



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวัดช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง  
ในประเทศไทย

DVB-T2 Channel Measurement in Thailand

นางสาวปลายฟ้า จินดานาด

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวัดช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง  
ในประเทศไทย

DVB-T2 Channel Measurement in Thailand

รฟท.

ร/485 ก

2059

นางสาวปลายฟ้า จินดานาถ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **148486**  
วันเดือนปี **30 มี.ค. 2560**

b. 12870821  
f.....

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2559  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การวัดช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สองในประเทศไทย

ชื่อ-สกุล นักศึกษา ปลายฟ้า จินดานานถ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร. สถาพร พรหมวงศ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน บัณฑิต รักวีรธรรม

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

### บทคัดย่อ

เนื่องจากระบบการออกอากาศโทรทัศน์ของประเทศไทยในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนผ่านจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล จะต้องมีการตรวจวัด และวิเคราะห์ช่องสัญญาณอยู่ตลอด โดยในการวัดช่องสัญญาณจะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เป็นปัจจัยสำคัญ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณนั้น เพราะประสิทธิภาพของช่องสัญญาณมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการออกอากาศ โดยโครงการนี้จะเป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญ อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวัดและวิธีการวัดช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ตามมาตรฐาน DVB-T2 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการตรวจวัด และวิเคราะห์ซึ่งเป็นพื้นฐานในการศึกษาการวัดสัญญาณต่อไป

คำสำคัญ : DVB-T2, การวัดช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Co-operative Title:** DVB-T2 Channel Measurement in Thailand

**Student Intern Name:** Plaifa Jindanat

**Faculty:** Engineering **Department:** Telecommunication

**Advisor Name:** Dr. Sathaporn Promwong

**Mentor Name:** Bundit Ruckveratham

**Company:** Mcot Public Company Limited

## ABSTRACT

Due to the changing of television broadcasting systems in Thailand from analog system to digital system, testing and analyzing of broadcasting channels is necessary. Signal measurement will show the parameter that is an important factor in analyzing the channel efficiency because it is important in broadcasting. Therefore the purpose of this project is to study important parameter in analyzing the channel, and to study the equipment and the method used, according to DVB-T2 system which will be beneficial to measuring and analyzing and will also be the foundation for furthering the study of signal measurement.

**Keywords :** DVB-T2, Channel Measurement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการและรายงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) ที่ได้มอบโอกาสให้เข้าไปทำสหกิจศึกษา มอบประสบการณ์และความรู้ต่าง ๆ ในการทำงาน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่งมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะที่ปฏิบัติงานที่ดูแลให้คำปรึกษา และคอยให้คำแนะนำในการทำงาน โครงการสหกิจศึกษา และให้ความอนุเคราะห์จัดทำโครงการอาทิ คุณธานีรินทร์ ถาวรศาสนวงศ์ ผู้จัดการฝ่ายแผนงานวิศวกรรม คุณสุธี สุวรรณประภา ผู้จัดการส่วนควบคุมสัญญาโทรทัศน์ เป็นผู้ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านการจัดการอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการดำเนินงาน คุณบัณฑิต รักวีระธรรม วิศวกรอาวุโส ผู้เป็นที่เลื่องในในทุก ๆ ด้าน อีกทั้งเป็นผู้นิเทศโครงการนี้ และพี่ ๆ ใน บมจ.อสมท ทุกท่านเป็นอย่างสูงยิ่งมา ณ ที่นี้ด้วย

โครงการนี้ไม่อาจสำเร็จได้หากไม่ได้รับความกรุณาจากอาจารย์ ดร. สถาพร พรหมวงศ์ และ ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และเป็นอาจารย์นิเทศ เพื่อชี้แนะแนวทางในการทำงาน คอยให้การสนับสนุน และช่วยเหลือเมื่อมีปัญหาตลอดการทำโครงการ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คณะทำงานสหกิจศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้จัดทำโครงการสหกิจนี้ขึ้นมา

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัยนี้ ช่วยตอบปัญหา หรือข้อสงสัยบางประการที่ไม่เข้าใจ ให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยส่งเสริมและสนับสนุน คอยให้กำลังใจในการทำงานโครงการสหกิจศึกษา

ปลายฟ้า จินดานาด

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. วิวัฒนาการโทรทัศน์ในประเทศไทย.....	4
2.2. มาตรฐานการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล.....	5
2.3. เทคโนโลยี DVB-T2.....	6
2.4. โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล.....	12
2.5. กรอบการพิจารณามาตรฐานการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	18
2.6. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศ.....	19
2.7. ช่องสัญญาณดิจิทัลทีวีในแต่ละมัลติเพล็กซ์.....	20
2.8. พารามิเตอร์สำหรับการวัดในระบบ DVB-T2.....	20
บทที่ 3 การวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2.....	23
3.1. พารามิเตอร์ในการวัด และวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2.....	23
3.2. การวิเคราะห์ระบบสื่อสาร.....	29
3.3. โมเดลการวัดสัญญาณ DVB-T2.....	29

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบสัญญาณและผลการทดลอง .....	32
4.1. ขั้นตอนการทดสอบ .....	32
4.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	32
4.3. การติดตั้งอุปกรณ์ และการวัดสัญญาณ .....	34
4.4. ผลการวัดสัญญาณ DVB-T2 .....	40
4.5. ผลการเปรียบเทียบ .....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	59
5.1. สรุปผลการวิจัย .....	59
5.2. ข้อเสนอแนะ .....	59
เอกสารอ้างอิง .....	60
ภาคผนวก .....	63
ภาคผนวก ก .....	63
ภาคผนวก ข .....	63
ภาคผนวก ค .....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1. พารามิเตอร์ DVB-T2 ที่ใช้ในการออกอากาศสำหรับประเทศไทย.....	19
2.2. กำหนดช่องความถี่วิทยุ.....	20
3.1. ค่าที่ใช้ในการตั้งค่าวัตต์สัญญาณแต่ละ MUX.....	30
ค.1. ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 1.....	66
ค.2. ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 2.....	67
ค.3. ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 3.....	67
ค.4. ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 4.....	68
ค.5. ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 5.....	68



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วิวัฒนาการโทรทัศน์ในประเทศไทย .....	4
2.2 มาตรฐานการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลในแต่ละประเทศ .....	5
2.3 QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION.....	9
2.4 การส่งโทรทัศน์ DVB-T2 หลายสัญญาณรวมกัน และการใช้โหมดต่างกัน.....	10
2.5 TRANSPORT STREAM.....	11
2.6 BIT ERROR RATES (BER) ของ DVB-T2 .....	12
2.7 การเปลี่ยนแปลงจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล .....	13
2.8 ประโยชน์ด้านอื่นๆของระบบการแพร่สัญญาณแบบดิจิทัล .....	15
2.9 GUARD INTERVAL.....	16
2.10 ROBUSTNESS AGAINST MULTI-PATH.....	17
3.1 ELECTRIC FIELD AND RECEIVED VOLTAGE AND POWER .....	23
3.2 การวัดหาอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน .....	25
3.3 บล็อกไดอะแกรมของอัตราความผิดพลาดบิต .....	26
3.8 ประเภทของช่องสัญญาณ .....	27
3.9 ภาพรวมการส่งและรับสัญญาณ .....	29
3.10 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศส่ง .....	30
3.11 รูปแบบการแพร่กระจายของสัญญาณรับ .....	30
4.1 ROVER HD PROTAB.....	32
4.2 เสาตั้งสูง 6 เมตร.....	32
4.3 สายอากาศ DIPOLE.....	33
4.4 ไม้บรรทัดปรับระยะความยาวสายอากาศตามความถี่.....	33
4.5 สาย RG-214.....	33
4.6 ตำแหน่งจุดวัดสัญญาณ .....	34
4.7 สถานที่วัดสัญญาณ .....	34
4.8 ปรับความยาวสายอากาศ DIPOLE ตามความถี่ของแต่ละ MUX.....	35
4.9 ประกอบสายอากาศ เข้ากับเสาขาตั้ง .....	35
4.10 ติดตั้งเสาวัดสัญญาณสูง 6 เมตร.....	36
4.11 ทิศทางจากเครื่องส่งถึงตำแหน่งของเสารับสัญญาณ.....	36
4.12 เลือกรับ RF IN เป็น 50 โอห์ม.....	37

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 TVMASTER PLAN.....	37
4.14 เลือกเข้าสู่โหมดการวัด.....	38
4.15 การตั้งพารามิเตอร์ช่องสัญญาณ.....	38
4.16 สเปกตรัมมาร์คของช่องสัญญาณ.....	38
4.17 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 1.....	40
4.18 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 1.....	41
4.19 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 1.....	41
4.20 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 1.....	42
4.21 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 1.....	42
4.22 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 2.....	43
4.23 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 2.....	43
4.24 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 2.....	44
4.25 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 2.....	44
4.26 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 2.....	45
4.27 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 3.....	45
4.28 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 3.....	46
4.29 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 3.....	46
4.30 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 3.....	47
4.31 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 3.....	47
4.32 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 4.....	48
4.33 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 4.....	48
4.34 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 4.....	49
4.35 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 4.....	49
4.36 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 4.....	50
4.37 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 5.....	50
4.38 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 5.....	51
4.39 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 5.....	51
4.40 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 5.....	52
4.41 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 5.....	52

