่ยนหัวรับ LNB ทั้งประเทศไทยในระยะเวลา 5 ปี

รุ่น	ค่าเฉลี่ยราคา (บาท)
รุ่น ID 800 (5G)	336.33
รุ่น ID 820 (5G)	518.00
รุ่น ID 900+ 5G Filter 3.7-4.2 GHz	630.00
รุ่น ID 920+ 5G Filter LNB	723.33
รุ่น Infosat CG-1 band LNB_F 5G Pro Filter	360.00
รุ่น Infosat CG-2 band LNB_F 5G Pro Filter	375.00
รุ่น Infosat C1+ LNB_F 5G Filter	239.33
รุ่น Infosat C2+ LNB_F 5G Filter	435.67
รุ่น PSI X-2 5G	595.33
รุ่น ID-1000 (All In One) 5G Filter 3.7-4.2 GHz	0.00
รุ่น ID-D 01 (LNB) ID-DPF-A Filter 3.7-4.2 GHz	0.00
รุ่น C-Band Band Pass Filter 3.7-4.2 GHz	0.00
ราคาจำหน่ายหัว LNB C band ปลีก (เฉลี่ย)	468.11

บริการ	ราคา (บาท)
ค่าเฉลี่ยราคาค่าบริการเปลี่ยนหัวรับสัญญาณดาวเทียม LNB C Band	605.77
ราคาจำหน่ายหัว LNB C band ปลีก (เฉลี่ย)	468.11
ต้นทุนรวมต่อ 1 ครัวเรือน	1073.88

สมมุติฐาน	ราคา
ต้นทุนรวมต่อ 1 ครัวเรือน	1073.88
จำนวนครัวเรือนในประเทศไทยที่มีทีวีดาวเทียม (2562)	12,660,000.00
ต้นทุนรวมต่อครัวเรือนทั้งหมด	13,595,325,128.21

ระยะเวลา	ปี
ระยะเวลาในการเปลี่ยนหัว LNB ทุกครัวเรือน	5.00
จำนวนครัวเรือนต่อปีที่ได้รับการเปลี่ยนหัว LNB ต่อปี	2,532,000.00

ต้นทุนทั้งหมดต่อปี	บาท
ต้นทุนรวมครัวเรือนทั้งหมด	2,719,065,025.64

ต้นทุนทั้งหมดต่อปี (คาดการณ์เงินเฟ้อ 5 ปี)	2022	2023	2024	2025	2026
ต้นทุนรวมครัวเรือนทั้งหมด	2,719,065,025.64	2,719,065,025.64	2,719,065,025.64	2,719,065,025.64	2,719,065,025.64
อัตราเงินเฟ้อของแต่ละปี	1.20%	1.24%	1.55%	1.75%	1.90%
รวมต้นทุนต่อปี (บาท)	2,751,693,805.95	2,752,781,431.96	2,761,210,533.54	2,766,648,663.59	2,770,727,261.13

8.9.2 สมมติฐานการคำนวณ

Assumption	ค่าเชิงปริมาณ	หน่วย	อ้างอิง	URL
ค่าเฉลี่ยราคาค่าบริการเปลี่ยนหัวรับสัญญาณดาวเทียม LNB Ku-Band เท่ากับ C Band	605.77	บาท		
ระยะเวลาในการเปลี่ยนหัวรับ LNB ทั้งประเทศ	5	ปี		
ทุกครัวเรือนที่ใช้โทรทัศน์ดาวเทียมมีจานรับสัญญาณดาวเทียม	1	จาน		
อัตราเงินฟ้อ 2565	1.20%	ร้อยละ	ธนาคารแห่งประเทศไทย	https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/MonetPolicyComittee/MPR/Pages/default.aspx
อัตราเงินฟ้อ 2566	1.24%	ร้อยละ	Statista (คาดการณ์)	https://www.statista.com/statistics/332274/inflation-rate-in-thailand/
อัตราเงินฟ้อ 2567	1.55%	ร้อยละ	Statista (คาดการณ์)	https://www.statista.com/statistics/332274/inflation-rate-in-thailand/
อัตราเงินฟ้อ 2568	1.75%	ร้อยละ	Statista (คาดการณ์)	https://www.statista.com/statistics/332274/inflation-rate-in-thailand/
อัตราเงินฟ้อ 2569	1.90%	ร้อยละ	Statista (คาดการณ์)	https://www.statista.com/statistics/332274/inflation-rate-in-thailand/
จำนวนครัวเรือนในประเทศไทยที่มีทีวีดาวเทียม ณ ปี 2562	12,660,000.00	หลังคาเรือน	สำนักงานสถิติแห่งชาติ	www.nso.go.th/sites/2014/DocLib13/ด้านICT/เทคโนโลยีในครัวเรือน/2562/TV_62.pdf
ระยะเวลาในการเปลี่ยนหัวรับ LNB ทุกครัวเรือน	5	ปี		

8.9.3 สำรวจราคาจำหน่ายหัวรับ LNB C band

รุ่น	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 1	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 2	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 3	อ้างอิง	ราคาเฉลี่ยจำหน่ายปลีก
รุ่น ID 800 (5G)	450	http://www.siamsim.com/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&pid=1233334	300	http://www.isystemonline.com/products_detail/view/7477560	259	https://www.jd.co.th/product/idea-lnb-c-band-id-800-1-5g-fillter-2-v-h-c-band-digital-analogue_10147219.html	336
รุ่น ID 820 (5G)	450	https://www.sat-foryou.com/product/24235-22525/lnb-c-band-ideasat-%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-5g-twin-2%E0%B8%82%E0%B8%B1%E0%B9%89%E0%B8%A7	799	https://www.jd.co.th/product/idea-lnb-c-band-id-820-2-5g-fillter-twin-c-band-lnb-5g-fillter_12183674.html	305	https://biggo.co.th/s/ideasat+id+820+5g/	518
รุ่น ID 900+ 5G Filter 3.7-4.2 GHz	590	https://shopee.co.th/iDeaSaT-LNB-C-BAND-1%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%94-%E0%B8%A3%E0%B8%B	650	https://shopee.co.th/LNB-Ideasat-ID900-Pro-(%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A7%E0%B8	650	https://www.ufosat.com/product/13720/%E0%B8%AB%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B	630

รุ่น	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 1	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 2	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 3	อ้างอิง	ราคาเฉลี่ยจำหน่ายปลีก
		8%E0%B9%88%E0%B8%99-ID-900-(%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-5G)-i.14747509.4567169382		%99-5G)-i.3256048.5341611751		8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-lnb-%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99-id-900-5g?lnwref1=30000001&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOOTtvmUlf93FufjQtqmrH33Y2ulCjYzBing8kqv_ynvU7trmvUFQ_YaAqZ2EALw_wcB	
รุ่น ID 920+ 5G Filter LNB	690	https://shopee.co.th/iDeaSaT-LNB-C-BAND-2%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%94-%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99-ID-920-(%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-5G)-i.54129815.7653567303	730	https://www.lazada.co.th/products/ideasat-id-920-lnb-c-band-2-5g-fillter-5g-i2161080512.html	750	https://shopee.co.th/%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%87%E0%B8%9B%E0%B8%B8%E0%B9%8A%E0%B8%9A-%E0%B8%AA%E0%B9%88%E0%B8%87%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B9%8A%E0%B8%9A%F0%9F%9A%80-IdeaSat-ID-920--LNB-2-%E0%B8%82%E0%B8%B1%E0%B9%89%E0%B8%A7-%E0%B8%9B%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99	723

รุ่น	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 1	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 2	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 3	อ้างอิง	ราคาเฉลี่ยจำหน่ายปลีก
						%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-5G-i.76988617.3742178002?gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOMKMEg0R7q35MX-Lf1sX7P-h2C5CeN2mrKJqm6me_R-zcCzeA5rxHsaAgbiEALw_wcB	
รุ่น Infosat CG-1 band LNB_F 5G Pro Filter	360	https://shopee.co.th/infosat-C-Band-LNBF-5G-Filter-%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99-CG-1-%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%A2%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%99-C-Band-%E0%B9%81%E0%B8%A	375	https://shopee.co.th/Infosat-LNB-C-Band-5G-1-%E0%B8%82%E0%B8%B1%E0%B9%89%E0%B8%A7-%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99-CG-1-i.238633314.5341498622	345	https://www.lazada.co.th/products/infosat-lnb-c-band-5g-filter-1-cg-1-5g-2-400-i2719822363.html	360

รุ่น	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 1	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 2	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 3	อ้างอิง	ราคาเฉลี่ยจำหน่ายปลีก
		5%E0%B8%B0%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-5G-i.47460870.4841849512					
รุ่น Infosat CG-2 band LNB_F 5G Pro Filter	530	https://www.lazada.co.th/products/infosat-lnb-c-band-5g-2-c2-5g-multi-switch-infosat-ms34-3-4-i2584997437-s9196257123.html?exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:12654756915!117524295342!!!pla-294682000766!c!294682000766!9196257123!12027766&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOO8SGWOZLtpTGF843V7mG3_75FqKKz1XyXkjDpbFR1X2s	305	https://shopee.co.th/infosat-LNB-C-Band-5G-2%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%94%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%B0-%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99-C2%2B--%E0%B8%9B%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-5G-	290	https://www.lazada.co.th/products/infosat-lnb-c25g-filter-c-band-2-5g-i3001464597-s11010596999.html?exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:12654756915!117524295342!!!pla-294682000766!c!294682000766!11010596999!266755546&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOONN4_2LvDmUCInSyG9nIO8ETN1llaJnai0HArI9CL0H7NfP3Yxu0rcaAi4UEALw_wcB	375

รุ่น	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 1	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 2	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 3	อ้างอิง	ราคาเฉลี่ยจำหน่ายปลีก
		LR3D-0ngAaAqizEALw_wcB		%E0%B8%A3%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%A7%E0%B8%99--i.14747509.7067165223?gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOMMMoOYH_nOnzlGKUQzxhKguPdCrZY1n1LtWxJ03gI3Dyh1hN-AXUYaAg91EALw_wcB			
รุ่น Infosat C1+ LNB_F 5G Filter	159	https://www.lazada.co.th/products/5g-infosat-lnb-5g-filter-c-band-1-output-c1-5g-1-i1618480088-s4439440359.html?exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:12654756915!117524295342!!!pla-294682000766!c!294682000766!4439440359!12026 6787&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOMrbpLddGGUHTbiF6BmwPM6BvU5RBs-	360	https://www.lazada.co.th/products/infosat-c-band-5g-filter-cg-1-scalar-ring-i3120113115-s11575989484.html?exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:12654756915!11752429534 2!!!pla-294682000766!c!294682000766!11575989484!5209 63250&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOPAcst8Q-Qwe2K1M7q2sYUcixkTNv	199	https://www.lazada.co.th/products/1-infosat-c-band-lnbf-model-c1-5g-filter-i2885774078-s10530708746.html?exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:12654756915!117524295342!!!pla-294682000766!c!294682000766!10530708746!428481136&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOOmbyjLt5_k9BmiptdNdmZtMyCU_6UH6agjn7Pshqu9imDm0gn2t8QaAjN4EALw_wcB	239

รุ่น	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 1	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 2	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 3	อ้างอิง	ราคาเฉลี่ยจำหน่ายปลีก
		ANaJUzo_j6uaTejHo9FYxm8aAtU2EALw_wcB		Tg0m-geduQv9jiw7gRtJ9KVQkaAvsTEALw_wcB			
รุ่น Infosat C2+ LNB_F 5G Filter	534	https://www.lazada.co.th/products/spn-5g-infosat-lnb-5g-filter-c-band-2-output-c2-smart-tv-i3398127686-s12560513201.html?exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:12654756915!117524295342!!!pla-294682000766!c!294682000766!12560513201!546567837&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOONQjqfAgdTIyi2SH6gaP6ntacvUOfRmOa8J9urcKYNVRCN60V_3saEaAuh7EALw_wcB	498	https://www.lazada.co.th/products/infosat-lnb-c-band-5g-2-c2-5g-multi-switch-infosat-ms34-3-4-i2584927058-s9195803152.html?exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:12654756915!117524295342!!!pla-294682000766!c!294682000766!9195803152!120271219&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOMqRBdpRHjNHuDx8EJJO-BuZv2EKpeRQtmy4QxYeFtcdhqxl6wvbo0aArQ1EALw_wcB	275	https://shopee.co.th/%E0%B8%AB%E0%B8%B1%E0%B8%A7-LNB-%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B8%8D%E0%B9%88-%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B8%B0%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%87-Infosat-C2%2B--%E0%B8%9B%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-5G--i.149609941.12550952369?gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOPGYqSH2VScGtlPrKqe_skN	436

รุ่น	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 1	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 2	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 3	อ้างอิง	ราคาเฉลี่ยจำหน่ายปลีก
						Lw0rBidFDkL5Q_9jNK3DC52xFXv17xgaAnBkEALw_wcB	
รุ่น PSI X-2 5G	435	https://shopee.co.th/LNB-PSI-X-2-5G-Protect--%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93-5G--%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%97%E0%B9%89%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%A8%E0%B8%B9%E0%B8%99%E0%B8%A2%E0%B9%8C-i.168703436.9990807344?gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOONehjsCjSNz_6	905	https://www.jd.co.th/product/_24136232.html?gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOPzHUTVMM8QA8PhWfQ4YEa2lD8bpFQopYnv40nYIXbyo6kpJmDx948aArlYEALw_wcB	446	https://www.lazada.co.th/products/psi-lnb-5g-x2-new-version2-2-psi-i1727450983-s4944672437.html?exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:12654756915!117524295342!!!pla-294682000766!c!294682000766!494467243 7!135273101&gclid=Cj0KCQiA0p2QBhDvARIsAACSOOP1umKkMM1A4hjRdyucj4Qu_H3eBHDB5YKEsC23eFIOmdIn-Lep1egaAqXVEALw_wcB	595

รุ่น	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 1	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 2	อ้างอิง	ราคาจำหน่ายปลีกแหล่งที่ 3	อ้างอิง	ราคาเฉลี่ยจำหน่ายปลีก
		5rxWdyRkngOsLw_sdBK2egOJBehFuUx6MCmI_RevoaAi5iEALw_wcB					
รุ่น ID-1000 (All In One) 5G Filter 3.7-4.2 GHz	ยังไม่มีจำหน่วาย						
รุ่น ID-D 01 (LNB) ID-DPF-A Filter 3.7-4.2 GHz	ยังไม่มีจำหน่วาย						
รุ่น C-Band Band Pass Filter 3.7-4.2 GHz	ยังไม่มีจำหน่วาย						
ราคาเฉลี่ยขายปลีก							468

8.9.4 สำรวจค่าแรงการเปลี่ยนหัวรับ LNB

ลำดับ	กิจการของผู้ตอบแบบสำรวจ	จังหวัด	ค่าแรงเปลี่ยนหัวรับสัญญาณดาวเทียม LNB Ku-Band	LNB Ku-Band ของ IPM (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ PSI (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Thaisat (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Infosat (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Leotech (dBy) (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ True (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ DTV (แบบ Universal 1 ขั้ว)
1	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	ชลบุรี		500	500	500	500	500	500	500	500
2	ช่างอิสระ	กรุงเทพมหานคร	850	120	140	130	130	130	130	130	80
3	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	นครศรีธรรมราช	700								
4	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	ชลบุรี	500	350	350	350	350	350	350	350	
5	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	เชียงใหม่	500	200	200	200	200	200	200	20	200
6	ห้างหุ้นส่วนและบริษัทฯ	กรุงเทพมหานคร	1500	500	500	500	500	500	500	500	500
7	ช่างอิสระ	นนทบุรี	500	300	300	300	300	300	300	300	300
8	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	ชลบุรี	400	250	250	250	250	250	250	250	0
9	ช่างอิสระ	กรุงเทพมหานคร	700	200	200	200	200	200	200	200	200
10	ช่างอิสระ	อุทัยธานี	200								