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.42 ค่า FIELD STRENGTH จากจุดต่างๆทั้งหมด 100 จุด ในแต่ละ MUX .....	53
4.43 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 1.....	53
4.44 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 2.....	54
4.45 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 3.....	54
4.46 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 4.....	55
4.47 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 5.....	55
4.48 PDF ของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 1 ถึง 5.....	56
4.49 CDF ของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 1 ถึง 5.....	56
4.50 PDF ของ MER ใน MUX ที่ 1 ถึง 5.....	57
4.51 CDF ของ MER ใน MUX ที่ 1 ถึง 5.....	57
ก.1 ข้อมูลของสายอากาศไดโพลที่ใช้รับสัญญาณ.....	63
ข.1 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญ ของมาตรฐานต่างๆ.....	64
ข.2 มติที่ประชุมการพิจารณามาตรฐานการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิทัล .....	65
ค.1 สถานที่วัดสัญญาณ.....	69

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันระบบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินของประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนผ่านจากระบบแอนะล็อกสู่ระบบดิจิทัล โดยประเทศไทยได้เลือกใช้เทคโนโลยีการกระจายเสียงและการแพร่ภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2 : Digital video broadcasting - second generation terrestrial) โดยประเทศไทยมีการให้บริการโครงข่ายของโทรทัศน์ดิจิทัลทั้งหมด 6 โครงข่าย (6 MUX) แต่ในการใช้งานจริงก็ยังไม่ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ ซึ่งจะต้องมีการตรวจวัดสัญญาณ DVB-T2 ตามจุดต่างๆ โดยตลอด เพื่อตรวจสอบว่าในบริเวณนั้นๆ สามารถรับชมโทรทัศน์ภาคพื้นดินได้เป็นอย่างไรบ้าง ซึ่งในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณตามจุดต่างๆนั้น จะต้องตรวจสอบและวิเคราะห์จากค่า Power, SNR, MER, CNR, Spectrum และอื่นๆ ซึ่งทั้งหมดนี้คือค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเครื่องมือวัดสัญญาณ DVB-T2 โดยจะทำการวัดสัญญาณทั้งหมด 5 MUX (MUX 6 กำหนดให้ใช้หลังจาก Analog Switch off) เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณต่อไป

### 1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2)

1.1.2. เพื่อศึกษาหลักการ อุปกรณ์ และวิธีการวัดช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2)

1.1.3. สามารถทำการออกแบบ และวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2) ได้

1.1.4. สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2) ได้

### 1.3. ขอบเขตของการวิจัย

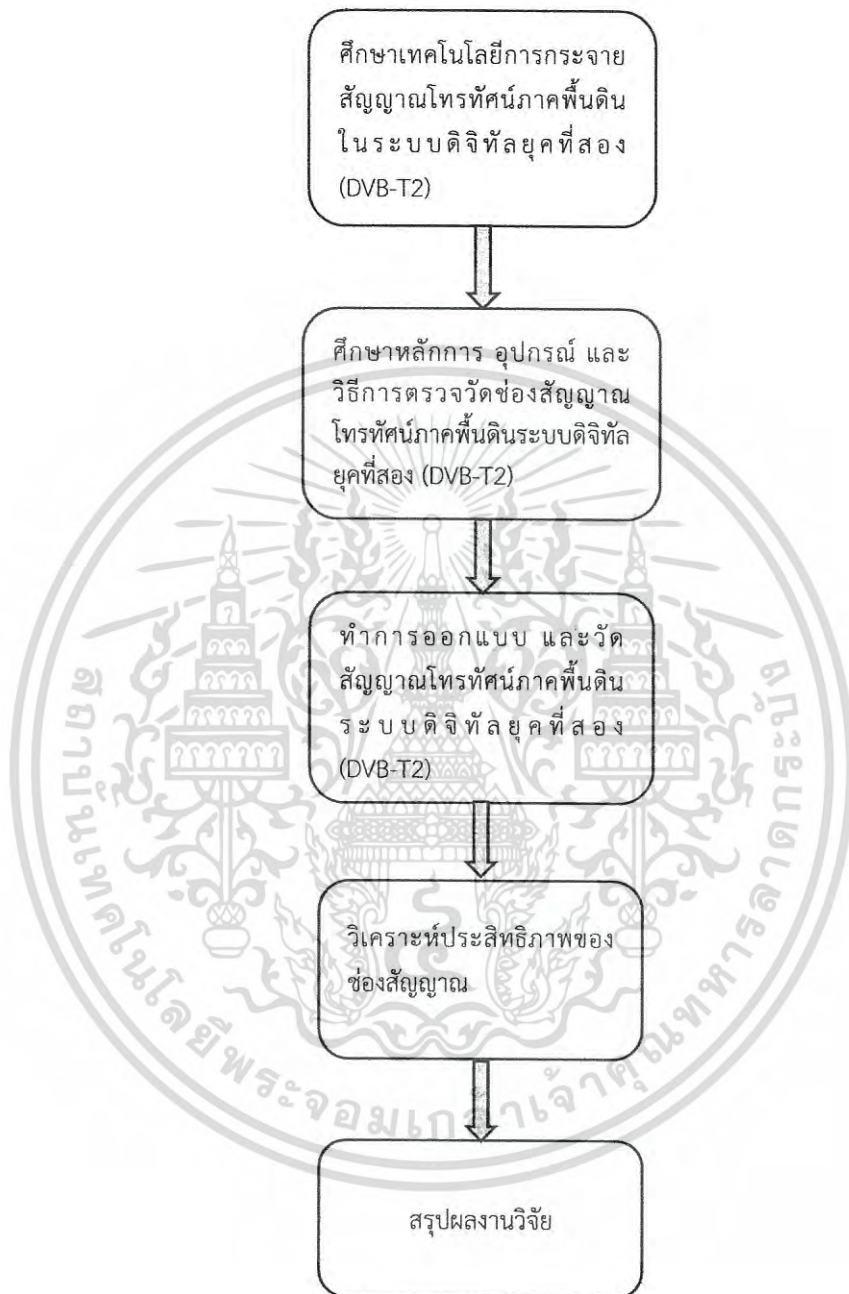
ได้แสดงรูปบล็อกไดอะแกรมของโครงงานดังรูปที่ 1.1 โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.3.1. ศึกษาเทคโนโลยีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2) และศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง อุปกรณ์ และวิธีการตรวจวัดช่องสัญญาณ DVB-T2

1.3.2. ทำการตรวจวัด และวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยเล่มนี้อาจจะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาระบบการออกอากาศของโทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-T2 รวมไปถึงการใช้ศึกษาเป็นพื้นฐานในการตรวจวัดทดสอบ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณการออกอากาศระบบ DVB-T2 โดยอาจใช้ข้อมูลการวัดในงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวทางการวิเคราะห์ต่อการสำหรับการตรวจวัดสัญญาณ DVB-T2 ตามสถานที่ที่แตกต่างกันทั้งในเขตเมือง หรือเขตต่างจังหวัดต่อไป



## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 2.1. วิวัฒนาการโทรทัศน์ในประเทศไทย

โทรทัศน์ในประเทศไทยเริ่มออกอากาศทางภาคพื้นดินตั้งแต่ปี พ.ศ.2498 โดยเริ่มใช้ย่านความถี่สูงมาก (Very High Frequency; VHF) ประกอบด้วยความถี่ต่ำ (Low band) คือช่องสัญญาณที่ 2-4 และช่วงความถี่สูง (High band) คือช่องสัญญาณที่ 5-12 จนกระทั่งปี พ.ศ.2538 จึงเริ่มใช้ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency; UHF) คือช่องสัญญาณที่ 26-60 ซึ่งใช้เป็นระบบสัญญาณแอนะล็อกในการส่งแพร่ภาพขาว-ดำ 525 เส้นต่อภาพ 30 ภาพต่อวินาที (National Television System Committee; NTSC) กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการสื่อสารแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC)

ต่อมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2510 จึงเริ่มนำระบบการส่งแพร่ภาพ 625 เส้นต่อภาพ 25 ภาพต่อวินาที (Phase Alternating Line; PAL) กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการที่ปรึกษานานาชาติว่าด้วยคลื่นวิทยุ (Consultative Committee on International Radio; CCIR ปัจจุบันคือภาควิทยุคมนาคมโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector; ITU-R) เข้ามาใช้ในประเทศไทยและเริ่มออกอากาศด้วยภาพสีภายใต้ระบบดังกล่าวเป็นต้นมา

จากนั้นก็เริ่มมีการนำระบบดิจิทัลเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตรายการ และควบคุมการออกอากาศตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 และนำมาใช้ในกระบวนการส่งแพร่ภาพ ผ่านโครงข่ายอุปกรณ์รวมส่งสัญญาณ (Multiplexer; MUX) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 จนถึงปัจจุบัน (ซึ่งเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 ได้มีมติเลือกระบบ DVB-T2 เป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย) โดยจะยุติการออกอากาศด้วยสัญญาณแอนะล็อก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป ภาพรวมของวิวัฒนาการโทรทัศน์แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วิวัฒนาการโทรทัศน์ในประเทศไทย [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2. มาตรฐานการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล

เทคโนโลยีในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลที่ใช้งานในประเทศต่างทั่วโลกมีอยู่หลายระบบ แสดงดังรูปที่ 2.2 ได้แก่

1. ATSC (Advanced Television Systems Committee, North American Standard) พัฒนาโดยประเทศสหรัฐอเมริกา
2. DVB-T (Digital Video Broadcasting -Terrestrial) พัฒนาโดยกลุ่มประเทศยุโรป
3. ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) พัฒนาโดยประเทศญี่ปุ่น และฟิลิปปินส์
4. DMB-T (Digital Multimedia Broadcast-Terrestrial) พัฒนาโดยประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน
5. DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial) พัฒนาจากระบบ DVB-T เดิมเป็น DVB-T2 รุ่นที่ 2 ที่พัฒนาโดยกลุ่มประเทศยุโรปเป็นระบบการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลที่ทันสมัยที่สุดในขณะนี้