ลำดับ	กิจการของผู้ตอบแบบสำรวจ	จังหวัด	ค่าแรงเปลี่ยนหัวรับสัญญาณดาวเทียม LNB Ku-Band	LNB Ku-Band ของ IPM (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ PSI (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Thaisat (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Infosat (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Leotech (dBy) (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ True (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ DTV (แบบ Universal 1 ขั้ว)
11	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	กรุงเทพมหานคร	1500	250	250	250	250	250	250	250	250
12	ช่างอิสระ	กรุงเทพมหานคร	500								
13	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	ชลบุรี	300	250	250	250				250	
14	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	สระบุรี	600								
15	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	พิษณุโลก	500	450	450		450				
16	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	นราธิวาส	600	150	150	150	150			250	150
17	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	สมุทรสาคร	800	300	300	300	300	300	300	350	300
18	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	ชลบุรี	400	250	300	280	250	200	250	350	200
19	ช่างอิสระ	ชลบุรี	600	350	350	350	350	350	350	550	550
20	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	สุราษฎร์ธานี	300	600	500	500	500	500	500	500	500
21	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	ระยอง	600	300	300	300	300	300	300	300	

ลำดับ	กิจการของผู้ตอบแบบสำรวจ	จังหวัด	ค่าแรงเปลี่ยนหัวรับสัญญาณดาวเทียม LNB Ku-Band	LNB Ku-Band ของ IPM (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ PSI (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Thaisat (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Infosat (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ Leotech (dBy) (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ True (แบบ Universal 1 ขั้ว)	LNB Ku-Band ของ DTV (แบบ Universal 1 ขั้ว)
22	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	ลพบุรี	400		200	200	200	200	200	200	200
23	ช่างอิสระ	กรุงเทพมหานคร	500	400		400	400	400	400	500	
24	ห้างหุ้นส่วนและบริษัทฯ	ภูเก็ต	500	350	350	350	350	350	350	350	350
25	ช่างอิสระ	เชียงใหม่	550	590	590	590	590	590	590	590	590
26	ร้านค้าและรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม	ชลบุรี	500	250	250	200	200	250	208	300	250
27	ห้างหุ้นส่วนและบริษัทฯ	นครปฐม	750	125	125	125	125	125	125	125	125
		ค่าเฉลี่ย	**605.77**	**319.77**	**309.32**	**303.41**	**311.14**	**312.25**	**312.65**	**323.41**	**291.39**

9 ข้อเสนอแนะจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

9.1 บริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี่ (ประเทศไทย)

1. Huawei's result LNBF 3.8-4.2 need only 100 MHz guard band and IMT can be 300 MHz which different from Prof. Vitawat You can see Huawei result as below

2. There are totally 23 LNBF models and ranking quality from A (best) to V (worst), but Prof. Vitawat select only 9 models randomly which are A, E, F, G, J, L, N, O, R.

   Comment by Huawei: It needs to split group between LNBF 3.7-4.2, LNBF3.8-4.2 and LNBF 3.9-4.2. Then can random Model of each group. As you can see from exist: Selected LNBF

3.7-4.2 = A, E, F, G, N, R but Selected LNBF 3.8-4.2 = L and Selected LNBF 3.9-4. 2 = J, O. It unfair to compare good quality of LNBF3.7-4.2 with medium quality of LNBF 3.8-4. 2 and LNBF 3.9-4.2. And need to split group of LNB+BPF from LNBF

3. Comment by Huawei: LNBF 3.7-4.2 turn on 5G only 100 MHz 200 Watt (3.5-3.6) but LNBF 3.8-4.2 turn on 5G 200 MHz 400 Watt. Which is unfair to compare result between LNBF 3.7-4.2 vs LNBF 3.8-4.2
4. Comment by Huawei: TP of H1 3700-3763 MHz it can work with LNBF 3.7-4.2 at Edge. But TP of H3 3782-3818 which half of TP be filtered by LNBF 3.8-4.2. It unfair to select H1 and H3 for compare quality of LNBF 3.7-4.2 vs LNBF 3.8-4.2
5. Installation, Calibrate and Pointing the satellite disk is very importance and effect to result of testing a lot. Need to be recorded the FSS signal strength before turn on 5G
6. For LNBF and LNB+BPF 3.84.2 GHz need to be re-testing especially when turn on 5G 3.6-3.7 GHz (and 3.5-3.7 GHz) and fine tune
7. For External Filter 3.9-4.2 GHz (with LNB 3.8-4.2) recommend to be test especially when turn on 5G 3.7-3.8 GHz (and 3.6-3.8 GHz) and fine tune.

9.2 บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)

1. ผลการทดสอบภาคสนามควรพิจารณาประเด็นทางเทคนิคเพิ่มเติม เช่น
   1.1. ความแรงของสัญญาณ 5G (Signal Strength) ในบริเวณต่างๆ ของพื้นที่ทดสอบ
   1.2. การลดลงของระดับความแรงสัญญาณ 5G เนื่องจากสิ่งกัดขวาง (Non line of sight - NLOS)
   1.3. คุณภาพการตัดสัญญาณในแถบหยุด (Stopband rejection) ของอุปกรณ์ LNB มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงจำนวน Carrier และกำลังส่งของระบบ 5G ในย่าน 3400-3700 MHz
   1.4. Side-lobe ของจานดาวเทียม สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนจากระบบ 5G ได้หรือไม่อย่างไร
   1.5. การทดสอบนี้ไม่ครอบคลุมถึงการศึกษาสัญญาณรบกวนจากระบบ 5G ไปยัง Telecom service
2. ความเป็นไปได้ในการกำหนดลักษณะทางเทคนิคของอุปกรณ์ 5G และอุปกรณ์ LNB ที่จะนำมาปรับเปลี่ยน รวมถึงเงื่อนไขอื่นๆ เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากระบบ 5G เช่น
   2.1. ค่าขั้นต่ำของการตัดสัญญาณ (Minimum rejection) ต้องมีความเหมาะสม เพื่อให้ LNB ชนิด 5G protection ที่จะนำมาเปลี่ยนให้ผู้ใช้งาน มีต้นทุนค่าอุปกรณ์ไม่สูงจนเกินไป
   2.2. ค่า 3 dB Lower Frequency ควรอยู่ในช่วง Guard band และมีค่าต่ำกว่า 3700 MHz เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อการใช้งานคลื่นความถี่ของกิจการดาวเทียมในย่าน 3700-4200 MHz
   2.3. ผลการทดสอบควรระบุประเภทอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบว่าเป็น LNBF หรือ LNB + Filter
   2.4. จัดทำคู่มือแนวทางปฏิบัติสำหรับการติดตั้งจานดาวเทียมและสถานีฐาน 5G กรณีมีข้อจำกัดของระยะห่างระหว่างสองระบบ
3. พิจารณาผลกระทบต่อผู้ให้บริการช่องสัญญาณดาวเทียม และกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา
   3.1. 12 Transponders บนดาวเทียมไทยคม 6 ซึ่งจะมีอายุถึงปี 2572 โดยประมาณ
   3.2. 14 Transponders บนดาวเทียมไทยคม 7 ซึ่งจะมีอายุถึงปี 2572 โดยประมาณ
   3.3. การเปลี่ยนอุปกรณ์ 5G protection ของผู้ใช้งานภาคพื้นดิน
   3.4. ระบบป้องกันและแก้ไขสัญญาณรบกวนในอนาคต
4. กำหนดให้มีมาตรการชดเชยเยียวยาผู้ได้รับผลกระทบ
   4.1. ดาวเทียมไทยคม 7 ต้องยุติการให้บริการในประเทศ 2 transponders
   4.2. การโยนย้ายความถี่ผู้ใช้งานและช่องโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม
   4.3. การเปลี่ยนอุปกรณ์ 5G protection ของผู้ใช้งานภาคพื้นดิน
5. กำหนดขั้นตอนการปรับปรุงการใช้คลื่นความถี่ย่าน 3500 MHz รวมถึงระยะเวลาดำเนินการให้ชัดเจน

9.3 บริษัท ทรู มูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมูนิเคชั่น จำกัด

1. บริษัทฯ มีข้อสังเกตว่าคณะที่ปรึกษาฯ ได้อธิบายวิธีการทดสอบแบบกว้างๆ ว่ามีขั้นตอนการทดสอบ (Test Methodology) ของแต่ละ test scenario อย่างไร โดยคณะที่ปรึกษาฯ ไม่ได้นำเสนอข้อมูลที่ระบุรายละเอียดการทดสอบที่ชัดเจนของแต่ละ test case ตัวอย่างเช่น ข้อมูลการตั้งค่า parameter ต่างๆ ของเครื่องส่ง IMT ข้อมูลช่องสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสัญญาณรบกวน เกณฑ์ที่คณะที่ปรึกษาฯ ใช้ในการพิจารณาว่าเป็นระดับสัญญาณที่ดาวเทียมเริ่มเกิดการรบกวน (เช่น จุดที่เมื่อสังเกตเห็นภาพในเครื่องรับทีวีเริ่มมีลักษณะโมเสค หรือจุดที่เมื่อเครื่องวัด Spectrum Analyzer วัดค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงหรือถึงค่าที่คณะที่ปรึกษาฯ กำหนดขึ้น) เป็นต้น ซึ่งการไม่ได้รับทราบข้อมูลที่มีรายละเอียดเพียงพอนั้น ส่งผลให้บริษัทฯ มีคำถามและข้อสงสัย รวมถึงยังไม่สามารถยอมรับผลการทดสอบได้ ทั้งนี้ บริษัทฯ จึงขอเสนอให้คณะที่ปรึกษาฯ เผยแพร่ข้อมูลรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบและผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้ดำเนินการ เพื่อความโปร่งใส ชัดเจน และสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้
2. บริษัทฯ มีข้อสังเกตถึงความถูกต้องและสอดคล้องของข้อมูลผลการทดสอบฯ ที่คณะที่ปรึกษาฯ นำมาเสนอในที่ประชุม อาทิเช่น ข้อมูล LNB ที่เลือกมาทดสอบไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบ LNB กล่าวคือ บริษัทฯ สังเกตเห็นว่า LNB จำนวนหนึ่ง ที่ระบุในผลการทดสอบไม่อยู่ในรายการ LNB ที่เลือกมาทดสอบ เป็นต้น นอกจากนี้ข้อมูลการจัดลำดับ LNB จากค่า Slope+ หรือ Upper Frequency Slope ซึ่งไม่ใช่เป็นตัวชี้วัดที่ดีสำหรับการจัดลำดับ LNB บริษัทฯ จึงไม่แน่ใจว่ามีความผิดพลาดจากขั้นตอนการจัดทำ Presentation หรือไม่
3. บริษัทฯ เห็นว่าเพื่อความชัดเจนในการพิจารณาผลการทดสอบ คณะที่ปรึกษาฯ ควรนำเสนอข้อมูลในส่วนของ “สรุปผลการทดสอบ” และแนวทางในการดำเนินการต่อไป ที่เป็นลายลักษณ์อักษรด้วย โดยจากผลการทดสอบเบื้องต้นที่คณะที่ปรึกษาฯ แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและ Guard Band บริษัทฯ ตีความว่าไม่ว่าอุปกรณ์ LNB ของดาวเทียมจะเป็นมีคุณลักษณะทางเทคนิคอย่างไร (รุ่น 3.7-4.2 GHz 3.8-4.2 GHz หรือ 3.9-4.2 GHz) คลื่นความถี่ที่กิจการ IMT สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดการรบกวนจะมีปริมาณใกล้เคียงกัน หรือสามารถใช้งานที่ช่วงความถี่ 3.4 ถึงประมาณ 3.62 GHz เสมอ ซึ่งบริษัทฯ เห็นว่าในทางเทคนิคมีความไม่สมเหตุสมผล และเห็นว่าคณะที่ปรึกษาฯ ควรดำเนินการวิเคราะห์และตรวจสอบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการทดสอบดังกล่าว ซึ่งอาจจะมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการทดสอบเพิ่มเติม หรือใช้การทดสอบวิธีอื่นทดแทนเพิ่มเติมด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้ผลการทดสอบสามารถมใช้เป็นแนวทางให้ กสทช. พิจารณากำหนดนโยบายที่เหมาะสมและเป็นประโยชน์สูงสุดต่อประเทศชาติต่อไป

9.4 บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

1. อยากทราบ LNB รุ่นที่ว่าผ่านการทดสอบเป็นรุ่นไหนบ้าง
2. LNB ของทาง PSI เป็นรุ่นไหนในสรุปการทดสอบ เพราะเราจะได้มาดูว่า Cost ในการพัฒนาสินค้าต่อไป
3. อยากให้มีสถานที่ทดสอบจริง เพราะผลการทดสอบสถานที่จริงจะไม่เหมือนกับใน Lab

9.5 บริษัท อินโฟแซท จำกัด

1. ประเด็นทางด้านเทคนิค

   1.1. เลือก 3.5 GHz Guard band 50 MHz

   1.2. 3.5 GHz คงไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ (เฉพาะที่เศรษฐกิจ) จึงควรจะมี LNB 2 รุ่น ให้ผู้ใช้งานเลือกซื้อที่เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ของตน (ไม่ต้องจ่ายแพง)

      1.2.1.Super 5G protection

      1.2.2.Primary 5G protection

   1.3. การผลิตหรือนำเข้าจำหน่าย ควรอยู่ในภายใต้โครงข่ายทีวีดาวเทียมเหมือนกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เพราะว่าต้องใช้คู่กับจานดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

   1.4. ไม่ต้องมีการตรวจสอบมาตรฐาน ก่อนนำเข้า เพราะว่าการตรวจสอบช้า มีค่าใช้จ่ายสูง กลไกตลาดและคุณภาพ จะเป็นตัวกำลังให้ผู้ใช้ได้เลือกซื้อเอง ดำเนินการเหมือนปัจจุบันนี้

   1.5. อยากให้มีการทดสอบเพิ่มเติมอีกครั้ง เนื่องจากการทดสอบครั้งที่ผ่านมาทาง infosat ถูกจำกัดในเรื่องของเวลา

2. ประเด็นคุ้มครองผู้บริโภคเดิม

   2.1. ต้องมีมาตรการเยียวยาผู้บริโภคที่จะโดนบังคับให้เปลี่ยน LNB เป็น 5G protection ผู้บริโภคไม่ได้ทำผิดอะไร

10 การจัดประชุม

10.1 การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ (สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายในอาคาร)

การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายในอาคาร

ดำเนินการจัดเมื่อวันที่ 29 เมษายน 2564 เวลา 14.30-16.00 น. ผ่านทางการประชุมโดยใช้ลิงค์ (Meeting ID: 940 0020 0745 Password: 722108)

https://chula.zoom.us/j/94000200745?pwd=NVVqd25qa1EzSkdsQWdnQmY3a2N2dz09

โดยมีผู้เข้าร่วมจำนวน 46 คน

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
1	นายอภิชาติ โรยแก้ว	สำนักงาน กสทช.	apichart.r@nbtc.go.th	0952500102
2	Wisarut Gunjarueg	Huawei	Wisarut.gunjarueg@gmail.com	0863268935
3	ณัฐชา เตชาชัยนิรันดร์	สำนักงาน กสทช.	nttnatcha@gmail.com	026708888 ต่อ 2648
4	Tanya Kosup	Ericsson	tanya.kosup@ericsson.com	0815557315
5	ศริญญา ปะสะกวี	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	sarinya@nimt.or.th	0833073332
6	นาย ศุภกร จุดประสงค์	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	Supakorn.ju@nt.ntplc.co.th	0944837199
7	พรชัย สินธุเจริญ	วิจัย พัฒนา	pornchai@psisat.com	0819016796
8	นาย พีระ พัชรินทร์ตนะกุล	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	Peerap@nt.ntplc.co.th	089-310-0710
9	มานพ จงจิตต์เวชกุล	จานดาวเทียมไอเดียแซท	Ideasat@hotmail.com	0813430259
10	นายพิรพร ลิมปพยอม	AWN	piraporl@ais.co.th	0811392299

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
11	Kwanchanok Klaikaew		kwanchanok.klaikaew@ericsson.com	0952521231
12	พรเทพ ฟูดุลยวัจนานนท์	ไอเดียแซท	tv59.net@hotmail.com	091-091-9196
13	สมิช บัตรเจริญ	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	smichb@nt.ntplc.co.th	0826915653
14	มานพ จงจิตต์เวชกุล	บริษัท เอ็ม เจ. แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (ไอเดียแซท)	ideasatofficial8@gmail.com	0813430259
15	Kanchai Phonnikorn	INFOSAT	yailiver@gmail.com	095 7982803
16	ดำรง หวังผล	บริษัท พีเอสไอ จำกัด	damrong@psisat.com	0819062083
17	ทองอยู่ ปานศิลา	บริษัท พีเอสไอ บรอดคาสติ้ง จำกัด	thongyoo@psisat.com	081-694-8577
18	พชรธรรม์ พลอัครวัตน์	Huawei	Phatcharadhan.p@huawei.com	0814559995
19	เสริมพล เติมมี	NT		
20	นายพุฒิเศรษฐ์ จงสกุล	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	phuthis@nt.ntplc.co.th	0814245187
21	นานอำนาจ ริยะสุ	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	amnard@nt.ntplc.co.th	0819847324
22	คนองฤทธิ์ บัวงาม	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ ตำกัด (มหาชน)	kanongrit.b@nc.ntplc.co.th	0864401564
23	มนตรี สุขรอบ	ไทยแซท เอ็กซ์เพิร์ท เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	nicssat@hotmail.com	0818412368
24	นางสาวรัชณีวรรณ ชาวนา	สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	rachaneewan.c@nbtc.go.th	0819244583

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
		สำนักงาน กสทช.		
25	Akkhaphon Rattanawit	NBTC	radiogang@hotmail.com	0875524499
26	วีระพล คนคง	กสทช	weeraphon.k@gmail.com	จคตตุ๊จุ
27	วสวัตติ์ สมแสวง	บมจ. ไทยคม	vasavats@thaicom.net	
28	ธนภร ทวิชศรี	สำนักงาน กสทช. (ดบ.)	thanapon.t@nbtc.go.th	
29	อาภาวดี นันตรี	กสทช	arpa.nbtc@gmail.com	0952549290
30	อรศรี ศรีระษา	สำนึก กสทช.	orasri.srirasa@gmail.com	0863888595
31	ธีรพร ไพทยะทัต	กสทช	teeraporn.p@nbtc.go.th	0991189999
32	นพวิชญ์ บุญจุน	สำนักงาน คณะกรรมการ ดิจิทัลเพื่อ เศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ	noppawit.b@onde.go.th	0837277799
33	ณพสิทธิ์ พิพิธพงศ์สันต์	สำนักงาน คณะกรรมการ ดิจิทัลเพื่อ เศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ	Noppasit.p@onde.go.th	0654175664
34	น.ส. เต็มสิริ ขำทอง	สำนักงาน คณะกรรมการ ดิจิทัลเพื่อ เศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ	temsiri.k@onde.go.th	021416871
35	บรรพต สุขประพฤติ	สำนักงาน คณะกรรมการ ดิจิทัลเพื่อ เศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ	banpot.s@onde.go.th	099-1868833
36	นฤมล พันธุ์มาดี	สำนักงาน คณะกรรมการ ดิจิทัลเพื่อ เศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ	narumol.p@onde.go.th	021416875

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
37	นายมานิต ถนอมศิลป์	บริษัท โทรคมนาคม แห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	manith@nt.ntplc.co.th	O814889349
38	somrat nimyen	Thaicom PLC	somratn@thaicom.net	
39	สมโภช วงษ์คำ	บมจ. โทรคมนาคม แห่งชาติ	sompoch.w@nc.ntplc.co.th	0813500703
40	ชัยพร พูลขันธ์	บมจ. โทรคมนาคม แห่งชาติ	chaiyaporn.p@nc.ntplc.co.th	0813500706
41	ชญาภา ศรีวิลาศ	สำนักงาน คณะกรรมการ ดิจิทัลเพื่อ เศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ	chayapa.s@onde.go.th	0830913203
42	อรรถปรีชา รักษาชาติ	กสทช.	Artprecha.r@nbtc.go.th	
43	Jittapat Bunnag	National Telecom	jittapat.b@cattelecom.com	0882954464
44	เถลิงศักดิ์ วนิชชากร	บมจ โทรคมนาคม แห่งชาติ	thalerngsak.v@nc.ntplc.co.th	0925695245
45	ดรัสวิน เพชรรัตน์	บ. โทรคมนาคม แห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	daruswin@nt.ntplc.co.th	0636354458
46	Suwatchai Tangpaopong	Dtac	suwatchai.tangpaopong@dtac.co.th	0942499007

10.2 การเข้าร่วมสังเกตการณ์การทดสอบโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ (สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายนอกอาคาร)

คณะวิจัยได้เรียนเชิญผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เข้าร่วมสังเกตการณ์การทดสอบโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายนอกอาคารในวันที่ 29 มิถุนายน 2564 เวลา 9.00-16.00 น. ณ. พื้นที่บริเวณลานพระบรมรูป 2 รัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งอยู่ที่ 254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โดยมีผู้เข้าร่วมจำนวน 22 คน

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
1	ศรุต ศีลแจ่มใส	สำนักงาน กสทช.		
2	ณัฐชา เตชาชัยนิรันดร์	สำนักงาน กสทช.	natcha.t@nbtc.go.th	0839911859
3	นายประมวล ประสาร	GMMZ	pramuan.pra@gmmz.tv	0859899963
4	วรวิทย์ ขุนพิทักษ์	Z trading (GMMZ)	woravit.khu@gmmz.tv	0852825862
5	นายมานิตย์ จันทร์กระมล	บริษัท แซทเทรดดิ้ง จำกัด	manit.cha@gmmz.tv	0868100031
6	ธีรวีร์ พรพิชยานุรักษ์	Z Trading Co.,Ltd. (GMMZ)	Theerawee.por@gmmz.tv	083-426-5888
7	พชรธรรม์ พลอัครวัตน์	Huawei	Phatcharadhan.P@huawei.com	0814559995
8	อิสระพงศ์ พูลสุข	Z-Trading	Isarapong.1234@gmail.com	0853872690
9	รัชณีวรรณ ชาวนา	สำนักงาน กสทช.	rachaneewan.c@nbtc.go.th	0819244583
10	Atinan Tumsatan	Dtac TriNet	Atinan@dtac.co.th	0851115754
11	Pitthawat Pongsa-nguansin	Dtac TriNet	pitthawat.pongsa-nguansin@dtac.co.th	0846960364
12	อิสระพงศ์ พูลสุข	Z-Trading	Isarapong.1234@gmail.com	0853872690
13	ธีรวีร์ พรพิชยานุรักษ์	GMM	theerawee.por@gmmz.tv	0834265888
14	นายมานิตย์ จันทร์กระมล	บจก. แซทเทรดดิ้ง	manit.cha@gmmz.tv	0868100031

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
15	วรวิทย์ ขุนพิทักษ์	GMMZ (GMM Grammy)	woravit.khu@gmmz.tv	0852825862
16	ศรุต ศีลแจ่มใส	สำนักงาน กสทช.	sarut.s@nbtc.go.th	0897741007
17	Rittavee Chantarakul	Nokia	rittavee.chantarakul@nokia.com	0817317701
18	นายอภิชาติ โรยแก้ว	กสทช.	Apichart.r@nbtc.go.th	0952500102
19	อธิป กีรติพิชญ์	dtac TriNet	atip@dtac.co.th	0814246071
20	phatcharadhan phonakaradetch	Huawei	phatcharadhan.g@huawei.com	081-455-9995
21	ZHOUHENG	Huawei	zhouheng2@huawei.com	66996864142
22	Peng Zheshi	Huawei	Peng.zheshi@huawei.com	0900508783

10.3 การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ (สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายนอกอาคาร)

การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับกรณีศึกษาการใช้งานภายนอกอาคาร

ดำเนินการจัดเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม 2564 เวลา 13.30-16.00 น. ผ่านทางการประชุมโดยใช้ลิงค์ (Meeting ID: 986 8302 9243 Password: 634370)
https://chula.zoom.us/j/98683029243?pwd=YzQzSyt2Q3NaV1FHR3NsV2ZZVWpmUT09

โดยมีผู้เข้าร่วมจำนวน 69 คน

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
1	กิตติคุณ ตั้งศรีวงษ์	dtac	kittikun@dtac.co.th	0812084979
2	วิศรุต กัลย์จารึก	Huawei	Wisarut.gunjarueg@gmail.com	0863268935
3	พรเทพ ฟูดุลยวัจนานนท์	iDeasat	tv59.net@hotmail.com	091-091-9196
4	ขรรค์ชัย พลนิกร	INFOSAT	yailiver@gmail.com	0957982803
5	ณัฐชา เตชาชัยนิรันดร์	สำนักงาน กสทช.	nttnatcha@gmail.com	0839911859
6	Tanya Kosup	Ericsson	tanya.kosup@ericsson.com	0815557315
7	ศุภกร จุดประสงค์	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด(มหาชน)	Supakorn.ju@nt.ntplc.co.th	0944837199
8	พชรธรรม์ พลอัครวัตน์	Huawei Technologies (Thailand)	Phatcharadhan.P@huawei.com	0814559995
9	เสาวภาคย์ สาสนัส	NT PLC	Saowapha@nt.ntplc@co.th	0617056611
10	ศุภมงคล วงษ์ประเสริฐ	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	smongkol@nt.ntplc.co.th	0813784483
11	มานพ จงจิตต์เวชกุล	บริษัท เอ็มเจ แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (ไอเดีย แซท)	ideasatofficial8@gmail.com	0813430295
12	มานิตย์ จันทร์กระมล	บจก. แซทเทรดดิ้ง	manit.cha@gmmz.tv	0868100031

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
13	ศรุต ศีลแจ่มใส	สำนักงาน กสทช.		
14	เถลิงศักดิ์ วนิชชากร	บมจ โทรคมนาคม แห่งชาติ	thalerngsak.v@nc.ntplc.co.th	0925695245
15	นายพิรพร ลิมปพยอม	AWN	piraporl@ais.co.th	0811392299
16	สืบสกุล สุกใส	NT	suebsaku@nt.ntplc.co.th	0817335897
17	อาภาวดี นันตรี	ดบ	arpa.nbtc@gmail.com	0952549290
18	ชลิต จิระธรรมนุกูล	บ.เอ็มเจ แซท เทลไลท์ เซ็นเตอร์ จก.	chalit_idea_z@hotmail.com	087 6982421
19	Zhou Heng	Antenna M marketing	Zhouheng2@huawei.com	0066996864142
20	วรครินทร์ สุทธิพันธุ์	บริษัท โทรคมนาคม แห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	worakrin@nt.ntplc.co.th	0894655451
21	นุกูล โชตเศรษฐ์	บริษัท โทรคมนาคม แห่งชาติ	nukoonc@nt.ntplc.co.th	0814963771
22	วรวิทย์ ขุนพิทักษ์	GMM Grammy (GMMZ)	woravit.khu@gmmz.tv	0852825862
23	supap phopirom	บริษัท โทรคมนาคม แห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	supappho@nt.ntplc.co.th	08 9300 2111
24	ญาตินันท์ ทองเนียม	สำนักงาน กสทช.	yatinan.t@nbtc.go.th	02 670 8888 ext 2738
25	มนทิรา พิชนาหะรี	Network Planning	montira_pic@truecorp.co.th	0891047124
26	Sirichai Charoensiriwilai	AWN	sirichac@ais.co.th	065-5652449
27	นายพุเศรษฐ์ จงสกุล	บมจ. โทรคมนาคม แห่งชาติ	phuthis@nt.ntplc.co.th	081-4245187
28	นาย มานิต ถนอมศิลป์	บริษัท โทรคมนาคม แห่งชาติ	manith@nt.ntplc.co.th	O814889349

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
		จำกัด (มหาชน)		
29	เสริมพล เติมมี	NT		
30	ชยาภา นาคนาวา	NT	chayapa.n@nt.ntplc.co.th	025755846
31	พัชรินทร์ พิพัฒหัตถกุล	NT plc.	Patchae@nt.ntplc.co.th	0893100711
32	อุปการ เธียรมนตรี	สำนักงาน กสทช.	aupakarn.t@nbtc.go.th	0815750435
33	นายญาณภัทร แสงชาติ	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	yarnapha@nt.ntplc.co.th	0905070614
34	ดลยา คงรำพึง	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	dollaya@nt.ntplc.co.th	0924414997
35	ประมวล ประสาร	GMMZ	pramuan.pra@gmmz.tv	0859899963
36	อำนาจ ริยะสุ	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด(มหาชน)	amnard@nt.ntplc.co.th	025682407
37	วีณา จ่างเจริญ	บริษัท ทรู มูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมิวนิเคชั่น จำกัด	weena_jan@truecorp.co.th	
38	chayut charoensiri	NT	ichayut.c@gmail.com	0813500220
39	ภานุวัฒน์ ผงสุวรรณกุล	PSI	phanuwat@psisat.com	0811220080
40	วรกาน ลิขิตเดชาศักดิ์	HUAWEI Technologies (Thailand) Co., Ltd.	Woragarn.Likhitdechasakdi@huawei.com	0815674718
41	ธนา จงสดใสทวี	TRUE	Tana_cho@truecorp.co.th	0891396020
42	วสวัตติ์ สมแสวง	บมจ. ไทยคม	vasavats@thaicom.net	
43	นายปิยบุตร พรหมรุ่งเรือง	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	piyabutp@thaicom.net	0898156475
44	จิตภัทร บุนนาค	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	jittapat.b@nc.ntplc.co.th	0882954464
45	องอาจ กาญจนวุฒิธรรม	Truevision	Ongart_kan@truecorp.co.th	0859806696