รูปที่ 2.2 มาตรฐานการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลในแต่ละประเทศ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 5๕๕ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3. เทคโนโลยี DVB-T2 ( Digital Video Broadcasting-Second Generation Terrestrial)

เป็นมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุดที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดในขณะนี้ สัญญาณมีความคงทน และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ได้นำเสนอการผสมสัญญาณ (modulation) ระบบใหม่สุด และเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้งานในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพและเสียง และการบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับ เครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (mobile) การใช้เทคนิคใหม่นี้ทำให้ DVB-T2 มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า 50% ของประสิทธิภาพการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลอื่น ๆ ที่ใช้งานในโลก

ระบบ DVB-T2 จะใช้งานกับเสาอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ทั่วไป และใช้งานกับเครื่องส่งโทรทัศน์โครงสร้างเดิมได้ ทำให้มีความจุในการส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 30% จากระบบ DVB-T เดิม (เป็นความต้องการทางด้านธุรกิจ) และระดับสัญญาณรบกวนอยู่ในมาตรฐานกำหนดของข้อตกลงกรุงเจนีวา ปี พ.ศ. 2549

### 2.3.1. การทำงานของDVB-T2

เทคนิค DVB-T2 ใช้หลักการผสมสัญญาณ OFDM (orthogonal frequency division multiplex) โดยการแบ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นความถี่ย่อยจำนวนมาก เพื่อให้ส่งสัญญาณที่มีความคงทน สิ่งที่เหมาะสมของ DVB-T และ DVB-T2 คือมีการเสนอให้มีการปรับโหมดการทำงานได้หลายแบบเป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ที่มีความยืดหยุ่นอ่อนตัว DVB-T2 ใช้เทคนิคระบบป้องกันแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณเหมือนกับมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (DVB-S2) และมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ผ่านสายนำส่งสัญญาณ (DVB-C2) เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณ LDPC (Low Density Parity Check) รวมกันกับการเข้ารหัสสัญญาณ BCN (Bose – Chaudhuri - Hocquengham) เพื่อให้สัญญาณมีความคงทนหลาย ๆ ทางเลือกมีให้ใช้ในการกำหนดจำนวนคลื่นความถี่ที่ใช้ออกอากาศ และกำหนดขนาดช่วงคาบเวลา (guard interval size) ในการกำหนดสัญญาณนำร่อง (pilot signal) ดังนั้นสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเป้าหมายในระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ในช่องคลื่นความถี่ที่กำหนด

### 2.3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของเทคโนโลยี DVB-T2

1. COFDM เทคโนโลยีพื้นฐานของโทรทัศน์ดิจิทัลอาศัยเทคโนโลยี COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) ซึ่งเป็นการแบ่งคลื่นความถี่ออกเป็นคลื่นพาห่อย่อย (sub-carriers) จำนวนมาก โดยแต่ละคลื่นพาห่อย่อยจะมี คุณสมบัติตั้งฉากซึ่งกันและกัน (Orthogonal) นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัส (Coding) เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดล่วงหน้าด้วย (Forward Error Correction: FEC)

COFDM เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจาก OFDM มีข้อแตกต่างจาก OFDM คือ COFDM จะมีการส่งสัญญาณตรวจสอบความผิดพลาดเข้าไปด้วย เพื่อให้การส่งสัญญาณมีความทนทานต่อการลดทอนและการรบกวนในระหว่างการส่ง สำหรับ DVB-T2 นั้นทางฝั่งส่ง (Transmitter) จะเข้ารหัส 2 ชั้น การเข้ารหัสชั้นที่ 1 คือการเข้ารหัสภายนอก (Outer code) จะเป็นการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) การเข้ารหัสชั้นที่ 2 คือการเข้ารหัสภายใน (Inner code) เป็นการเข้ารหัสแบบ LDPC (Low Density Parity Check)

หลักการทำงานของ OFDM จะคล้ายกับ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplex หรือ FDM) นั่นคือทั้ง OFDM และ FDM เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณหลายๆ สัญญาณหรือการแบ่งช่องสัญญาณด้วยความถี่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ FDM เป็นเพียงการแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณนั้นไม่มีการรบกวนกัน แต่การที่จะทำให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มารบกวนกันนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการมีแถบป้องกัน (Guard band) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ระหว่างช่องสัญญาณแต่ละช่อง โดยที่เราไม่สามารถใช้งานช่วงความถี่นี้ได้ จึงกลายเป็นความสูญเปล่า

ดังนั้นเพื่อให้การทำมัลติเพล็กซ์ในเชิงความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงมีการเสนอแนวคิดเพื่อที่จะลดช่วงของแถบป้องกัน โดยแนวคิดหนึ่งที่น่าเสนอคือการทำให้แต่ละช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกันและไม่สามารถที่จะส่งผลกระทบต่ออีกช่องสัญญาณได้ ซึ่งการทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกันสามารถทำได้โดยให้แต่ละสัญญาณตั้งฉาก (Orthogonal) ต่อกัน เมื่อสัญญาณสองสัญญาณตั้งฉากต่อกัน ค่าผลคูณของเวกเตอร์ของสัญญาณทางคณิตศาสตร์ก็จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือเป็นอิสระต่อกัน โดยทั่วไปแล้วการใช้งาน OFDM ซึ่งเป็นลักษณะของการสื่อสารหลายคลื่นพาห์ (Multi-carrier Communication) สามารถช่วยในเรื่องของสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดี โดยจะทำการกระจายสัญญาณออกเป็นหลายๆ ส่วนและส่งเข้าไปในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศอีกทีหนึ่ง

2. Rotate constellations เทคนิค DVB-T2 ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณให้มีความทนทานต่อผลกระทบภายนอกเกี่ยวกับสภาพทางภูมิศาสตร์ ฤดูกาล อาคาร สิ่งก่อสร้าง โดยการผสมสัญญาณส่งออกอากาศโดยใช้เทคนิคการหมุนเปลี่ยนมุมสัญญาณคลื่นพาห์ของคลื่นวิทยุ (constellations) เป็นการปรับคาบเวลาและความถี่ที่สอดคล้องกัน

การหมุนปรับมุมคลื่นสัญญาณเป็นเทคนิคที่ทำให้มีผลต่อการทำให้สัญญาณมีความทนทานและลดการสูญเสียข้อมูลในจุดต่างๆ ในการเข้ารหัสผสมสัญญาณ โดยมั่นใจว่าการสูญเสียของข้อมูลจากส่วนประกอบหนึ่งช่วงของการส่งสัญญาณสามารถกู้คืนได้ในอีกช่วงของการส่งสัญญาณ ซึ่งใช้วิธีเปรียบเทียบข้อมูลจากการผสมสัญญาณระบบ QAM (x, y axis) ซึ่งเป็นการหมุนแกนสัญญาณ I และ Q ดังนั้นแต่ละแกนมีสัญญาณข้อมูลสัญญาณภาพโทรทัศน์ที่สำคัญคือ U1, U2 การส่งสัญญาณ I และ Q จะถูกส่งสัญญาณในคาบเวลาที่ต่างกันและต่างกันในกลุ่มเข้ารหัส (cell) เพื่อเป็นการมั่นใจต่อการกู้ข้อมูลในกรณีที่เป็น

3. Multiple Physical Layer Pipe มีการแยกปรับโหมดเกี่ยวกับการกำหนดค่าความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ในการที่จะรองรับการให้บริการส่งสัญญาณในรูปแบบต่างสภาพการใช้งาน การให้บริการส่งสัญญาณหลายรายการร่วมกัน (Multiplex)

4. Alamouti coding วิธีการหลากหลายในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ช่วยปรับปรุงเขตบริการรับสัญญาณโทรทัศน์ในเครือข่ายการส่งโทรทัศน์ความถี่เดียวกัน ในขนาดพื้นที่บริการขนาดเล็ก

5. Extended interval ขยายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลสัญญาณในการเพิ่มข้อมูล(bit) เพิ่มขนาดกลุ่ม ข้อมูล (cell) เพิ่มช่องคาบเวลา และเพิ่มช่วงการใช้คลื่นความถี่

6. Future Extension Frame (FEF) ให้มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่สอดคล้องการปรับคุณภาพสูงขึ้นในอนาคต

อย่างไรก็ตามในการเพิ่มเติมรูปแบบการผสมสัญญาณเป็น 256 QAM ในระบบ DVB-T2 จากข้อกำหนดนี้ทำให้เพิ่มอัตราส่งข้อมูลได้มากขึ้น และจากการปรับปรุงระบบป้องกันแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล (FEC : forward error correction) ทำให้อัตราส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น

DVB-T2 ใช้ระบบเข้ารหัส LDPC (Low-density parity-check) ในการรวมสัญญาณกับ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) เพื่อให้สัญญาณมีความคงทนเหมือนกับระบบส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม DVB-S2 เพื่อเป็นการป้องกันสัญญาณรบกวนในระบบและสัญญาณรบกวนนอกระบบ (Noise/interference) เพิ่มเติมในการเข้ารหัสใหม่จำนวน 2 รหัส ซึ่งต่างกับมาตรฐาน DVB-T ใช้การเข้ารหัสและระบบป้องกันแก้ไขความผิดพลาด Reed Solomon