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
46	กนกพร	หัวเว่ย	kanokporn.w@huawei.com	0896799961
47	อาทินันทน์ ทุมสท้าน	DTAC	atinan@dtac.co.th	0851115754
48	Pitthawat Pongsa-Nguansin	dtac	pitthawat.pongsa-nguansin@dtac.co.th	0846960364
49	นายอรรฆพล รัตนวิทย์	สำนักงาน กสทช.	radiogang@hotmail.com	0875524499
50	นายดำรง หวังผล	บริษัทพีเอสไอ	damrong@psisat.com	0819062083
51	ชนฤทธิ์ บุญญานุวัตร์	รส.	Chonrit.b@nbtc.go.th	0611935563
52	รพีพร บัวหอม	สำนักงาน กสทช.	Rapeeporn.b@nbtc.go.th	022717600 ext 5921
53	วีระพล	กสทช	weeraphon.k@gmail.com	
54	ทนงศักดิ์ สุขะนินทร์	สนง.กสทช	thanongsak.s@nbtc.go.th	0869793642
55	เจษฎา ศิวรักษ์	Ericsson Thailand	jesada.sivaraks@ericsson.com	0854820000
56	นายอภิชาติ โรยแก้ว	สำนักงาน กสทช.	apichart.r@nbtc.go.th	0952500102
57	อรทัย สุวรรณสกนธ์	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	orathai@nt.ntplc.co.th	
58	พลโท เจด็จ ใจมั่น	อนุกรรมการ คณะเทคโนฯ	jadetjaimun@hotmail.com	081-8111810
59	Jeerasit Janto	NBTC	Jeerasit.j@nbtc.go.th	092525995
60	ปรีดิ์ จรูญวัฒนเลาหะ	คบ.	pree.c@nbtc.go.th	0817097685
61	มานพ งามเกียรติขจร	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	manopn@mt.ntplc.co.th	0893064747
62	จรูญ บุญมาก	Thaicom	jaroonb@thaicom.net	0879309826
63	อิสระพงศ์ พูลสุข	GMM	isarapong.poo@gmmz.tv	0853872690
64	บันลือ กิจสหวงศ์	NT	bunlue.k@cattelecom.com	0864501161
65	Atip Keeratipish	Dtac	Atip@dtac.co.th	0814246071
66	ภาณุพงศ์ ทองทา	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ	Phanuphong.t@nc.ntplc.co.th	0813500003
67	จรรยา วุฒยาภรณ์	์NT	junya.v@nc.ntplc.co.th	081 352 0092
68	pongsak ngammitsomboon	Thaicom PCL.	pongsakn@thaicom.net	0819315084
69	Sirichai	NT	Sirichai.e@nc.ntplc.co.th	021044794

10.4 การประชุมสัมมนาออนไลน์รับฟังและเสนอแนะแนวทางการทดสอบ เพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์

การประชุมสัมมนาออนไลน์รับฟังและเสนอแนะแนวทางการทดสอบ เพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์

ดำเนินการจัดเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2564 เวลา 9.00-12.00 น. ผ่านทางการประชุมโดยใช้ลิงค์ (Meeting ID: 992 3477 0157 Password: 316681)
https://chula.zoom.us/j/99234770157?pwd=bERPYTdMUVJNZVM4d0NNOXB2N1A0UT09

โดยมีผู้เข้าร่วมจำนวน 66 คน ดังนี้

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
1	ประมวล ประสาร	GMMZ	pramuan.pra@gmmz.tv	0859899963
2	นายพิรพร ลิมปพยอม	AWN	Piraporl@ais.co.th	0811392299
3	อำนาจ ริยะสุ	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด(มหาชน)	amnard@nt.ntplc.co.th	0819847324
4	อาทินันทน์ ทุมสท้าน	DTAC	atinan@dtac.co.th	0851115754
5	ธัญญา โคศุภ	Ericsson	tanya.kosup@ericsson.com	0815557315
6	ศมาธร เทียนกิ่งแก้ว	mu Space and Advanced Technology Company Limited	samathorn.t@muspacecorp.com	0645244777
7	ฐปนีย์ วัชรชัยสมร	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	thapanee.v@nc.ntplc.co.th	021043548
8	ชลิต จีระธรรมนุกูล	บ.เอ็มเจ แซทเทลไลท์เซ็นเตอร์ จก.	Chalit_idea_z@hotmail.cpm	087 6982421
9	วสวัตติ์ สมแสวง	บมจ ไทยคม	vasavats@thaicom.net	
10	ขวัญใจ เลิศภูมิปัญญา	บมจ ไทยคม	khwanjaij@thaicom.net	
11	CHATPETCH BUNYAKATE	บมจ ไทยคม	chatpetb@thaicom.net	
12	PONGSAK NGAMMITSOMBOON	บมจ ไทยคม	pongsakn@thaicom.net	
13	อำนวย เหลืองหิรัญวุฒิ	Truevisions	amnuay_lua@truecorp.co.th	0891396016

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
14	ฉัตรเพชร บุณยเกตุ	บมจ. ไทยคม	chatpetb@thaicom.net	0819181478
15	ฑีฆายุ ศรีโต	สดช.	teekayu.s@onde.go.th	0818016162
16	ยมุนา อารมณ์	สดช.	yamuna.a@onde.go.th	0868807402
17	สกลวรรณ นาคสมภพ	สดช.	sakolwan.n@onde.go.th	0868027575
18	กนกพร คุณชัยเจริญกุล	True Corporation PLC	kanokporn_kun@truecorp.co.th	0865219538
19	กิตติ พฤกษ์ธาดาชัย	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	kittiplu@nt.ntplc.co.th	0893015495
20	วิศรุต กัลย์จารึก	huawei	Wisarut.g@huawei.com	0863268935
21	ยุทธนา แจ่มจำรัส	กสทช.	yuttananewj@gmail.com	0991852372
22	ธนา จงสดใสทวี	TRUE	Tana_Cho@truecorp.co.th	0891396020
23	นิวัติ เธียรวุฒิกานต์	บมจ. เอ็นที	niwatt@nt.ntplc.co.th	0893005488
24	นพพล ม่วงน้อย	NT	nopphon@nt.ntplc.co.th	0894537240
25	ศรุต ศีลแจ่มใส	สำนักงาน กสทช.		
26	Kittichai	Nokia Thailand	kittichai.apintanaphong@nokia.com	0859118842
27	สุรัตน์ สุทธิเรือง	ZTE Thailand	surat.su@zte.com.cn	0851500275
28	supap phopirom	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	supappho@nt.ntplc.co.th	0893002111
29	Wasan Taweesin	Nokia	Wasan.1.Taweesin@nokia.com	0818031880
30	ศุภารดี ภิญโญโสภณ	Bangkok Innovation Zystem	Suparadee.p@bangkokinnovation.com	0814562422
31	วศินี ศฤงคารินกุล	บริษัท โนเกีย (ประเทศไทย) จำกัด	wasinee.salingkarinkul@nokia.com	0891396710
32	กิตติ ศรีบุญญากร	กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม	Kitti s@mdes.go.th	0955533771
33	KIATCHAI SRIBUSDEE	National Telecommunication (NT)	keitties@nt.ntplc.co.th	0818576388
34	นิตยา ลามี	สำนักงานปลัดกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม	nittaya.l@mdes.go.th	0871679056

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
35	นายปราการ พันธุเสนา	สำงานปลัดกระทรวงดิจิเพื่อเศรษฐกิจและสังคม	prakarn.p@mdes.go.th	0819343575
36	สัจจพันธ์ พัวไพบูลย์	True VIsions	Sajjapan_Pua@truecorp.co.th	0891396026
37	อารีรัตน์ ศรีลังกูล	บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติจำกัด(มหาชน)	areerat.s@nc.ntplc.co.th	0830419062
38	ประภาพรรณ พรมแก้ว	บธส.	Prapapun.p@nt.ntplc.co.th	0839996942
39	นายพุฒิเศรษฐ์ จงสกุล	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	phuthis@nt.ntplc.	0814245187
40	พัชรินทร์ พิพัฒหัตถกุล	NT	Patchae@nt.ntplc.co.th	0893100711
41	องอาจ กาญจนวุฒิธรรม	ทรูวิชั่นส์	Ongart_kan@truecorp.co.th	0859806696
42	สโรช ทรัพย์บุญมี	ทรู วิชั่นส์	sarodh_sup@truecorp.co.th	0891833883
43	เสาวภาคย์ สาสนัส	NT	Saowapha@nt.ntplc.co.th	0617056611
44	กาญจนา ทองคำ	บริษัท ไทยแซทโกลบอล จำกัด	kanjana.t@wifi-first.co.th	0891306532
45	Chayut charoensiri	NT	Chayut.c@gmail.com	0813500220
46	พิทวัส พงศ์สงวนสิน	dtac	pitthawat.pongsa-nguansin@dtac.co.th	0846960364
47	JULLAJAK	Bangkok Innovation Zystem.com	jullajak.k@bangkokinnovation.com	0841466665
48	JULLAJAK KITTICHAROENSINCHAI	BANGKOK INNOVATION ZYSTEM	jullajak.k@bangkokinnovation.com	0841466665
49	Montira Pichanaharee	TUC	Montira_pic@truecorp.co.th	0891047124
50	นายมัทฐิชัย พับบรรจง	NBTC	mattichai.p@nbtc.go.th	
51	Sirichai Charoensiriwilai	AWN	sirichac@ais.co.th	065-5652449
52	ภาณุพงศ์ ทองทา	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	Phanuphong.t@nc.ntplc.co.th	0813500003
53	อรรถปรีชา รักษาชาติ	กสทช.	Artprecha@gmail.com	
54	นายกฤษณ์ โกวิทพัฒนา	สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	krit.k@onde.go.th	09 7196 2491

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
55	ธนา จงสดใสทวี	TRUE	Tana_cho@truecorp.co.th	0891396020
56	KIATCHAI SRIBUSDEE	National Telecommunication	keitties@nt.ntplc.co.th	0818576388
57	นายปิยบุตร พรหมรุ่งเรือง	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	piyabutp@thaicom.net	0898156475
58	นายปิยบุตร พรหมรุ่งเรือง	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	piyabutp@thaicom.net	0898156475
59	ยศชนินทร์ ตั้งสุรกิจ	บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ	yoschanin.t@nc.ntplc.co.th	0812320077
60	นายมานิต ถนอมศิลป์	บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	manith@nt.ntplc.co.th	O814889349
61	ณัฐณิชา โทนสูงเนิน	NT	natnicha.th@nc.ntplc.co.th	0926923239
62	เสรี ชาวบ้านกร่าง	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติฯ	seri.c@nc.ntplc.co.th	0813716398
63	เสริมพล เติมมี	NT		
64	นางสาวกัลยกร ศรีพัฒนานนท์	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	Kanyakorn.s@nc.ntplc.co.th	0929029645
65	ยุทธนา แจ่มจำรัส	กสทช.	yuttana.j@nbtc.go.th	0991852372
66	Montira Pichanahree	TUC	montira_pic@truecorp.co.th	0891047124

10.5 การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์

การประชุมสัมมนาออนไลน์รับทราบผลการดำเนินโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์

ดำเนินการในวันที่ 16 กันยายน 2564 เวลา 13.00-16.00 น. ผ่านช่องทาง (Meeting ID: 951 7968 6971 Password: 635560)

https://chula.zoom.us/j/95179686971?pwd=bmdlU3JzSG51Q2M1Ni9OZE1yc0FGQT09

โดยมีผู้เข้าร่วมจำนวน 52 คน

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
1	Kanchai Phonnikorn	Infosat	yailiver@gmail.com	0813038379
2	ชลิต จิระธรรมนุกูล	บ.เอ็มเจ แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด	Chalit_idea_z@hotmail.com	087 6982421
3	อำนาจ ริยะสุ	บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด(มหาชน)	amnard@nt.ntplc.co.th	0819847324
4	ธัญญา โคศุภ	Ericsson	tanya.kosup@ericsson.com	0815557315
5	อาทินันทน์ ทุมสท้าน	DTAC	atinan@dtac.co.th	0851115754
6	Phatcharadhan Phonakkarawat	Huawei	Phatcharadhan.P@huawei.com	0814559995
7	นายพิรพร ลิมปพยอม	AWN	piraporl@ais.co.th	0811392299
8	ศุภารดี ภิญโญโสภณ	บริษัท บางกอก อินโนเวชั่น ซิสเต็ม จำกัด	suparadee.p@bangkokinnovation.com	0814562422
9	จอมใจ บำรุงราษฎร์	์NT	jomjai.b@nc.ntplc.co.th	0812320067
10	ฐปนีย์ วัชรชัยสมร	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	thapanee.v@nc.ntplc.co.th	021043548
11	Atip Keeratipish	dtac TriNet	atip@dtac.co.th	0814246071
12	Wasan Taweesin	Nokia	Wasan.1.Taweesin@nokia.com	0818031880
13	Suwatchai Tangpaopong	Dtac	suwatchai.tangpaopong@dtac.co.th	0942499007
14	นายดำรง หวังผล	บริษัท พีเอสไอ	damrong@psisat.com	0819062083
15	ขวัญใจ เลิศภูมิปัญญา	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	khwanjaij@thaicom.net	0865409248

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
16	พัชรินทร์ พิพัฒหัตถกุล	NT	patchae@nt.ntplc.co.th	0893100711
17	กิตติ พฤกษ์ธาดาชัย	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	kittiplu@nt.ntplc.co.th	0893015495
18	ศมาธร เทียนกิ่งแก้ว	mu Space and Advanced Technology Con., Ltd	samathorn.t@muspacecorp.com	0645244777
19	เสาวภาคย์ สาสนัส	NT	Saowapha@nt.ntplc.co.th	0617056611
20	นพพล ม่วงน้อย	NT	nopphon@nt.ntplc.co.th	0894537240
21	นิวัติ เธียรวุฒิกานต์	โครงข่าย Gateway ดาวเทียม	niwatt@nt.ntplc.co.th	0893005488
22	วีณา จ่างเจริญ	บริษัท ทรู มูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมิวนิเคชั่น จำกัด	weena_jan@truecorp.co.th	
23	ยุทธนา แจ่มจำรัส	สำนักงาน กสทช.	yuttana.j@nbtc.go.th	0991852372
24	วสวัตติ์ สมแสวง	บมจ ไทยคม	vasavats@thaicom.net	
25	นาย มานิต ถนอมศิลป์	บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	manith@nt.ntplc.co.th	0814889349
26	supap phopirom	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	supappho@nt.ntplc.co.th	0893002111
27	ยมุนา อารมณ์	สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	yamuna.a@onde.go.th	02 1421168
28	junlapong	NT	junlapon@nt.ntplc.co.th	
29	ศุภมงคล วงษ์ประเสริฐ	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	smongkol@nt.ntplc.co.th	0813784483
30	นายกิตติ ศรีบุญญากร	กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม	Kitti.s@mdes.go.th	0889836063
31	นายปราการ พันธุเสนา	กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม	Prakarn.p@mdes.go.th	0819343575
32	นายพุฒิเศรษฐ์ จงสกุล	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	phuthis@nt.ntplc.co.th	0814245187
33	ศุภกร จุดประสงค์	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ	Supakorn.ju@nt.ntplc.co.th	0944837199

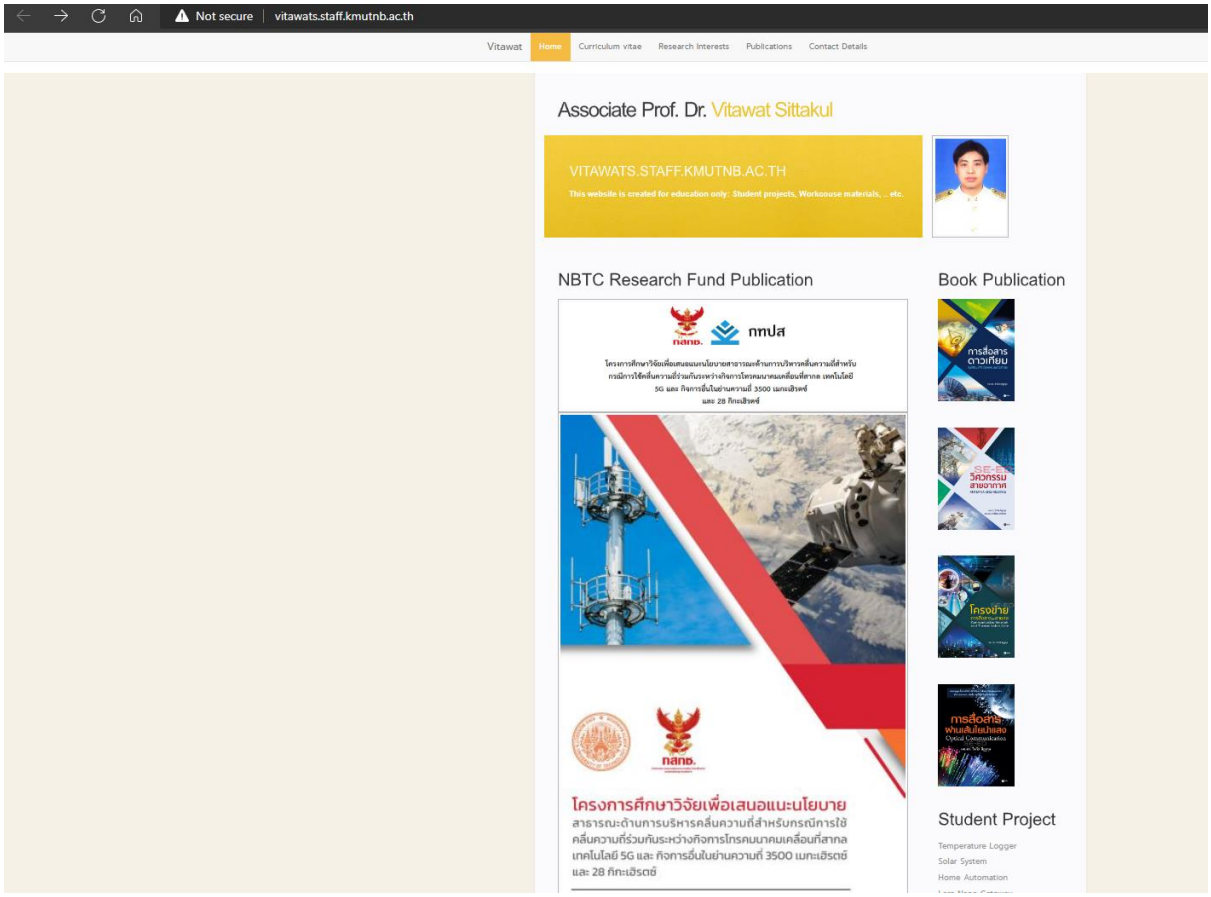
ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
34	ภาณุพงศ์ ทองทา	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด(มหาชน)	Phanuphong.t@nc.ntplc.co.th	0813500003
35	Orathai Suwansakol	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	orathai@nt.ntplc.co.th	
36	นายนิษณะ พัฒนพนิชธำรงค์	Thaicom Plc.	nitsanap@thaicom.net	0897912929
37	นวัตกรณ์ ไก่แก้ว	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	nawattakorn@gistda.or.th	0835293836
38	จรรยา วุฒยาภรณ์	NT	junya.v@nc.ntplc.co.th	0813520092
39	นายมัทฐิชัย พับบรรจง	สำนักงาน กสทช.	mattichai.p@nbtc.go.th	2616
40	นายจิรวัฒน์ หวลหงษ์	Thaisat Global	jirawat.h@wifi-first.co.th	0910279836
41	นางสาวรัชณีวรรณ ชาวนา	สำนักงาน กสทช.	rachaneewan.c@nbtc.go.th	0819244583
42	เสกสรรค์ มิตรเกษม	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	angkhana.wichaidit@gmail.com	0818988588
43	ยศชนินทร์ ตั้งสุรกิจ	บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ	yoschanin.t@nc.ntplc.co.th	0812320077
44	นายอรรฆพล รัตนวิทย์	กสทช.	radiogang@hotmail.com	0875524499
45	พรชัย สิริเฉลิมพงศ์	สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก	pornchai_tv5@yahoo.com	0847372132
46	ร.ท.มารุต ม่วงคำ	รร.นนก.	tkotonkla@gmail.com	0925794425
47	จิรภัทร ขันทอง	เอกชน	Jirapat@tandm.co.th	0804995353
48	ปิยรัตน์ อุ่นกาเย็น	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	piyarat.u@nc.ntplc.co.th	0813520335
49	วรครินทร์ สุทธิพันธุ์	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	worakrin@nt.ntplc.co.th	0894655451
50	นุกูล โชตเศรษฐ์	จรย.2 (NT)	nukoonc@nt.ntplc.co.th	0814963771
51	สมโภช วงษ์คำ	NT	sompoch.w@nc.ntplc.co.th	0813500703
52	อรศรี ศรีระษา	สำนึก กสทช.	orasri.srirasa@gmail.com	0863888595

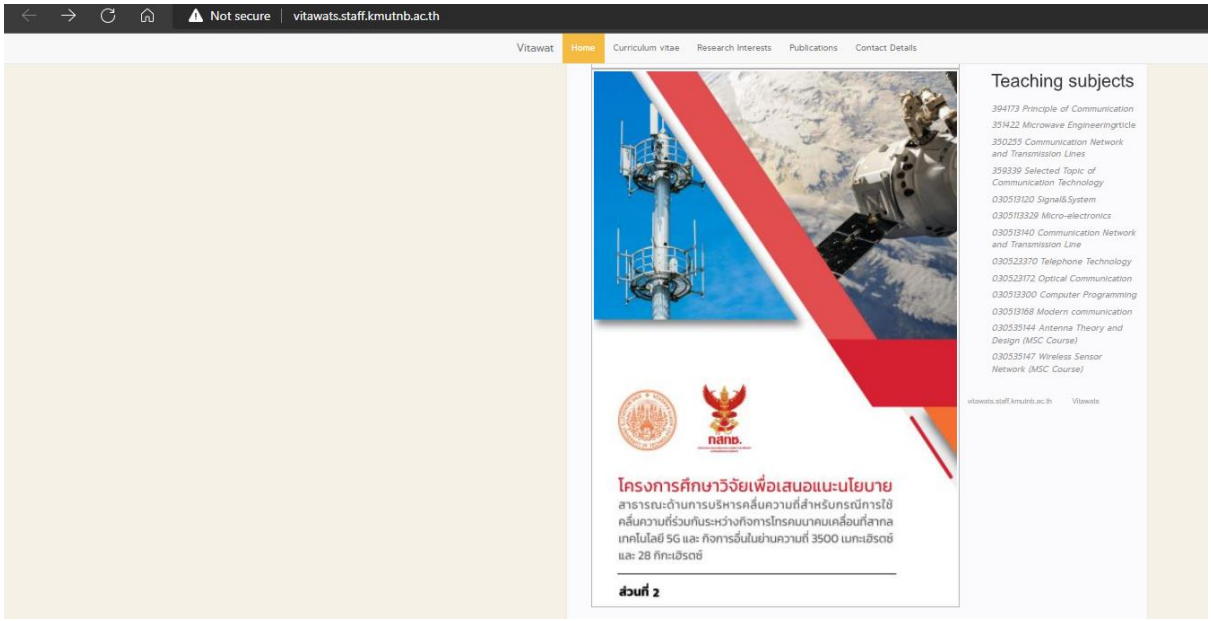
11 การเผยแพร่ผลการศึกษา

คณะผู้วิจัยได้ทำการเผยแพร่ผลการศึกษาของโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ จำนวน 3 ช่องทาง โดยมีรายละเอียดดังนี้

11.1 การเผยแพร่ผ่านสื่อสารสนเทศ

คณะผู้วิจัยได้ทำการเผยแพร่ผลการศึกษาของโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ ผ่านช่องทางเว็บไซต์ http://vitawats.staff.kmutnb.ac.th/





11.2 การจัดพิมพ์ White Paper

คณะผู้วิจัยได้ทำการเผยแพร่ผลการศึกษาของโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลเทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 3500 เมกะเฮิรตซ์ ด้วยการจัดพิมพ์เอกสารเผยแพร่ผลการศึกษาจำนวน 111 ฉบับและดำเนินการจัดส่งไปยังรายละเอียดดังตารางด้านล่าง

ตัวอย่างหลักฐานการส่ง White Paper ไปยังผู้รับจำนวน 111 ฉบับ

บริษัทไปรษณีย์ไทย จำกัด
คปณ.บีกซี ศรีนครินทร์
สาขาที่ 1677
เลขที่ 425 หมู่ 5 ตำบล สำโรงเหนือ อำเภอ เมือง
สมุทรปราการ จังหวัด สมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10270
Tel.
TAX ID. 0105546095724
ใบรับเงิน
POS B051100002A0761 RCPT# 7130
26/05/2022 12:22:05 USER#piyatida.ks
RC#517361 W2 TR# 210793

Refer ABB Rcpt#85402
เลขประจำตัวผู้เสียภาษีอากร 0994000160534
สำนักงานใหญ่
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขต บางซื่อ
กรุงเทพฯ 10800

1. ผู้รับ: คณะวิศกรรมศาสตร์ ED 6788 2813 6 TH
น้ำหนัก 0.944 Kg. TH 10800 บางซื่อ
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

2. ผู้รับ: บ.ยูไนเต็ด ED 6788 2814 0 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10900 จตุจักร
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

3. ผู้รับ: สน.วิบาวิศวกรรม ED 6788 2815 3 TH
น้ำหนัก 0.952 Kg. TH 30000 นครราชสีมา
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

4. ผู้รับ: บ.ไชเมท ED 6788 2816 7 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 10520 ลาดกระบัง
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

5. ผู้รับ: บ.บางกอก ED 6788 2817 5 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10110 พระโขนง
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

6. ผู้รับ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ ED 6788 2818 4 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 10160 ภาษีเจริญ
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

7. ผู้รับ: บ.อินเทอร์เน็ต ED 6788 2819 8 TH
น้ำหนัก 0.952 Kg. TH 10310 ลาดพร้าว
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

8. ผู้รับ: บ.ห้าเจ๋ย ED 6788 2820 7 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10310 ลาดพร้าว
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

9. ผู้รับ: บ.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ED 6788 2821 5 TH
น้ำหนัก 0.960 Kg. TH 30000 นครราชสีมา
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

10. ผู้รับ: School ED 6788 2822 4 TH
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 12120 คลองหลวง
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

11. ผู้รับ: สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น ED 6788 2823 8 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10250 ออนนุช
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

12. ผู้รับ: IRC ED 6788 2824 1 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10310 ลาดพร้าว
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

13. ผู้รับ: ม.มีที ED 6788 2825 5 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10240 คลองจั่น
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

14. ผู้รับ: ม.แอมเน็กซ์ ED 6788 2826 9 TH
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10310 ลาดพร้าว
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

15. ผู้รับ: สนง.คระกรรมการดิจิทัล ED 6788 2827 2 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10210 หลักสี่
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

16. ผู้รับ: ม.กรุงเทพ ED 6788 2828 6 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 12120 คลองหลวง
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

17. ผู้รับ: ม.ไนเกีย ED 6788 2829 0 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 10110 พระโขนง
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

18. ผู้รับ: ม.เทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ED 6788 2830 9 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 73170 พุทธมณฑล
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

19. ผู้รับ: บ.จัสเทล ED 6788 2831 2 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 11120 ปากเกร็ด
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

20. ผู้รับ: FIT ED 6788 2832 6 TH
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10210 หลักสี่
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

21. ผู้รับ: บ.ทริปเปิ้ลที ED 6788 2833 0 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 11120 ปากเกร็ด
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

22. ผู้รับ: บ.เรดวัน ED 6788 2834 3 TH
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10900 จตุจักร
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

23. ผู้รับ: สมาคมการค้า ED 6788 2835 7 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10120 ยานนาวา
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

24. ผู้รับ: บีซีจี ED 6788 2836 5 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 10900 จตุจักร
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

25. ผู้รับ: บ.ไทมเซท ED 6788 2837 4 TH
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10900 จตุจักร
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

26. ผู้รับ: สนง.ปลัดกระทรวง ED 6788 2838 8 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10210 หลักสี่
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

27. ผู้รับ: ม.เทคนดลนิมหานคร ED 6788 2839 1 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 10530 หนองจอก

28. ผู้รับ: บ.เนบัน ED 6788 2840 5 TH
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10500 บางรัก
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

29. ผู้รับ: บ.แพลนเน็ต ED 6788 2841 4 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10230 จรเข้บัว
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

30. ผู้รับ: บ.มิว สเปซ ED 6788 2842 8 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

31. ผู้รับ: บ.ทีบี ED 6788 2843 1 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

32. ผู้รับ: บ.วลัยลักษณ์ ED 6788 2844 5 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 80160 ท่าศาลา
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

33. ผู้รับ: สนง.พัฒนาเทคโนโลยี ED 6788 2845 9 TH
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10210 หลักสี่
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

34. ผู้รับ: บ.ธีรคลัน ED 6788 2846 2 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10900 จตุจักร
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

35. ผู้รับ: TCC ED 6788 2847 6 TH
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10120 ยานนาวา
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

36. ผู้รับ: บ.[illegible] ED 6788 2848 0 TH
น้ำหนัก 0.956 Kg. TH 10120 ยานนาวา
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

37. ผู้รับ: บ.โอทาโร ED 6788 2849 3 TH
น้ำหนัก 0.960 Kg. TH 10130 พระประแดง
N EMS ในประเทศ ฿67.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-27.00

38. ผู้รับ: รีทวัส ED 6788 2850 2 TH
น้ำหนัก 1.002 Kg. TH 10800 บางซื่อ
N EMS ในประเทศ ฿82.00
ส่วนลดส่งเสริมรายการขาย ฿-37.00

รวมทั้งสิ้น ฿1,525.00
เงินสด ฿2,000.00
เงินทอน -฿475.00

ผู้รับเงิน

KERRY EXPRESS

บริษัท เคอรี่ เอ็กซ์เพรส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
ห้อง 906 ชั้น 9 อาคารเจ้าพระยาทาวเวอร์ 89 ซ.วัดสวนพลู
ถนนเจริญกรุง แขวงบางรัก เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500
Tax ID : 0107563000037 สำนักงานใหญ่ Tel : 0954416424
ต้นฉบับใบเสร็จรับเงิน
เลขที่ใบเสร็จ : BCSD220501938 วันที่ : 25/05/2565 15:53
ลูกค้า : คุณ รศ.ดร.วิทวัส สิฏฐกุล หน้า (1/1)