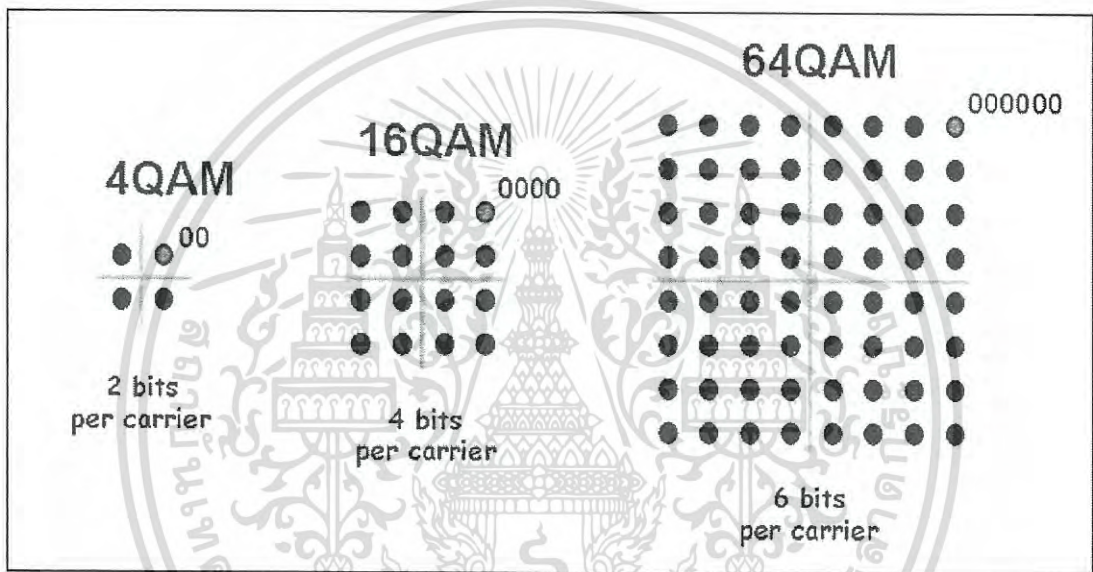
มาตรฐานข้อกำหนด DVB-T2 ใช้สัญญาณนำร่อง (pilot signal) เพื่อให้เครื่องรับโทรทัศน์สามารถแยกช่องสัญญาณในการกำหนดช่วงเวลา และความถี่ DVB-T2 กำหนดความยืดหยุ่น โดยการกำหนดสัญญาณนำร่อง จำนวน 8 รูปแบบ เพื่อให้สามารถแยกสัญญาณได้ถูกต้องในช่วงขนาดของ FFT และ Guard Interval (GI) ในการรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากที่ส่ง

ระดับความทนทานของสัญญาณและระดับป้องกันความผิดพลาดของแต่ละส่วนของการให้บริการแยกกันในการส่งข้อมูลรวมกัน (stream carrier) ในช่องสัญญาณที่กำหนดให้มีการปรับโหมดการบริการแต่ละอย่างแยกเป็นอิสระ ซึ่งการกำหนดปรับโหมดขึ้นอยู่กับความทนทานของสัญญาณที่ต้องการใช้งาน ส่งผ่านระบบส่งสัญญาณที่เรียกว่า Physical Layer Pipes (PLP)

### 2.3.3. QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

เป็นการใช้คลื่นความถี่เดียว แต่การผสมสัญญาณใช้เทคนิคระดับการรวมสัญญาณ เช่น 16-QAM (4 bits per carrier), 64-QAM (6 bits per carrier) และมีการพัฒนาให้เพิ่มประสิทธิภาพเป็น 128-QAM , 256-QAM ข้อดีในระบบนี้ไม่มีการรบกวนจากสัญญาณภายนอก และผลจากคลื่นสะท้อน (Reflections Effect)

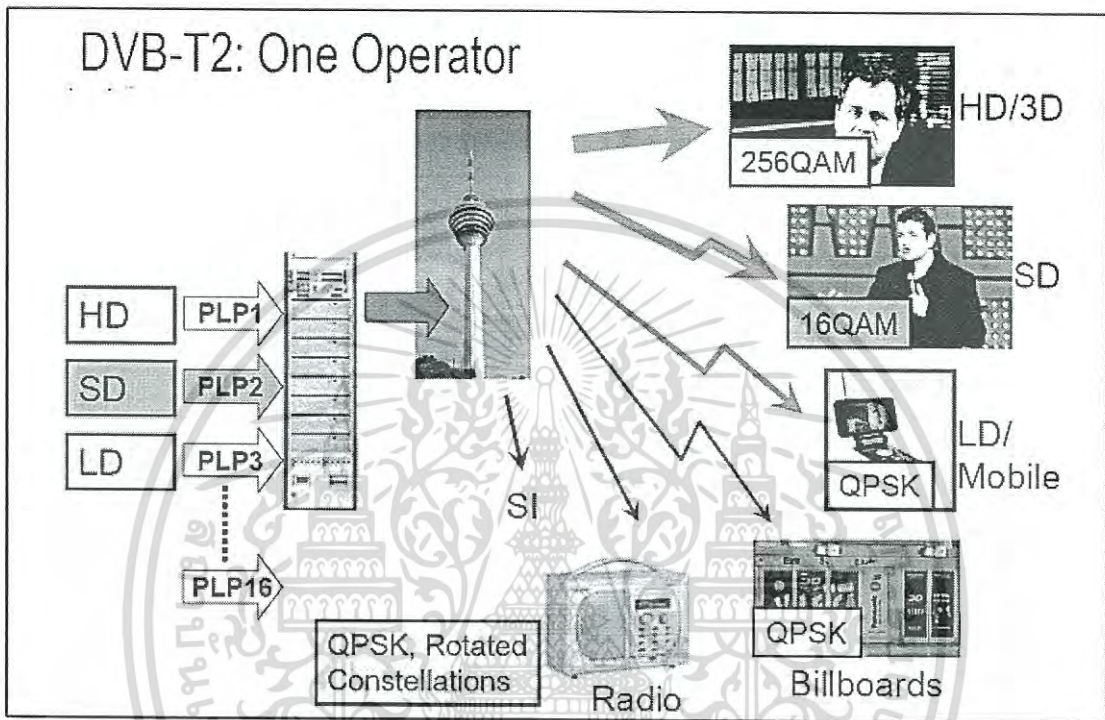
โดย DVB-T ใช้โหมด QPSK (4QAM 2 bit/carrier), 16 QAM, 64 QAM ส่วน DVB-T2 ใช้โหมด QPSK (4QAM 2 bit/carrier), 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM (8 bit/carrier) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Quadrature Amplitude Modulation [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

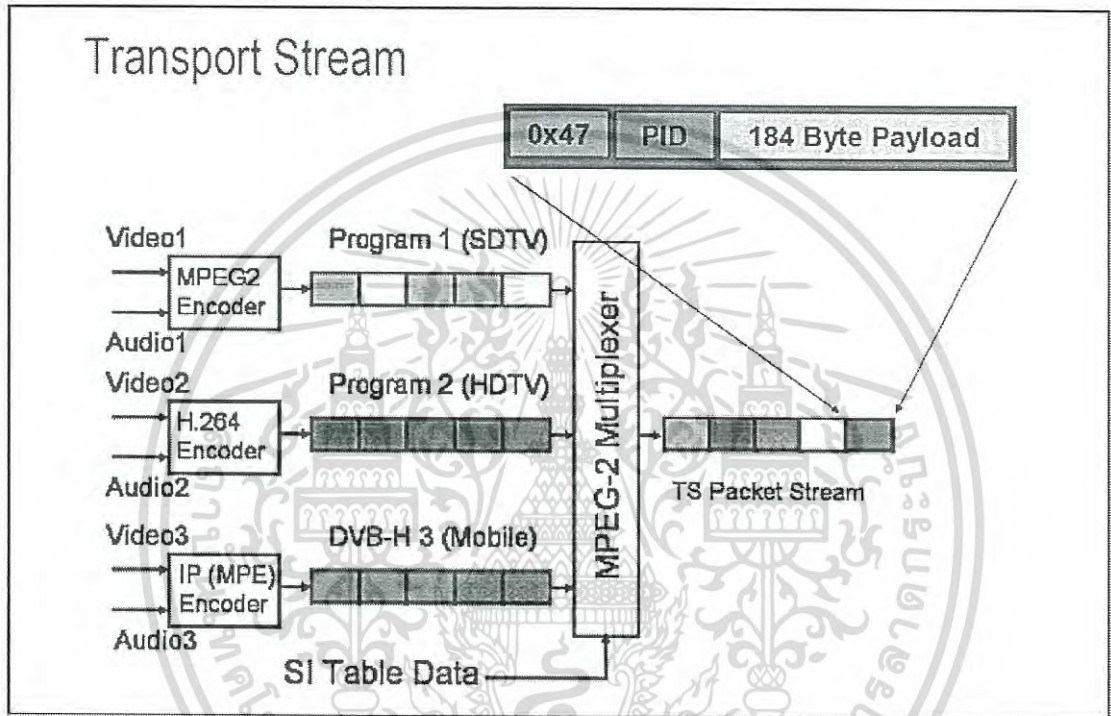
คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล DVB-T2 ในส่วนที่มีการใช้โหมดต่างกันในการให้บริการโทรทัศน์แบบต่างๆ ดังรูปที่ 2.4 เช่น ส่งโทรทัศน์ความคมชัดสูง (HDTV) ใช้ 256 QAM ส่งโทรทัศน์มาตรฐาน (SDTV) ใช้ 16 QAM ส่วนการส่งโทรทัศน์มือถือใช้ โหมด QPSK ซึ่งมีการเปลี่ยนโหมดเพื่อความเหมาะสมตามสภาพการรับสัญญาณจากเครื่องรับโทรทัศน์ต่างชนิดกัน