1. BCSD000130317ER	1	
ผู้รับ : ดร.พีระ พัชรินทร์ตนะกุล		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
Sub Total		40.00
Discount		21.00
Net Total		19.00

สิบเก้าบาทถ้วน

CARD 19.00

Staff : Noppiphat Naovalak [TH] : 1 Ref No : 1NOP048

KERRY EXPRESS

บริษัท เคอรี่ เอ็กซ์เพรส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
ห้อง 906 ชั้น 9 อาคารเจ้าพระยาทาวเวอร์ 89 ซ.วัดสวนพลู
ถนนเจริญกรุง แขวงบางรัก เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500
Tax ID : 0107563000037 สำนักงานใหญ่ Tel : 0954416424
ต้นฉบับใบเสร็จรับเงิน
เลขที่ใบเสร็จ : BCSD220501939 วันที่ : 25/05/2565 15:54
ลูกค้า : คุณ รศ.ดร.วิทวัส สิฏฐกุล หน้า (1/1)

1. BCSD000130321DQ	1	
ผู้รับ : คุณสินชัย อนันตปรีชา		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
Sub Total		40.00
Discount		21.00
Net Total		19.00

สิบเก้าบาทถ้วน

CARD 19.00

Staff : Noppiphat Naovalak [TH] : 1 Ref No : 1NOP049

KERRY EXPRESS

บริษัท เคอรี่ เอ็กซ์เพรส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
ห้อง 906 ชั้น 9 อาคารเจ้าพระยาทาวเวอร์ 89 ซ.วัดสวนพลู
ถนนเจริญกรุง แขวงบางรัก เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500
Tax ID : 0107563000037 สำนักงานใหญ่ Tel : 0954416424
ต้นฉบับใบเสร็จรับเงิน
เลขที่ใบเสร็จ : BCSD220501941 วันที่ : 25/05/2565 15:56
ลูกค้า : คุณ รศ.ดร.วิทวัส สิฏฐกุล หน้า (1/1)

1. BCSD000130322QW	1	
ผู้รับ : คุณ มานพ จงจิตต์เวชกุล		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
Sub Total		40.00
Discount		21.00
Net Total		19.00

สิบเก้าบาทถ้วน

CARD 19.00

Staff : Noppiphat Naovalak [TH] : 1 Ref No : 1NOP051

KERRY EXPRESS

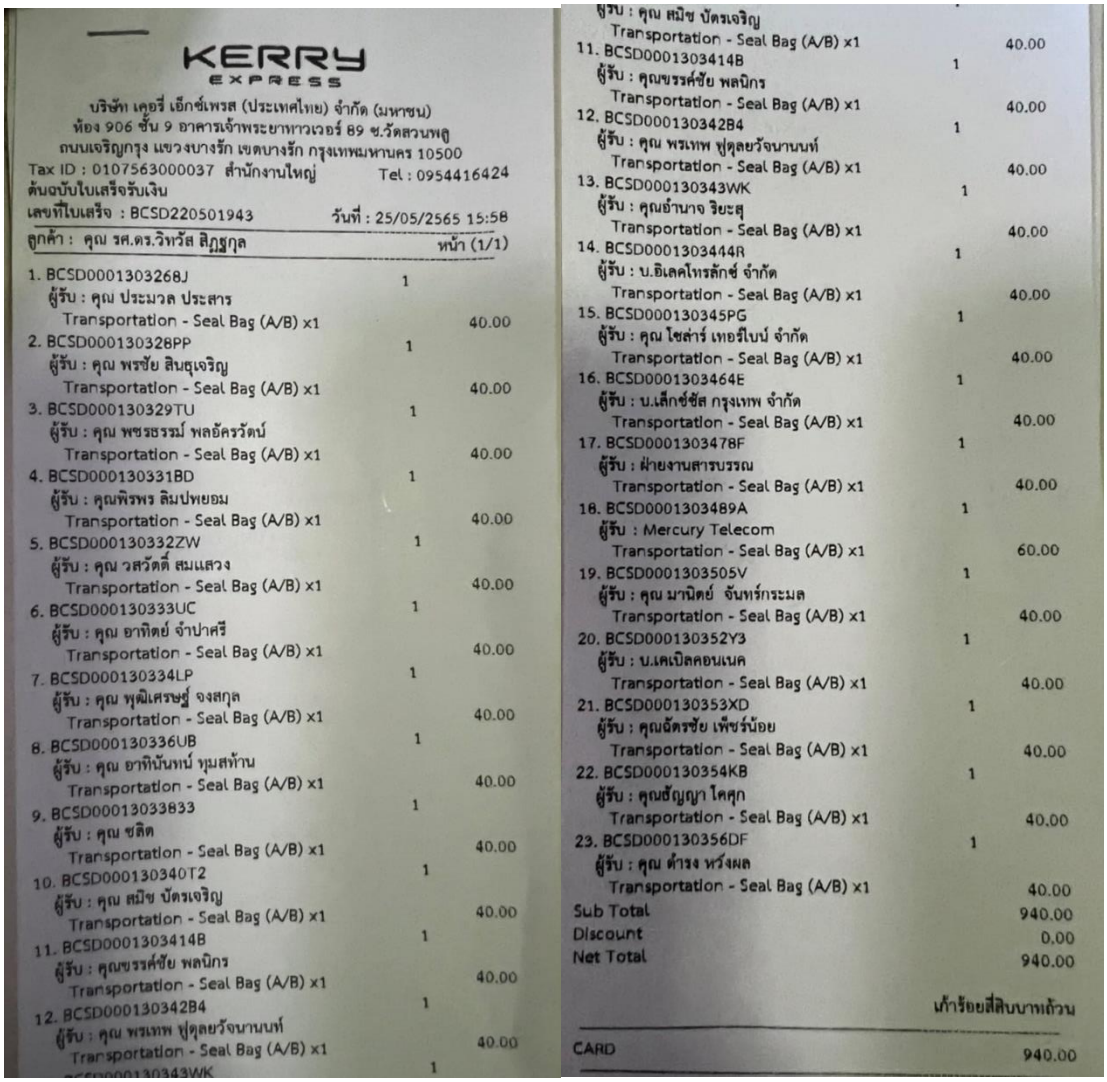
บริษัท เคอรี่ เอ็กซ์เพรส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
ห้อง 906 ชั้น 9 อาคารเจ้าพระยาทาวเวอร์ 89 ซ.วัดสวนพลู
ถนนเจริญกรุง แขวงบางรัก เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500
Tax ID : 0107563000037 สำนักงานใหญ่ Tel : 0954416424
ต้นฉบับใบเสร็จรับเงิน
เลขที่ใบเสร็จ : BCSD220501942 วันที่ : 25/05/2565 15:57
ลูกค้า : คุณวิทวัส สิฏฐกุล หน้า (1/1)

1. BCSD0001303243C	1	
ผู้รับ : คุณมนตรี ศุขรอบ		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		60.00
Sub Total		60.00
Discount		41.00
Net Total		19.00

สิบเก้าบาทถ้วน

CARD 19.00

Staff : Noppiphat Naovalak [TH] : 1 Ref No : 1NOP052



KERRY
EXPRESS

บริษัท เคอรี่ เอ็กซ์เพรส (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
ห้อง 906 ชั้น 9 อาคารเจ้าพระยาทาวเวอร์ 89 ซ.วัดสวนพลู
ถนนเจริญกรุง แขวงบางรัก เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500
Tax ID : 0107563000037 สำนักงานใหญ่ Tel : 0954416424
ต้นฉบับใบเสร็จรับเงิน
เลขที่ใบเสร็จ : BCSD220501943 วันที่ : 25/05/2565 15:58
ลูกค้า : คุณ รศ.ดร.วิทวัส สิฏฐกุล หน้า (1/1)

1. BCSD0001303268J	1	
ผู้รับ : คุณ ประมวล ประสาร		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
2. BCSD000130328PP	1	
ผู้รับ : คุณ พรชัย สินธุเจริญ		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
3. BCSD000130329TU	1	
ผู้รับ : คุณ พชรธรรม์ พลอัครวัตน์		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
4. BCSD000130331BD	1	
ผู้รับ : คุณพิรพร ลิมปพยอม		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
5. BCSD000130332ZW	1	
ผู้รับ : คุณ วสวัตติ์ สมแสวง		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
6. BCSD000130333UC	1	
ผู้รับ : คุณ อาทิตย์ จำปาศรี		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
7. BCSD000130334LP	1	
ผู้รับ : คุณ พุฒิเศรษฐ์ จงสกุล		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
8. BCSD000130336UB	1	
ผู้รับ : คุณ อาทินันทน์ ทุมสท้าน		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
9. BCSD00013033833	1	
ผู้รับ : คุณ ชลิต		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
10. BCSD000130340T2	1	
ผู้รับ : คุณ สมิช บัตรเจริญ		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
11. BCSD00013033414B	1	
ผู้รับ : คุณขรรค์ชัย พลนิกร		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
12. BCSD000130342B4	1	
ผู้รับ : คุณ พรเทพ ฟูตุลยวัจนานนท์		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
13. BCSD000130343WK	1	
ผู้รับ : คุณอำนาจ ริยะสุ		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
14. BCSD0001303444R	1	
ผู้รับ : บ.อิเลคโทรลักซ์ จำกัด		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
15. BCSD000130345PG	1	
ผู้รับ : คุณ โซล่าร์ เทอร์โบน์ จำกัด		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
16. BCSD0001303464E	1	
ผู้รับ : บ.เล็กซ์ซัส กรุงเทพ จำกัด		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
17. BCSD0001303478F	1	
ผู้รับ : ฝ่ายงานสารบรรณ		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
18. BCSD0001303489A	1	
ผู้รับ : Mercury Telecom		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		60.00
19. BCSD0001303505V	1	
ผู้รับ : คุณ มานิตย์ จันทร์กระมล		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
20. BCSD000130352Y3	1	
ผู้รับ : บ.เคเบิลคอนเนค		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
21. BCSD000130353XD	1	
ผู้รับ : คุณฉัตรชัย เพ็ชร์น้อย		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
22. BCSD000130354KB	1	
ผู้รับ : คุณชัญญา โคศุก		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
23. BCSD000130356DF	1	
ผู้รับ : คุณ ดำรง หวังผล		
Transportation - Seal Bag (A/B) x1		40.00
Sub Total		940.00
Discount		0.00
Net Total		940.00

เก้าร้อยสี่สิบบาทถ้วน

CARD 940.00

บริษัทไปรษณีย์ไทย จำกัด
สมุทรปราการ 202 09013
สาขาที่ 1232 Tel. 0-2758-1556
TAX ID. 0105546095724
ใบรับเงิน
POS B051100002A0590 RCPT#585682
25/05/2022 17:11:22 USER#tamiza.ma
RC#700138 W1 TR#633324

1. ผู้รับ: กบอ. RL 3394 8945 5 TH
น้ำหนัก 0.954 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

2. ผู้รับ: ธีชี เน็ต RL 3394 8946 9 TH
น้ำหนัก 0.960 Kg. TH 11120 ปากเกร็ด
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

3. ผู้รับ: คณะวิศวฯ ม. RL 3394 8947 2 TH
เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
น้ำหนัก 0.960 Kg. TH 10120 ยานนาวา
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

4. ผู้รับ: สมาคมโทรคมนาคม RL 3394 8948 6 TH
น้ำหนัก 0.960 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

5. ผู้รับ: ฟอสส์ เทเลคอม RL 3394 8949 0 TH
น้ำหนัก 0.960 Kg. TH 10220 รามอินทรา
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

6. ผู้รับ: คณะวิศวฯ ม.หอการ RL 3394 8950 9 TH
ค้าไทย
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

7. ผู้รับ: ธีชี เน็ต RL 3394 8951 2 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10290 พระสมุทรเจดีย์
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

ค้าไทย
น้ำหนัก 0.966 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

7. ผู้รับ: ธีชี เน็ต RL 3394 8951 2 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10290 พระสมุทรเจดีย์
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

8. ผู้รับ: ไทม์ คอนซัลติ้ง RL 3394 8952 6 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10330 รองเมือง
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

9. ผู้รับ: จิตภัทร RL 3394 8953 0 TH
น้ำหนัก 0.954 Kg. TH 10210 หลักสี่
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

10. ผู้รับ: puripong RL 3394 8954 3 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10110 พระโขนง
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

11. ผู้รับ: มานพ RL 3394 8955 7 TH
น้ำหนัก 0.950 Kg. TH 10310 ลาดพร้าว
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

12. ผู้รับ: ไทยคม RL 3394 8956 5 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 10900 จตุจักร
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

13. ผู้รับ: คณะวิศวฯ

N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

13. ผู้รับ: คณะวิศวฯ สจล. RL 3394 8957 4 TH
น้ำหนัก 0.956 Kg. TH 10520 ลาดกระบัง
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

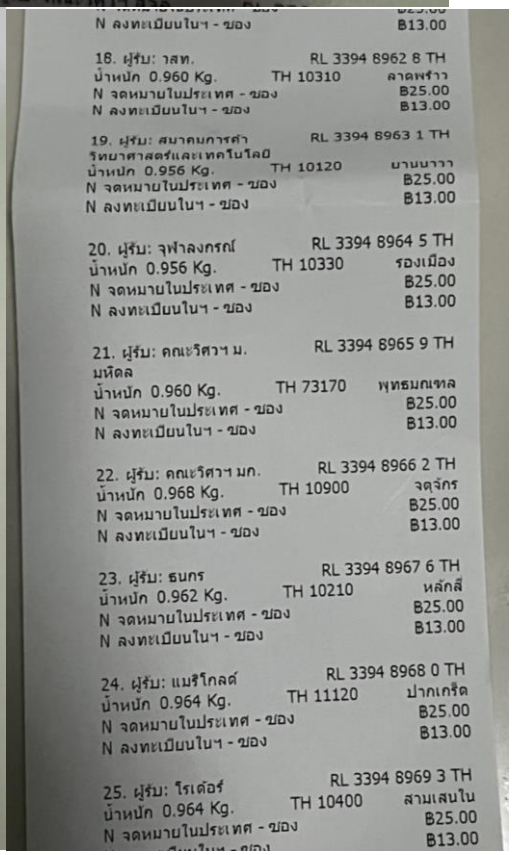
14. ผู้รับ: คณะวิศวฯ มศว. RL 3394 8958 8 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 26120 องครักษ์
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

15. ผู้รับ: คณะวิศวฯ ม.ราม RL 3394 8959 1 TH
คำแหง
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10240 คลองจั่น
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

16. ผู้รับ: คณะวิศวฯ ม. RL 3394 8960 5 TH
เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
น้ำหนัก 0.954 Kg. TH 10800 บางซื่อ
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

17. ผู้รับ: คณะวิศวกรรม RL 3394 8961 4 TH
ศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม
น้ำหนัก 0.954 Kg. TH 73000 นครปฐม
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

18. ผู้รับ: วสท.



N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

18. ผู้รับ: วสท. RL 3394 8962 8 TH
น้ำหนัก 0.960 Kg. TH 10310 ลาดพร้าว
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

19. ผู้รับ: สมาคมการค้า RL 3394 8963 1 TH
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
น้ำหนัก 0.956 Kg. TH 10120 ยานนาวา
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

20. ผู้รับ: จุฬาลงกรณ์ RL 3394 8964 5 TH
น้ำหนัก 0.956 Kg. TH 10330 รองเมือง
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

21. ผู้รับ: คณะวิศวฯ ม. RL 3394 8965 9 TH
มหิดล
น้ำหนัก 0.960 Kg. TH 73170 พุทธมณฑล
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

22. ผู้รับ: คณะวิศวฯ มก. RL 3394 8966 2 TH
น้ำหนัก 0.968 Kg. TH 10900 จตุจักร
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

23. ผู้รับ: ธนกร RL 3394 8967 6 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10210 หลักสี่
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

24. ผู้รับ: แมริโกลด์ RL 3394 8968 0 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 11120 ปากเกร็ด
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

25. ผู้รับ: โรเด้อร์ RL 3394 8969 3 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N จดหมายในประเทศ - ของ ฿25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ ฿13.00

25. ผู้รับ: ไรเด้อร์ RL 3394 8969 3 TH
น้ำหนัก 0.964 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

26. ผู้รับ: ทรู มูฟ เอบ RL 3394 8970 2 TH
น้ำหนัก 0.956 Kg. TH 10900 จตุจักร
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

27. ผู้รับ: สมาคมไทร RL 3394 8971 6 TH
คมนาคม
น้ำหนัก 0.956 Kg. TH 10400 สามเสนใน
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

28. ผู้รับ: คณะวิศวฯ ม.ศรี RL 3394 8972 0 TH
ปทุม
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10900 จตุจักร
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

29. ผู้รับ: เดเบิลคอนเนค RL 3394 8973 3 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 11120 ปากเกร็ด
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

30. ผู้รับ: ฟอสส์ เทเลคอม RL 3394 8974 7 TH
น้ำหนัก 0.956 Kg. TH 10220 รามอินทรา
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

31. ผู้รับ: คณะวิศวฯ ม.บูรพา RL 3394 8975 5 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 20131 มหาวิทยาลัย
บูรพา
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

32. ผู้รับ: วิทยาลัยวิศวกรรม RL 3394 8976 4 TH
ศาสตร์ ม.รังสิต
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 12000 ปทุมธานี
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

33. ผู้รับ: ไอเน็กซ์ RL 3394 8977 8 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10310 ลาดพร้าว
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

33. ผู้รับ: ไอเน็กซ์ RL 3394 8977 8 TH
น้ำหนัก 0.962 Kg. TH 10310 ลาดพร้าว
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

34. ผู้รับ: foss telecom RL 3394 8978 1 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 10220 รามอินทรา
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

35. ผู้รับ: ทีเค เน็ทเวิร์ก RL 3394 8979 5 TH
น้ำหนัก 0.958 Kg. TH 11000 นนทบุรี
N จดหมายในประเทศ - ของ B25.00
N ลงทะเบียนในฯ - ของ B13.00

รวมทั้งสิ้น B1,330.00
เงินสด B1,330.00

รายชื่อที่จัดส่ง White Paper จำนวน 111 ราย

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
1	ขรรค์ชัย พลนิกร	บริษัท อินโฟแซท จำกัด 32/58 ซอย ติวานนท์-ปากเกร็ด 38 หมู่ 5 ถนน ติวานนท์ ปากเกร็ด ตำบลบ้านใหม่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
2	พรเทพ ฟูดุลยวัจนานนท์	เลขที่ 153 ถ.ลาดพร้าววังหิน (ระหว่างซอย 27-29) แขวง/เขต ลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230
3	นายพุเศรษฐ์ จงสกุล	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ 89/2 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
4	ดร.พีระ พัชรินทร์ตนะกุล	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) อาคาร 9 ชั้น 12 89/2 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพ 10210
5	อำนาจ ริยะสุ	บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) 89/2 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
6	ธัญญา โคศุภ	131/139 ซ.นวลจันทร์ 64 ถ.นวลจันทร์ แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10230
7	วสวัตติ์ สมแสวง	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน) 63/21 ถ.รัตนาธิเบศร์ ต.บางกระสอ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000
8	นายสินชัย อนันตปรีชา	21 ซอยเรวดี33 ถนนติวานนท์ ต.ตลาดขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000
9	ชลิต จิระธรรมนุกูล	23/1,23/2 ลาดพร้าว 80 แยก 22 แขวง วังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพ ฯ 10310
10	นายมานิตย์ จันทร์กระมล	บริษัท แซท เทรดดิ้ง จำกัด ชั้น 17 เลขที่ 50 อาคาร จีเอ็มเอ็ม แกรมมี่ เพลส ถนน สุขุมวิท 21 (อโศก) แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
11	นายมานพ จงจิตต์เวชกุล	บริษัท เอ็ม เจ แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด 23/1,23/2 ลาดพร้าว 80 แยก 22 แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพ ฯ 10310
12	นายธนกร สุขใส	สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส เลขที่ 145 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
13	อาทิตย์ จำปาศรี	คอนโด RESORTA ห้อง 270 ซอยพระรามสามที่ 77 แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพฯ
14	นาย ประมวล ประสาร	เลขที่ 50 ชั้น 17(MCR) อาคาร จีเอ็มเอ็ม แกรมมี่ เพลส ถนน สุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพ 10110
15	มานพ จงจิตต์เวชกุล	23/1, 23/2 ซ.ลาดพร้าว80 แยก22 แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กทม. 10310
16	ดำรง หวังผล	เลขที่2 ซอยรามคำแหง159 ถนนรามคำแหง แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง กทม.10240
17	สมิช บัตรเจริญ	575/96 ถ.เสนานิคม 1 แขวงจรเข้บัว เขตลาดพร้าว กทม. 10230
18	พรชัย สินธุเจริญ	บริษัท PSI Corporation จำกัด เลขที่ 588 ซอยศรีนครินทร์ 16 แขวงพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพ 10250
19	นายฉัตรชัย เพ็ชร์น้อย	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ส่วนพัฒนาดิจิทัลเทคโนโลยีที่ 2 - พยธ.2 สนง.แจ้งวัฒนะ อาคาร 3 ชั้น 5 โซน A 89/2 ถ.แจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ จ. กรุงเทพมหานคร 10210
20	นาย พิรพร ลิมปพยอม	147/66 ซอย 25/3 หมู่บ้านปัญญา ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กทม 10250
21	อาทินันทน์ ทุมสท้าน	55/89 ถนนกำแพงเพชร6 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม 10900
22	Puripong Thepchatri	752 ถนนสุขุมวิท คลองตันเหนือ วัฒนา กรุงเทพ 10110
23	พชรธรรม์ พลอัครวัตน์	78/1 ซ พึ่งมี 29 แยก 4, ถ อ่อนนุช, บางจาก, พระโขนง, กทม , 10260
24	มนตรี สุขรอบ	99/96-97 ม.2 ต.พันท้ายนรสิงห์ อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
25	จิตภัทร บุนนาค	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ สำนักงานใหญ่ ชั้น 6 มุม B ฝ่ายวางแผนกลยุทธ์และพัฒนาองค์กร 99 ถ.แจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กทม. 10210
26	บริษัท ทรู มูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมิวนิเคชั่น จำกัด	เลขที่ 5/123 หมู่บ้านกลางเมืองมอนติ-คาร์โล ถนนเทศบาลสงเคราะห์ ลาดยาว จตุจักร กทม 10900
27	บริษัท ไทม์ คอนซัลติ้ง จำกัด	เลขที่ 944 อาคารมิตรทาวน์ ออฟฟิศ ทาวเวอร์ โครงการสามย่านมิตรทาวน์ ห้อง 1101-1102 ชั้น 11 ถนนพระราม 4 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
28	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	54 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
29	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	131 Moo 5, Tiwanont Road, Bangkadi Muang Pathum Thani 12000, Thailand
30	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
31	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน)	เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพ ฯ 10900
32	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	25/25 Phuttamonthon 4 Road, Salaya, Phuttamonthon, Nakhon Pathom 73170 Thailand
33	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	63 หมู่ 7 ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120
34	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
35	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้	ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
36	สมาคมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์ไทย	99/30 หมู่ 4 อาคารซอฟต์แวร์พาร์ค ชั้น 5 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลคลองเกลือ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
37	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง	282 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
38	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ถนนมิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
39	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
40	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800
41	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร	99 หมู่ 9 ถนนพิษณุโลก-นครสวรรค์ ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
42	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	15 ถนน กาญจนวณิชย์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
43	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
44	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ	Assumption University of Thailand, VME0202, 88 Moo 8 Bang Na-Trad Km. 26, Bang Sao Thong, Samut Prakan 10570, Thailand
45	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	เลขที่ 126/1 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงรัชดาภิเษก เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400
46	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต	52/347 พหลโยธิน 87 ถ.พหลโยธิน อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
47	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม	2410/2 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ10900
48	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา	169 ถ.ลงหาดบางแสน ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131
49	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา	19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000
50	บริษัท อีเลคโทรลักซ์ ประเทศไทย จำกัด (สำนักงานใหญ่) /	1910 อาคารอีเลคโทรลักซ์ ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 10310
51	บริษัท เล็กซ์ซัส กรุงเทพ จำกัด	58 ถ.ริมคลองแสนแสบ บางกะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพ 10320
52	บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)	Column Tower, 3rd, 10th-12th Floor, 199 Ratchadapisek, Klongtoey, Bangkok 10110 Thailand

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
53	บริษัท โซล่าร์ เทอร์ไบน์ (ประเทศไทย) จำกัด (สำนักงานใหญ่)	เลขที่ 5 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240
54	สมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์	3101-3104 ชั้น 31 อาคาร เอไอเอ แคปปิตอล เซ็นเตอร์ เลขที่ 89 ถนนรัชดาภิเษก แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพ 10400
55	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)	487 ซอยรามคำแหง 39 (เทพลีลา 1) ถนนรามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
56	บริษัท ฟอสส์ เทเลคอม จำกัด	15 ซอยรามอินทรา 23 แยก 10 แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220
57	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	349 ชั้น 28 อาคารเอสเจ อินฟินิทวัน บิสสิเนส คอมเพล็กซ์ ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
58	สมาคมการค้าวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	188/1 อาคารไบโอแอคทีฟ ซอยศรีรุ้ง ถนนเชื้อเพลิง แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กทม
59	สมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์	ห้อง 3101-3104 ชั้น 31 อาคาร เอไอเอ แคปปิตอล เซ็นเตอร์ เลขที่ 89 ถนนรัชดาภิเษก แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพ 10400
60	บริษัท ไอเน็กซ์ บรอดแบนด์ จำกัด (ติดต่อผ่านบ. Inet)	สำนักงานใหญ่ 1768 อาคารไทยซัมมิท ทาวเวอร์ ชั้น 14 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 10310
61	บริษัท ฟอสส์ เทเลคอม จำกัด	15 ซอยรามอินทรา 23 แยก 10 แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220
62	บริษัท ทีเค เน็ทเวิร์ก จำกัด (บริษัท ทีเค เทเลคอมแอนด์เน็ตเวิร์ค ซัพพลาย จำกัด)	99/224 ตำบล ไทรม้า อำเภอเมืองนนทบุรี นนทบุรี 11000
63	บริษัท อีซี่ เน็ต (ไทยแลนด์) จำกัด	299 M.1 Suksawad Rd., Lampfapha,, Prasamutjdee, สมุทรปราการ 10290
64	บริษัท เคเบิลคอนเนค จำกัด	19/103 Sukhumvit Suit 12rd Floor. Sukhumvit Soi 13 , Bangkok 10110
65	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	349 ชั้น 28 อาคารเอสเจ อินฟินิทวัน บิสสิเนส คอมเพล็กซ์ ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
66	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
67	สมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์	ห้อง 3101-3104 ชั้น 31 อาคาร เอไอเอ แคปปิตอล เซ็นเตอร์ เลขที่ 89 ถนนรัชดาภิเษก แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพ 10400
68	สมาคมการค้าวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Science and Technology Trade Association)	188/1 อาคารไบโอแอคทีฟ ซอยศรีรุ้ง ถนนเชื้อเพลิง แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กทม 10120
69	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.)	618 ถนนนิคมมักกะสัน แขวงมักกะสัน เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
70	บริษัท เคเบิลคอนเนค จำกัด	19/103 Sukhumvit Suit 12rd Floor. Sukhumvit Soi 13 , Bangkok 10110
71	บริษัท อีซี่ เน็ต (ไทยแลนด์) จำกัด	14/116 หมู่ 7 ถนน เลี่ยงเมืองปากเกร็ด ปากซอย 40 ต.บางตลาด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120
72	บริษัท ฟอสส์ เทเลคอม จำกัด	15 Soi Ramintra 23 Yaek 10 Anusavaree Bangkhen Bangkok 10220
73	บริษัท เมอร์คิวรี่ เทเลคอมส์ จำกัด	9, Siam City center 2, Tambon Hadyai, Amphoe Hadyai Songkhla 90110 THAILAND
74	บริษัท ฟิต เทเลคอม จำกัด	99/349 อาคาร ณ นคร ชั้น 8 หมู่ที่ 2 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
75	บริษัท บีที คอนเนค จำกัด	2220/72 ซอยรามคำแหง 36/1 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
76	บริษัท ไซแมท เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)	เลขที่ 123 ซอยฉลองกรุง 31 นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม.10520
77	บริษัท ที.ซี.ซี. เทคโนโลยี จำกัด	1 Empire Tower 30th Floor, South Sathorn Rd., Yannawa, Sathorn, Bangkok 10120 Thailand
78	บริษัท แอมเน็กซ์ จำกัด (สำนักงานใหญ่)	อาคารศศิ เลขที่ 290 ซอยรุ่งเรือง แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310
79	บริษัท ยูไนเต็ด อินฟอร์เมชั่น ไฮเวย์ จำกัด	499 อาคารเบญจจินดา ถนนกำแพงเพชร 6 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
80	บริษัท ทริปเปิลที บรอดแบนด์ จำกัด (มหาชน)	200 หมู่ 4 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
81	บริษัท จัสเทล เน็ทเวิร์ค จำกัด	200 หมู่ 4 อาคารจัสมินอินเตอร์เนชั่นแนล ชั้น 7 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.ปากเกร็ด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 ประเทศไทย

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
82	บริษัท โอทาโร เวิลด์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด	22/4 หมู่ที่ 2 ตำบลสำโรงใต้ อำเภอพระประแดง จ.สมุทรปราการ
83	บริษัท เรดวัน เน็ตเวิร์ค (ประเทศไทย) จำกัด	เลขที่ 1 อาคารทีพีแอนด์ที ชั้น 17 ซอยวิภาวดีรังสิต 19 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
84	บริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด	เลขที่ 9 อาคารจี ทาวเวอร์แกรนด์ พระราม9 ชั้น 34-39 ถนนพระราม 9 แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 10310
85	บริษัท อินเทอร์เน็ตประเทศไทย จำกัด (มหาชน)	1768 อาคารไทยซัมมิท ทาวเวอร์ ชั้น 10-12 และชั้น IT ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 10310
86	บริษัท แซดทีอี (ไทยแลนด์) จำกัด	195 ถนนสาทรใต้ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120
87	บริษัท เบญจจินดา กรุ๊ป	499 Benchachinda Bldg., Kamphaeng Phet 6 Road., Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
88	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800
89	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	96 หมู่ 3 ถนน พุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
90	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
91	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์	19/1 ถ.เพชรเกษม หนองค้างพลู หนองแขม กรุงเทพ 10160
92	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	อาคารวิชาการ 4 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ตำบลไทยบุรี อำเภอ ท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160
93	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	Asian Institute of Technology P.O. Box 4 Klong Luang Pathumthani 12120, THAILAND
94	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น	1771/1 ซ.พัฒนาการ 37 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
95	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	9/1 หมู่ 5 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง ปทุมธานี 12120