รูปที่ 2.4 การส่งโทรทัศน์ DVB-T2 หลายสัญญาณรวมกัน และการใช้โหมดต่างกัน [9]

### 2.3.4. Transport Stream

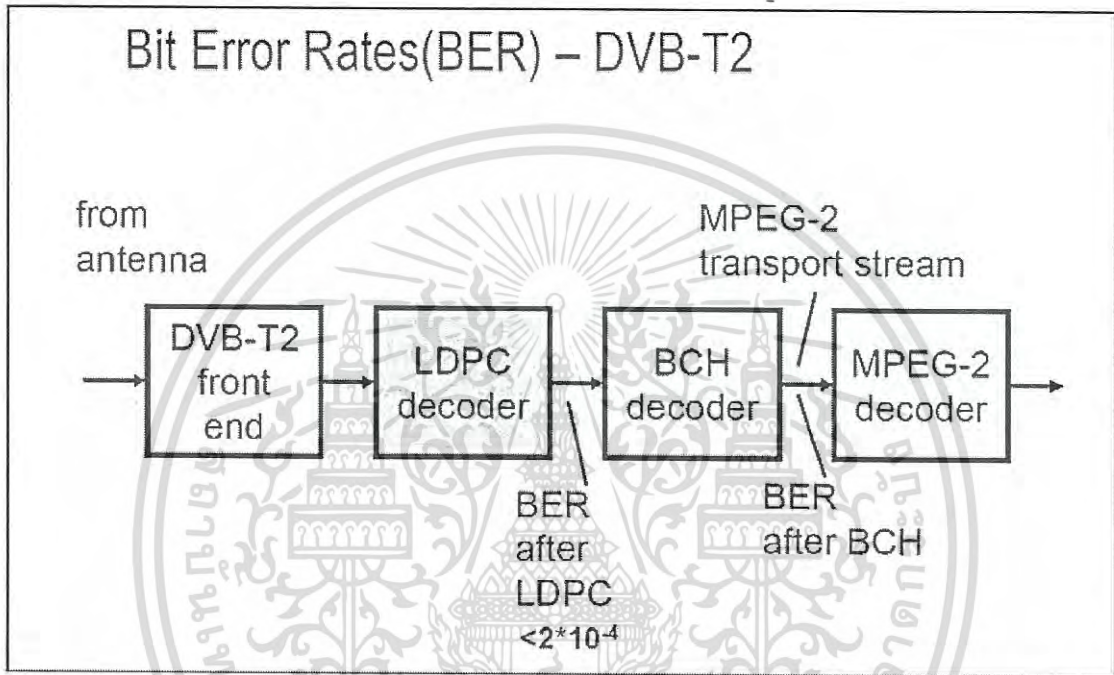
คือเทคนิคการส่งสัญญาณในที่ให้บริการส่งสัญญาณโทรทัศน์หลายรูปแบบเช่นส่งโทรทัศน์มาตรฐาน SD (MPEG-2) ส่งโทรทัศน์ความชัดสูง SDTV และส่งสัญญาณโทรทัศน์ในลักษณะข้อมูล IP (MPE) พร้อมกันโดยใช้เทคนิครวมสัญญาณ (Multiplex) ของมาตรฐาน DVB-T2 สามารถส่งสัญญาณได้พร้อมกันในหนึ่งช่องสัญญาณโทรทัศน์ที่เดิมใช้ส่งโทรทัศน์ระบบอนาล็อกได้เพียงหนึ่งช่องรายการโทรทัศน์ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Transport Stream [9]

### 2.3.5. Bit error rates (BER) ของ DVB-T2

ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล DVB-T2 เครื่องรับโทรทัศน์เมื่อแยกข้อมูลสัญญาณดิจิทัลออกมาได้ จะต้องมีการถอดรหัสชุดแก้ไขความผิดพลาด LDPC decoder และ BCH decoder ของข้อมูลสัญญาณโทรทัศน์เพื่อให้สัญญาณโทรทัศน์มีความถูกต้อง จากนั้นจึงทำการถอดรหัสสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล MPEG-2 ให้เป็นสัญญาณโทรทัศน์อนาล็อก เพื่อให้ไปแสดงผลหน้าจอภาพต่อไป ดังรูปที่ 2.6



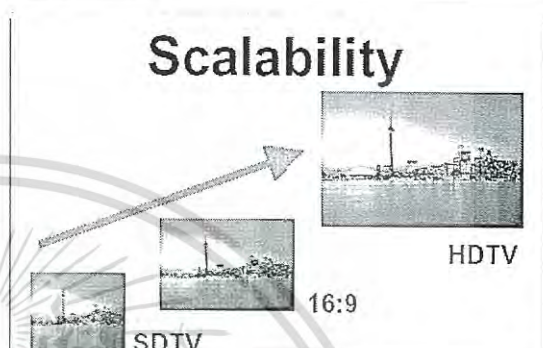
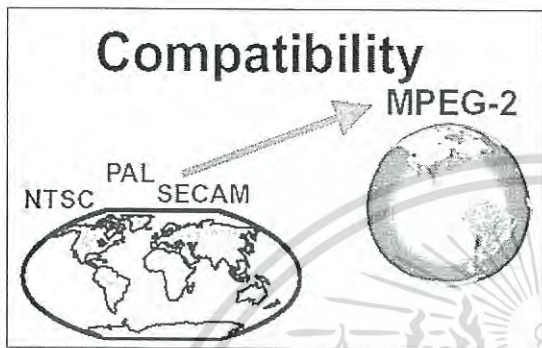
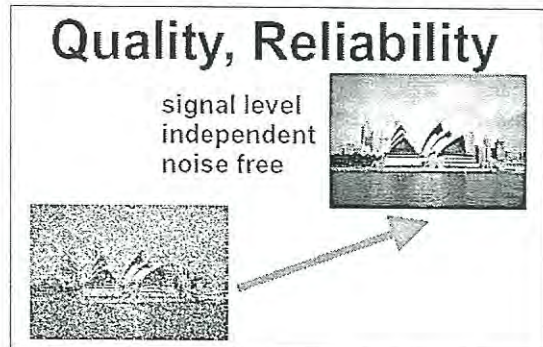
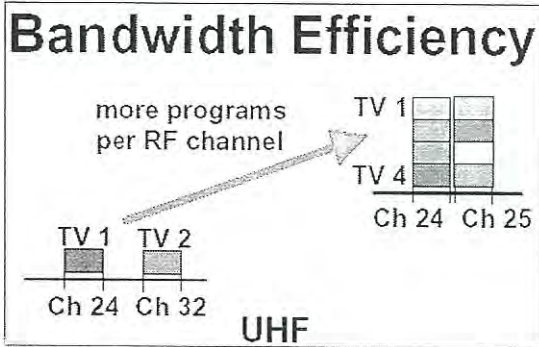
รูปที่ 2.6 Bit error rates (BER) ของ DVB-T2 [9]

### 2.4. โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (Digital Terrestrial Television) คือ การแพร่สัญญาณโทรทัศน์ในแนวระนาบภาคพื้นดิน โดยการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ ทำให้สามารถใช้คลื่นความถี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ได้จำนวนช่องที่มากขึ้น สัญญาณภาพและเสียงดีกว่าเดิม ไม่มีสัญญาณรบกวน

#### 2.4.1 การเปลี่ยนแปลงจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล

การส่งโทรทัศน์ระบบดิจิทัลเป็นการเพิ่มเติมอุปกรณ์บางส่วนในระบบการส่งโทรทัศน์อนาล็อกคือ มีการเปลี่ยนสัญญาณภาพอนาล็อก โดยการเข้ารหัส (Encoders) ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลผสมสัญญาณ (Modulator) กับคลื่นความถี่วิทยุส่งออกอากาศ เมื่อเครื่องรับโทรทัศน์รับสัญญาณได้ก็มีใช้อุปกรณ์ถอดรหัส (Decoder) เป็นสัญญาณภาพอนาล็อก



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล [11]

การแพร่กระจายคลื่นแบบอนาล็อกมีขีดจำกัดในการส่งสัญญาณ ซึ่งใช้ความกว้างช่องสัญญาณมาก คลื่นสัญญาณถูกรบกวนได้ง่าย สัญญาณภาพมีคุณภาพต่ำ ไม่สามารถประยุกต์ไปใช้งานร่วมกับสื่อผสมอื่นๆได้ ประโยชน์จากการเปลี่ยนมาใช้การแพร่คลื่นแบบดิจิทัลนี้ เกิดจากข้อจำกัดที่สำคัญ 4 ประการดังแสดงในรูปที่ 2.7 คือ

1. Bandwidth Efficiency (ใช้ความกว้างช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ)

สามารถจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากเดิมเป็นระบบอนาล็อกใช้ช่องสัญญาณหนึ่งช่องต่อหนึ่งรายการและวางช่องสัญญาณคลื่นความถี่ติดกัน หรือสถานีส่งใกล้เคียงกัน ไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่อยู่ติดกันได้ แต่ในระบบดิจิทัลสามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่ติดกัน ทำให้ใช้ช่องสัญญาณได้เต็มที่ครบทุกช่อง และสามารถออกอากาศในพื้นที่ใกล้เคียงกันได้โดยไม่รบกวนกัน และในหนึ่งช่องสัญญาณสามารถออกอากาศได้หลายๆรายการไปพร้อมๆกัน (Multi-Channel) ทำให้ส่งรายการได้มากขึ้นกว่าเดิม เช่น จากระบบอนาล็อกใช้ช่องสัญญาณ CH21 ถึง CH69 ( 48 ช่อง ) ใช้ออกอากาศหนึ่งช่องต่อหนึ่งรายการโทรทัศน์ซึ่งเท่ากับ 48 รายการเท่านั้น หากเปลี่ยนเป็นระบบดิจิทัล ช่องหนึ่งสามารถส่งได้ 4 รายการ ทำให้สามารถออกอากาศรายการโทรทัศน์ได้ 4x48 จะเท่ากับ 192 รายการ ( เป็นการยกตัวอย่างเปรียบเทียบให้เห็นเท่านั้น )

## 2. Quality Reliability (สัญญาณมีคุณภาพที่ดีและไม่มีกรรบกวน)

ระบบอนาล็อกมีการผสมคลื่นแบบต่อเนื่อง (Analog) สภาวะแวดล้อมมีผลกระทบทำให้เกิดการรบกวนและลดทอนสัญญาณลง สัญญาณภาพจะถูกรบกวนและถูกซีมซาบไปมาก ทำให้มีสัญญาณแปลกปลอมสอดแทรกเข้ามารบกวนได้ง่าย การรับชมภาพจึงไม่ชัดเจน สัญญาณภาพขาดหายและเกิดสโนว์เข้ามารบกวนได้ แต่ระบบดิจิทัลมีการผสมคลื่นแบบเข้ารหัสสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง มีการเข้ารหัส (Decode) , ถอดรหัส (Encode) และมีระบบควบคุมเพื่อชดเชยสัญญาณได้ด้วย จึงทำให้สัญญาณไม่ถูกรบกวนได้ สัญญาณภาพมีความต่อเนื่อง ภาพที่รับได้มีความคมชัดมาก

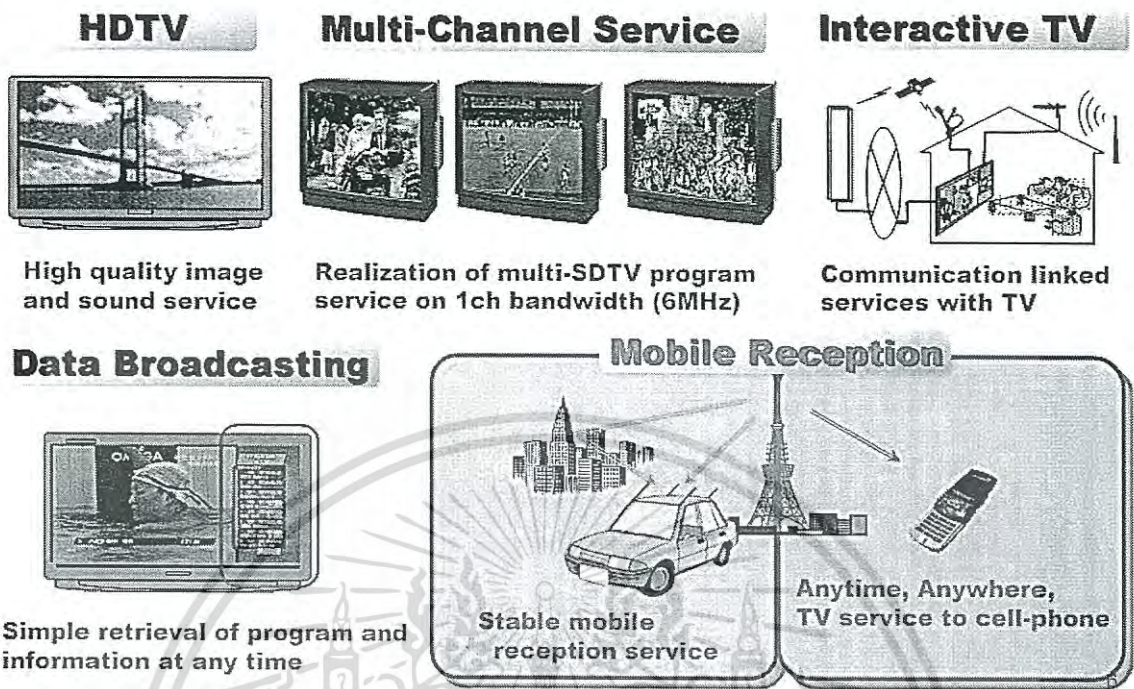
## 3. Compatibility (รูปแบบสัญญาณเป็นมาตรฐานเดียวกัน)

ระบบอนาล็อกมีสัญญาณภาพหลายมาตรฐาน คือ PAL, NTSC และ SECAM ทำให้การควบคุมคุณภาพ, การตัดต่อภาพ และการตกแต่งภาพระหว่างมาตรฐานที่แตกต่างกันทำได้ยาก และยังทำให้คุณภาพด้อยลงเมื่อผ่านกระบวนการตัดต่อหลายๆครั้ง แต่ระบบดิจิทัลใช้มาตรฐานการเข้ารหัสภาพแบบเดียว คือ MPEG-2 ซึ่งให้คุณสมบัติของภาพที่หลากหลาย มีกระบวนการสร้างภาพที่ซับซ้อนกว่า แต่ให้คุณภาพที่ดีมากกว่า สามารถนำไปใช้งานในสื่อผสมอื่นๆที่หลากหลาย เป็นที่นิยมแพร่หลายที่สุดในขณะนี้ ทำให้การนำไปใช้งานได้ครอบคลุมทุกวงการการสื่อสารเป็นมาตรฐานเดียวกัน

## 4. Scalability (ขนาดของการมองภาพที่ใหญ่มองภาพที่ดีขึ้น)

ระบบอนาล็อกมีขนาดของการมองภาพที่แคบ (758x578 - PAL อัตราส่วนภาพ 4:3) และภาพมีความละเอียดต่ำ การแสดงผลที่จอภาพไม่มีความชัดเจน ยิ่งจอภาพมีขนาดมากขึ้นยิ่งให้รายละเอียดต่ำกว่า ซึ่งเป็นแบบ SDTV ( Standard Definition Television ) ทั่วไป ยิ่งนำไปแสดงผลบนจอโทรทัศน์ที่มีหน้าจอนาจอขนาดใหญ่มากๆ ทำให้ภาพขาดความชัดเจน แต่ระบบดิจิทัลสามารถเลือกการเข้ารหัสสัญญาณภาพได้หลายขนาด (1080x720, 1920x1080 ที่อัตราส่วนภาพ 16:9) ให้ความละเอียดสูง ทำให้การแสดงผลที่จอภาพมีความคมชัดสูงแบบ HDTV (High Definition Television) มีมุมมองภาพที่กว้างมากขึ้น ( Width Screen ) ภาพที่ได้ดูสมจริงและมองเห็นภาพได้กว้างขวางมากขึ้น

5. ประโยชน์ด้านอื่นๆ โดยแบ่งเป็นแต่ละประเภทๆ ดังรูปที่ 2.8 คือ



รูปที่ 2.8 ประโยชน์ด้านอื่นๆของระบบการแพร่สัญญาณแบบดิจิทัล [11]

HDTV (High Definition Television) มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า "โทรทัศน์ความคมชัดสูง" หรือ "โทรทัศน์รายละเอียดสูง" ซึ่งระบบ Digital สามารถแสดงภาพที่มีขนาดความคมชัดที่ดีกว่าโทรทัศน์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่เป็นระบบ Analog ดังนั้น HDTV จึงเป็นโทรทัศน์ที่มีคุณภาพทั้งภาพและเสียงสูงกว่าโทรทัศน์ทั่วไป มีระดับความคมชัดสูงสุด มีมุมมองภาพที่กว้างขึ้น มีจอแสดงภาพที่กว้างมากกว่าโทรทัศน์ปัจจุบัน ระบบเสียงเป็นแบบรอบทิศทาง เหมือนกับการรับชมภาพจากจอภาพยนตร์ ที่ผู้ชมจะได้รับชมภาพที่สมจริงมากยิ่งขึ้น

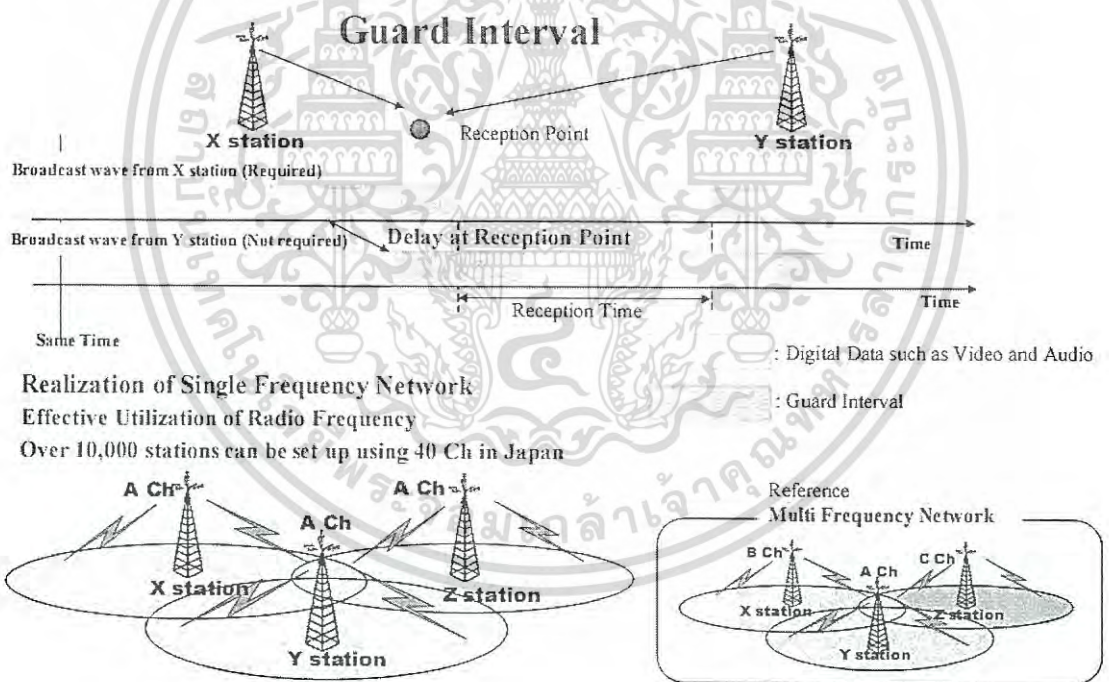
Multi-Channel Service เพิ่มการให้บริการช่องสัญญาณที่หลากหลาย ในระบบดิจิทัลสามารถส่งสัญญาณภาพ(เรียกว่าโปรแกรม หรือรายการ)ไปได้มากขึ้น รายการโทรทัศน์ (SDTV) จะถูกส่งสัญญาณไปได้พร้อมๆกันหลายรายการ โดยผ่านช่องสัญญาณ (Bandwidth) เพียงช่องเดียว ซึ่งมีความกว้างเพียง 6 MHz