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
96	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
97	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	744 ถ.สุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
98	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	126 ถนนประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
99	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร	เลขที่ 6 ถ.ราชมรรคถาใน ต.พระปฐมเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
100	สำนักวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	333 หมู่ 1 ต.ท่าสุด อ.เมือง จ. เชียงราย 57100
101	บริษัท มิว สเปซ แอนด์ แอดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด	1177 อาคารเพิร์ล แบงก์ค็อก ชั้น 12 A ห้องเลขที่ 12A04-05 ถนนพหลโยธิน แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร
102	บริษัท อีริคสัน (ประเทศไทย) จำกัด	123 ชั้น 20 ซันทาวเวอร์ส อาคาร บี ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
103	บริษัท เทิร์นคีย์ คอมมูนิเคชั่น เซอร์วิส จำกัด (มหาชน)	44/44 ซอยวิภาวดีรังสิต 60 แยก 18-1-2 แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
104	บริษัท ล็อกซเล่ย์ จำกัด (มหาชน)	102 ถนน ณ ระนอง เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110
105	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	เลขที่ 120 อาคารรวมหน่วยราชการ (อาคารรัฐประศาสนภักดี) ชั้น 6 และ ชั้น 7 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
106	ALT TELECOM PUBLIC COMPANY LIMITED	52/1 ม.5 ถ.บางกรวย-ไทรน้อย ต.บางสีทอง อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130 ประเทศไทย
107	บริษัท คิงส์ เทเลคอม จำกัด (มหาชน)	20 ซอยบางนา-ตราด 25 แขวงบางนาเหนือ เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260
108	กรมท่าอากาศยาน	71 ซอยงามดูพลี ถนนพระรามที่ 4 แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ที่อยู่จัดส่งเอกสาร
109	บริษัท เอ็มวัน(ไทยแลนด์) จำกัด	120/114 หมู่ที่ 4 ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี จ.สมุทรปราการ
110	บริษัท เอ็นบีสเปซ จำกัด	333/1079 ถนนกรุงเทพฯ-นนทบุรี ตำบลบางเขน อำเภอเมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี
111	บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด	588 ซอย ศรีนครินทร์ 16 แขวง พัฒนาการ แขวงสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

11.3 การประชุมสัมมนาออนไลน์เผยแพร่ผลการศึกษาโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์

การประชุมสัมมนาออนไลน์เผยแพร่ผลการศึกษาโครงการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนะนโยบายสาธารณะด้านการบริหารคลื่นความถี่สำหรับกรณีการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล เทคโนโลยี 5G และกิจการอื่นในย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์

ดำเนินการจัดในวันที่ 24 พฤศจิกายน 2564 เวลา 13.00-16.00 น. ผ่านช่องทาง (Meeting ID: 962 9745 8710 Password: 797610)

https://chula.zoom.us/j/96297458710?pwd=SXNBN1dlaGtVMzlpdVRsNEUaUpGOT09

ดาวโหลดเอกสารการเผยแพร่ผลการศึกษาได้ที่

https://drive.google.com/file/d/1aS85YdS3xejG7Jncjt-lxmBnMRMNP2_F/view?usp=sharing

โดยมีผู้เข้าร่วมจำนวน 102 คน

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
1	ทยาทิพย์ ทองตัน	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	thayathip@nimt.or.th	0869010436
2	สุรัตน์ สุทธิเรือง	ZTE Thailand	surat.su@zte.com	0851500275
3	ศรุต ศีลแจ่มใส	กสทช.		
4	ยุทธนา แจ่มจำรัส	กสทช.	yuttananewj@gmail.com	0991852372
5	นายอำนาจ ริยะสุ	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด(มหาชน)	amnard@nt.ntplc.co.th	0819847324
6	นายมานิตย์ จันทร์กระมล	บริษัท แซทเทรดดิ้ง จำกัด	manit476777@gmail.com	0868100031
7	Anusorn Laongkaew	TCB	em35410tc@gmail.com	
8	ขรรค์ชัย พลนิกร	INFOSAT	Yailiver@gmail.com	0957982803
9	ไชยวัฒน์ เกษสุวรรณ	บริษัท Antech Communication Co.,Ltd	chaiwatk.atc@gmail.com	0863266625
10	กฤษฎา จิรกาวสาน	บริษัท แอนเทค คอมมูนิเคชั่น จำกัด	krisadaj4122@gmail.com	0898142953

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
11	วิสุทธิ์ หมอไทย	บริษัทแอนเทคคอมมูนิเคชั่นจำกัด	wisutmorthai@gmail.com	0818745793
12	ศุภารดี ภิญโญโสภณ	Bangkok Innovation Zystem Co.,Ltd	suparadee.p@bangkokinnovation.com	081-456-2422
13	ธนา จงสดใสทวี	TRUE	Tana_cho@truecorp.co.th	089-139-6020
14	ศมาธร เทียนกิ่งแก้ว	mu Space and Advanced Technology Company Limited	samathorn.t@muspacecorp.com	0645244777
15	Damrog	PSI	damrong@psisat.com	0819062083
16	ฐปนีย์ วัชรขัยสมร	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	thapanee.v@nc.ntplc.co.th	021043548
17	เอกศิษฏ์ อินทรวิศิษฏ์	Viasat	ek_lekiri@outlook.co.th	0816187808
18	นายมัทฐิชัย พับบรรจง	NBTC	mattichai.p@nbtc.go.th	0818336122
19	Wannapha Weeracharoen	Planetcomm	Wannapha@planetcomm.com	027922400
20	อรศรี ศรีระษา	สำนักงาน กสทช.	orasri.srirasa@gmail.com	863888595
21	นิรชร เยาวขันธ์	AEC Advisory	nirachorny@gmail.com	0868846274
22	นางสาว ธนภร ทวิชศรี	สำนักงาน กสทช. (ดบ.)	thanapon.t@nbtc.go.th	0837022547
23	ญาตินันท์ ทองเนียม	สำนักงาน กสทช.	yatinan.t@nbtc.go.th	0982178909
24	สัจจพันธ์ พัวไพบูลย์	True Visions	Sajjapan_Pua@truecorp.co.th	0891396026
25	วรวิทย์ ขุนพิทักษ์	GMMZ	woravit.khu@gmmz.tv	
26	นายพิรพร ลิมปพยอม	AWN	Piraporl@ais.co.th	0811392299
27	Parinya Wechnusit	BOD	parinya_wec@truecorp.co.th	0841302390
28	องอาจ กาญจนวุฒิธรรม	ทรูวิชั่นส์	Ongart_kan@truecorp.co.th	0859806696
29	พิมพ์พลอย ภวภูตานนท์	องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย	pimployp@thaipbs.or.th	02-790-2318

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
30	ธัญษรัศม์ ธัญธรรมพันธ์	องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย	thansaratt@thaipbs.or.th	02-790-2724
31	ชัชชนัญ มัธยมจันทร์	True Visions	chatchanan_mat@truecorp.co.th	0838271231
32	Tanya Kosup	Ericsson	tanya.kosup@ericsson.com	0815557315
33	พรเทพ ฟูดุลยวัจนานนท์	ชมรมเทคโนโลยีอากาศสูง	tv59.net@hotmail.com	0910919196
34	นายเอกชัย คงสนุ่น	บริษัท ไทยแซท โกลบอล จำกัด	ekgachai.k@wifi-first.co.th	083-5345632
35	ยมุนา อารมณ์	สดช.	yamuna.a@onde.go.th	021421168
36	อารีรัตน์ ศรีลังกูล	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	areerat.s@nc.ntplc.co.th	0830419062
37	นายกัมปนาท วิบูลย์ผล	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	kampanaw@nt.ntplc.co.th	0817212109
38	พุฒิพงศ์ มีครุฑ		s6003051617198@email.kmutnb.ac.th	0869520215
39	ธิดารัตน์ แซ่ตั้ง			
40	ณัฐพงษ์ เนตรแสงสี	-	62125008@kmitl.ac.th	0969265010
41	Yodchai chaisupa	นักศึกษา	62125024@kmitl.ac.th	0812050252
42	ธนพล วัชรีนันท์	True visions	tanaphon0549@gmail.com	0869793182
43	ณัฐพัฒน์ โยกันยา	มจพ	Natthaphat20166@gmail.com	0828496461
44	นาย ภานุวัฒน์ ฮ่วมกี่	นักศึกษา	62125023@kmitl.ac.th	0835448113
45	ยุทธปกรณ์ คุณวัฒนา	มจพ	Yutthapakorn_@hotmail.com	0896491138
46	ศุภณัฐ ทุมานุสรณ์	kmutnb	s6103051612098@email.kmutnb.ac.th	0989299899
47	ชานนท์ ชนประชา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	nonchampasri@gmail.com	0633036858
48	ธนรักษ์ สุชัยชิต	ประชาชนทั่วไป	thekop687@gmail.com	0859806634
49	รวิสรา นิตยารส	KMUTNB	s6203051622106@email.kmutnb.ac.th	0935576738

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
50	นาย ชินวัตร ชูสิน	-	s6203051622149@email.kmutnb.ac.th	0980483128
51	ชนธัญ มานะปรีชา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	s6203051617064@email.ac.th	0831234871
52	Atip K.	dtac	atip@dtac.co.th	
53	อำนวย เหลืองหิรัญวุฒิ	Truevisions	amnuay_lua@truecorp.co.th	0891396016
54	ธนากร พรหมพล	-	nps2003p@gmail.com	0814423791
55	ฉลาด เลิศกิตติสุข	บมจ ไทยคม	chalardl@gmail.com	0819364688
56	สโรช ทรัพย์บุญมี	TRUE	sarodh_sup@truecorp.co.th	0891833883
57	ขวัญใจ เลิศภูมิปัญญา	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	khwanjaij@thaicom.net	0865409248
58	อาทิตย์ สืบสิงห์	TRUE	arthit.sue@gmail.com	0891396116
59	ประณัฐพงศ์ กับกระโทก	สำนักงานปลัดกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม	pranatthapong.k@mdes.go.th	021417017
60	เพชรจรินทร์ สมุทรพิพัฒน์	นักศึกษา	s6003051617333@email.kmutnb.ac.th	0836068581
61	มานพ จงจิตต์เวชกุล	บริษัท เอ็มเจ แซทเทลไลท์ เซ็นเตอร์ จำกัด (iDeaSaT)	ideasatofficial8@gmail.com	081-343-0259
62	Puripong Thepchatri	Nokia	puripong.thepchatri@nokia.com	0818055019
63	Wasan Taweesin	Nokia	wasan.1.taweesin@nokia.com	0818031880
64	สมโภช วงษ์คำ	NT	sompoch.w@nc.ntplc.co.th	0813500703
65	นายมานิต ถนอมศิลป์	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	manith@nt.ntplc.co.th	0814889349
66	นายพิศิษฐ์เดช สายแสง	สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	pisitdash.s@onde.go.th	0851191554
67	วรุตม์ เบนอารีย์	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	warutb@nt.ntplc.co.th	0897716622

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
68	จุลพงศ์ แสงสุพรรณ	NT	junlapon@nt.ntplc.co.th	
69	นายปิยบุตร พรหมรุ่งเรือง	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	piyabutp@thaicom.net	025965060
70	เสาวลักษณ์ สุขต่าย	สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	saowaluck.s@onde.go.th	021416823
71	สุภาพ โพภิรมย์	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	supappho@nt.ntplc.co.th	0893002111
72	นายพุฒิเศรษฐ์ จงสกุล	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	phuthis@nt.ntplc.co.th	025754712
73	ทรงศักดิ์ สว่างโคกกรวด	Truevisions	songsak_saw@truecorp.co.th	0639831144
74	คนองฤทธิ์ บัวงาม	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	kanongrit.b@nc.ntplc.co.th	0864401564
75	ฤชุพงศ์ การรื่นศรี	บมจ. โทรคมนาคมแห่งชาติ	ruchupong.kan@gmail.com	0990700808
76	Suriya Sangwienwong	TVS	suriya_san2@truecorp.co.th	0955658526
77	ศักดา ธกูลสวัสดิ์	ทรูวิชั่นส์	sakda_tha@truecorp.co.th	0891396023
78	Samatcha treekrutpan	TRUE	Samatcha_tre@truecorp.co.th	0919151645
79	วราลักษณ์ เลาห์สัฒนะ	บมจ.โทรคมนาคมแห่งชาติ	waralukl@nt.ntplc.com	0892042448
80	Haris Sangkhapat	O&M-CATV (TVS)	hrsangkhapat@gmail.com	0641946255
81	ประมวล	GMMZ	pramuan.pra@gmmz.tv	0859899963
82	peera k	NT	peeraph@ntplc.co.th	
83	ศุภกร จุดประสงค์	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด มหาชน	Supakorn.ju@nt.ntplc.co.th	0944837199
84	นายศุภราช มุสิกไชย	พระจอมเกล้าพระนครเหนือ	s5703051617240@kmutnb.ac.th	06319598999
85	อดิศร รำนา	TC boardcasting	adisornr@thaicom.net	0818289036

ลำดับ	ชื่อและนามสกุล	หน่วยงาน	อีเมล	เบอร์โทรศัพท์
86	รัชณีวรรณ ชาวนา	สำนักงาน กสทช.	rachaneewan.c@nbtc.go.th	0819244583
87	นายนิษณะ พัฒนพนิชธำรงค์	บมจ. ไทยคม	nitsanap@thaicom.net	0897912929
88	ผศ. ดร.ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	panuwat.ja@chula.ac.th	0830895119
89	pongsak ngammitsomboon	Thaicom PCL.	pongsakn@thaicom.net	0819315084
90	ภูเบต แสงมะฮะหมัด	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	pubet.engineer@gmail.com	0614459795
91	ปิยภูมิ แสงชัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	6470224321@student.chula.ac.th	0809980082
92	ยศชนินทร์ ตั้งสุรกิจ	NT	yoschanin.t@nc.ntplc.co.th	0812320077
93	Sornchai Voravichan	TRUE	sornchai_vor@truecorp.co.th	
94	ดนัยวิทย์ ชาญสมร	สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	danaiwit.c@onde.go.th	0860848833
95	นายศุภวิชญ์ เสถียรวัฒน์	นิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	6130536821@student.chula.ac.th	0883587582
96	ธนเมศร์ ปัญญาชัยอนันท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	tpanyachaianan@gmail.com	0805151010
97	ชุติพนธ์ ไชยโส	นักศึกษา	S6103051617014@email.kmutnb.ac.th	0910097620
98	นายธนโชติ จำนงค์สังข์	สำนักงาน กสทช.	tanachot.j@nbtc.go.th	0864269596
99	วีรเศรษฐ์ พนาสุวรรณกุล	บุคคลทั่วไป	hong.veeraset@gmail.com	0814120558
100	รักษณาลี ทองทา	KMUTNB	s6203051617030@email.kmutnb.ac.th	0955683869
101	Teerawat Indravattana	Chulalongkorn University	teerawat.in00@gmail.com	0891666465
102	ดาราวดี ประทับศร			0957576496