Interactive Service การแพร่คลื่นระบบดิจิทัลสามารถทำเป็นระบบตอบสนอง รับและส่งข้อมูลระหว่างสถานีกับผู้ชมรายการได้ เป็นบริการเสริมสำหรับการจัดรายการโทรทัศน์ที่ผู้รับชมสามารถเลือกข้อมูลสำหรับตอบโต้กับรายการโทรทัศน์ได้ผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณอื่นๆที่ติดตั้งเสริมขึ้นมา

Data Broadcasting การให้บริการข้อมูลที่ส่งไปพร้อมสัญญาณภาพ (Video) ในระบบดิจิทัลสามารถใส่รายละเอียดข้อมูลต่างๆ ไปพร้อมสัญญาณ Video เพื่อให้ผู้รับบริการเลือกเปิดดู หรือใช้ค้นหาข้อมูลเสริมอื่น หรือเปิดดูรายการโทรทัศน์ เป็นการให้บริการข้อมูลที่หลากหลายผ่านช่องรายการโทรทัศน์

Mobile Reception การแพร่กระจายคลื่นระบบดิจิทัลรองรับการส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์พกพาประเภทต่างๆได้ โดยผู้รับบริการสามารถรับสัญญาณภาพและเสียงด้วยโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ทุกสถานที่และทุกเวลา ที่มีสัญญาณส่งไปถึง

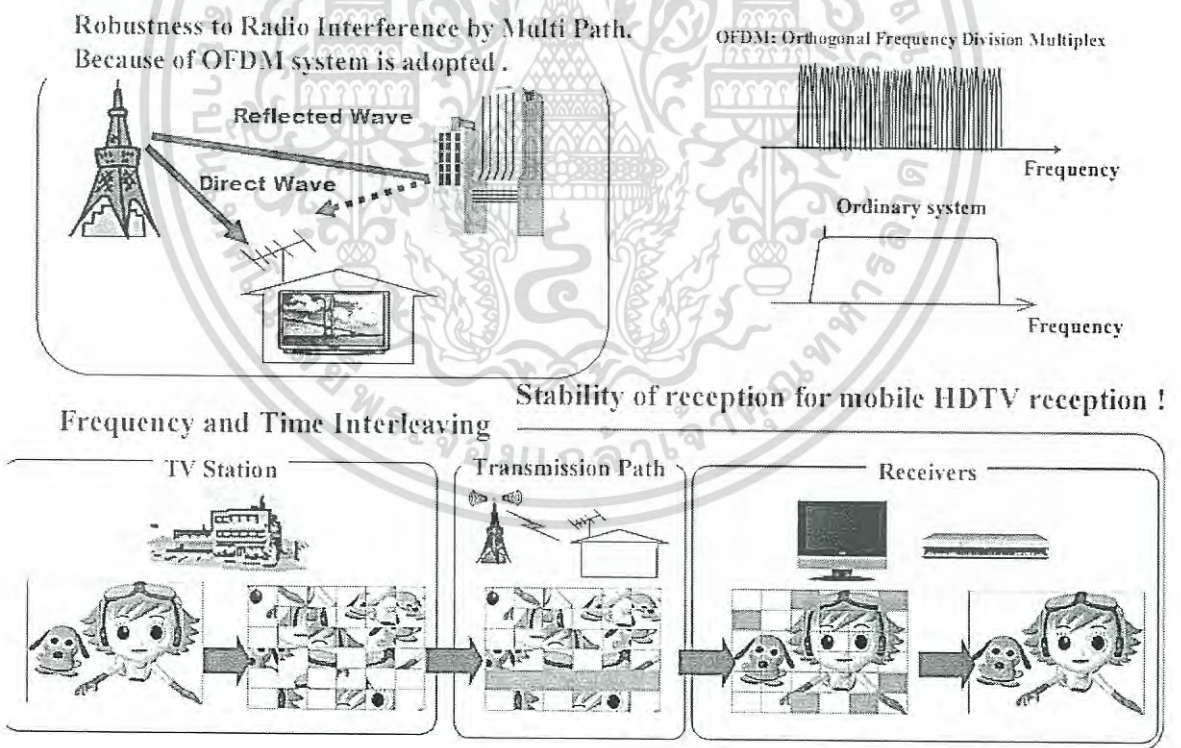
Guard Interval ป้องกันการสอดแทรกกรบกวนของสัญญาณเงา, สัญญาณสะท้อน แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Guard Interval [11]

Single Frequency Network (SFN) รายการเดียวกันออกอากาศความถี่เดียวกัน อยู่ในสถานที่ใกล้เคียงกัน สามารถออกอากาศได้โดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน

Robustness against Multi-Path ดังรูปที่ 2.10 สัญญาณดิจิทัลมีความคงทนต่อความผิดพลาดเมื่อระบบเกิด Error ขึ้น (Robustness) เมื่อเกิดการปะทะหรือสอดแทรกจากสัญญาณเดียวกันสะท้อนมาจากหลายๆทิศทาง (Multi-Path) โดยใช้กรรมวิธีการผสมคลื่นแบบ QPSK ทำให้สัญญาณมีอัตราส่วนของสัญญาณรบกวนต่ำ และสร้างคลื่นพาหะย่อยด้วยกระบวนการ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) ในแต่ละสัญญาณพาหะย่อยจะถูกทำให้รูปร่างมีความตั้งฉากซึ่งกันและกันกับสัญญาณพาหะย่อยอื่นๆ ด้วยวิธีการจัดการสัญญาณในลักษณะนี้ ทำให้แม้แต่สัญญาณพาหะย่อยที่อยู่ใกล้กันซ้อนทับกัน ก็ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนซึ่งกันละกัน และเสริมกระบวนการสลับข้อมูลอีก 2 ลักษณะคือการสลับข้อมูลทางด้านแกนเวลาและทางด้านความถี่ของสัญญาณ (Frequency and Time Interleaving) เพื่อป้องกันการผิดพลาดจากการรบกวนแถบสัญญาณข้อมูล (รายการภาพและเสียง) และข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความผิดพลาดจะถูกส่งไปพร้อมกับสัญญาณพาหะย่อยที่แยกจากกันด้วย ดังนั้นการแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูลในแต่ละสัญญาณพาหะย่อย จะใช้วิธีการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดที่ปลายทาง เรียกกระบวนการนี้ว่า FEC (Forward Error detection and Correction)



รูปที่ 2.10 Robustness against Multi-Path [11]

148486

## 2.4.2 การบีบอัดสัญญาณ

การบีบอัดสัญญาณ MPEG-2 ซึ่งใช้งานในการส่งโทรทัศน์ DVB-T และ ISDB-T หรือ การส่งโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม DVB-S และ ISDB-S ส่วนเทคโนโลยีใหม่ในการบีบอัดสัญญาณโทรทัศน์ ดิจิทัล คือ MPEG-4 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า MPEG-2 ปัจจุบันนิยมใช้งานในการบีบอัดสัญญาณ โทรทัศน์ความชัดเจนสูง HDTV ในการส่งโทรทัศน์ DVB-T2 หรือ DVB-S2

## 2.4.3 ผู้ให้บริการโครงข่ายบริการโครงข่าย (NETWORK PROVIDER)

ในช่วงเริ่มต้นมี 5 ผู้ให้บริการโครงข่าย หรือ “MUX”

- MUX1 (NBT)
- MUX2 (ททบ5)
- MUX3 (MCOT)
- MUX4 (TPBS)
- MUX5 (ททบ5)

ส่วน MUX ที่ 6 จะกำหนดให้หลังจาก Analog Switch off

## 2.5. กรอบการพิจารณามาตรฐานการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

1. ความก้าวหน้าในเชิงเทคโนโลยี และความจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนระบบโทรทัศน์ในอนาคตเพื่อรองรับกับการพัฒนาของเทคโนโลยีอันอาจส่งผลกระทบต่อประชาชน
2. การใช้คลื่นความถี่อันเป็นทรัพยากรสาธารณะอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อประชาชน (Spectrum Efficiency)
3. จำนวนช่องรายการโทรทัศน์ควรมีมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อพัฒนาการในกิจการโทรทัศน์ของประเทศอย่างมีนัยสำคัญ
4. จำนวนของรายการโทรทัศน์มีมากเพียงพอที่จะจัดสรรให้ภาครัฐ ภาคธุรกิจภาคประชาชนมีช่องทางในการประกอบกิจการสื่อสารมวลชน เพื่อส่งเสริมการแข่งขันและโอกาสในการรับรู้ข้อมูลข่าวสารสาธารณะที่มาจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย
5. ความสามารถในการรองรับบริการได้หลากหลาย รวมถึง บริการที่มีความคมชัดมาตรฐาน (Standard Definition) และบริการที่มีความคมชัดสูง (High Definition)
6. มีการใช้งานมากเพียงพอที่จะนำไปสู่การผลิตจำนวนมาก (Economy of Scale) ที่จะส่งผลต่อราคาของอุปกรณ์รับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล (Set-Top-Box: STB) และเครื่องรับโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล (Integrated Digital Television: iDTV) ทำให้มีราคาที่เหมาะสมและไม่เกิดภาระแก่ประชาชนเกินควร
7. การปรับเปลี่ยนไปสู่การรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของประเทศควรสอดคล้องกับวิทยุโทรทัศน์ระบบแอนะล็อกเดิม
8. แผนคลื่นความถี่ใหม่จะต้องไม่เกิดการรบกวนกับวิทยุโทรทัศน์ระบบ Analog และการรบกวนคลื่นความถี่กับประเทศเพื่อนบ้าน (Smooth Migration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

9. นโยบายรัฐบาล พันธกรณีระหว่างประเทศ และความร่วมมือในภูมิภาคอาเซียน

10. การรองรับการพัฒนาการให้บริการรูปแบบต่างๆ รวมถึงระบบเตือนภัย Emergency

Warning System: EWS

ข้อมูลเพิ่มเติม ภาคผนวก ข

## 2.6. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศ

พารามิเตอร์สำหรับโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (ระบบ DVB-T2) สำหรับการรับสัญญาณทั้งแบบอยู่กับที่ (Fixed Reception) และแบบพกพาภายในอาคาร (Portable Indoor Reception) โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับประเทศไทยนี้ ถูกกำหนดจากหน่วยงาน กสทช แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ DVB-T2 ที่ใช้ในการออกอากาศสำหรับประเทศไทย [1]

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
Bandwidth	8 MHz
FFT Size	16k Extended
Pilot Pattern	PP2
Guard Interval	19/128
Modulation	64 QAM
Constellation Rotation	Off
Code Rate	3/5

โดยอัตราบิตของสัญญาณภาพ (bit rate) แต่ละช่องจะมีค่าแบ่งเป็นช่องสัญญาณแบบมาตรฐาน (SD) อยู่ที่ 0.75-2.5 Mbps และช่องสัญญาณแบบความคมชัดสูง (HD) อยู่ที่ 2-7 Mbps ซึ่งใน 1 MUX (Multiplexer) มีค่าความจุต่อ MUX สูงสุดโดยประมาณ 21.93 Mbps ซึ่งสามารถออกอากาศได้ทั้งหมด 8 ช่องรายการ โดยแบ่งเป็นช่องสัญญาณแบบมาตรฐาน (SD) จำนวน 6 ช่อง และช่องสัญญาณแบบความคมชัดสูง (HD) จำนวน 2 ช่อง

## 2.7. ช่องสัญญาณดิจิทัลทีวีในแต่ละมัลติเพล็กซ์

2.7.1 กำหนดความถี่วิทยุ 510-790 MHz

2.7.2 กำหนดความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth) 8 MHz

2.7.3 กำหนดช่องความถี่วิทยุในกรุงเทพเป็นดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 กำหนดช่องความถี่วิทยุในกรุงเทพ

ผู้ให้บริการ โครงข่าย	หมายเลข มัลติเพล็กซ์	หมายเลขช่อง ความถี่วิทยุ	ความถี่วิทยุ (MHz)		
			ขอบล่าง	ขอบบน	ความถี่ กึ่งกลาง
NBT	1	26	510	518	514
TV5	2	36	590	598	594
MCOT	3	40	622	630	626
TPBS	4	44	654	662	658
TV5	5	52	718	726	722

## 2.8. พารามิเตอร์สำหรับการวัดในระบบ DVB-T2

### 2.8.1. ความถี่วิทยุ

2.8.1.1. ความแม่นยำความถี่วิทยุการที่จะประมวลผลสัญญาณ OFDM ที่ใช้ใน ระบบ DVB-T2 ได้นั้นจะต้องให้แต่ละ carrier ที่เครื่องส่งมีความถี่ที่แม่นยำในระดับหนึ่ง นอกจากนี้ โครงข่ายอย่างเช่น SFN จะต้องการความแม่นยำของความถี่ carrier สูง

2.8.1.2. ความกว้างช่องความถี่วิทยุการวัดความกว้างช่องสัญญาณจะช่วยให้สามารถยืนยันความแม่นยำของความถี่ Sampling ได้

2.8.1.3. ความยาว Symbol ที่ความถี่วิทยุการยืนยัน Guard interval ที่ใช้ใน สัญญาณ DVB-T ที่รับได้สามารถทำได้ในระดับความถี่วิทยุโดยการวัดความถี่อย่างละเอียด การวัดใน แบบนี้จะใช้ในกรณีที่เกิดความไม่มั่นใจในการทำงานของ modulator ว่าทำงานได้ถูกต้องและสามารถ สร้างสัญญาณที่มี Guard interval ตามที่กำหนดไว้ได้

2.8.1.4. Selectivity บอกถึงความสามารถในการตัดสัญญาณแทรกสอดจาก ภายนอกช่องสัญญาณออก

2.8.2. AFC capture range บอกถึงช่วงความถี่ที่เครื่องรับสามารถทำการ Lock ได้

2.8.3. สัญญาณรบกวนเฟสของ Local Oscillator (LO) สัญญาณรบกวนเฟส (Phase noise) สามารถเกิดได้ที่เครื่องส่ง เครื่องแปลงความถี่ หรือที่เครื่องรับ อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของเฟสของ Oscillator ในระบบ OFDM สัญญาณรบกวนเฟสสามารถทำให้เกิด Common Phase Error (CPE) ได้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคลื่นพาห์ทั้งหมดซึ่งสามารถลดและแก้ไขได้โดยการใช้ continual pilot ทั้งนี้การแทรกสอดระหว่างคลื่นพาห์จะเป็นเหมือนกันสัญญาณรบกวนและไม่สามารถแก้ไขได้ จึงต้องนำไปคิดเป็นสัญญาณรบกวนของระบบ

2.8.4. กำลังสัญญาณ การวัดระดับกำลังสัญญาณจำเป็นต่อการตรวจสอบและตั้งระดับกำลังที่สถานีส่งและเครื่องรับ

2.8.5. กำลังสัญญาณรบกวน สัญญาณรบกวนเป็นอุปสรรคสำคัญในโครงข่ายการส่งสัญญาณ

2.8.6. สเปกตรัมความถี่วิทยุ เพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณในช่องอื่นๆ สเปกตรัมของสัญญาณที่ส่งจะต้องอยู่ในกรอบ Spectrum mask ซึ่งในโครงข่ายภาคพื้นดินได้มีการกำหนดไว้แล้วตามข้อเสนอแนะของของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ITU-R BT.1206: Spectrum limit masks for digital terrestrial television broadcasting

2.8.7. ความไวของเครื่องรับ จะต้องมีการวัดกำลัง input สูงสุดและต่ำสุดสำหรับการทำงานของเครื่องรับ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบโครงข่าย

2.8.8. Equivalent Noise Degradation (END) คือการวัดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในโครงข่ายหรืออุปกรณ์โดยมีการเทียบกับประสิทธิภาพการทำงานในอุดมคติ

2.8.9. Linearity characterization (Shoulder Attenuation) การ Shoulder Attenuation สามารถนำมาใช้บอกคุณลักษณะความเป็นเส้นตรงของสเปกตรัมได้โดยไม่ต้องอ้างอิง spectrum mask

2.8.10. Power Efficiency เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณ Output เทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในการทำงานทั้งหมดตั้งแต่ TS input ถึง RF signal output ใช้เพื่อบอกประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องส่ง

2.8.11. Coherent interferer เพื่อบอกว่ามี coherent interferer ที่จะส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของ I/Q analysis หรือค่า BER

2.8.12. การเปรียบเทียบ BER กับ C/N แปรผันตามกำลังส่ง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ BER ของเครื่องส่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า C/N โดยทำการวัดค่าและเปลี่ยนกำลังส่งไปตามช่วงกำลังที่สนใจ การวัดนี้จะสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องส่งกับทฤษฎีหรือเครื่องส่งอื่นๆ

2.8.13. การเปรียบเทียบ BER กับ  $C/N$  แปรผันตามกำลังสัญญาณรบกวน Gaussian เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ BER ของเครื่องส่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $C/N$  โดยทำการวัดค่าและทำการเปลี่ยนค่ากำลังสัญญาณรบกวน Gaussian ที่เพิ่มเข้าไป การวัดนี้จะสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องส่งกับทฤษฎีหรือเครื่องส่งอื่นๆ เช่นการเปรียบเทียบผลกระทบของ Noise Floor

2.8.14. System Target Error ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของกลุ่มบน constellation ในอุดมคติกับในการใช้งานจริง ซึ่งจะทำให้ความทนทานต่อสัญญาณรบกวนของ constellation นั้นๆ ลดลง ซึ่งค่านี้สามารถบอกได้ถึงความผิดเพี้ยนชนิดพิเศษ เช่น Amplitude Imbalance และ Quadrature Error STE จะบ่งบอกถึงความผิดเพี้ยน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 22 เท่านั้นนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2

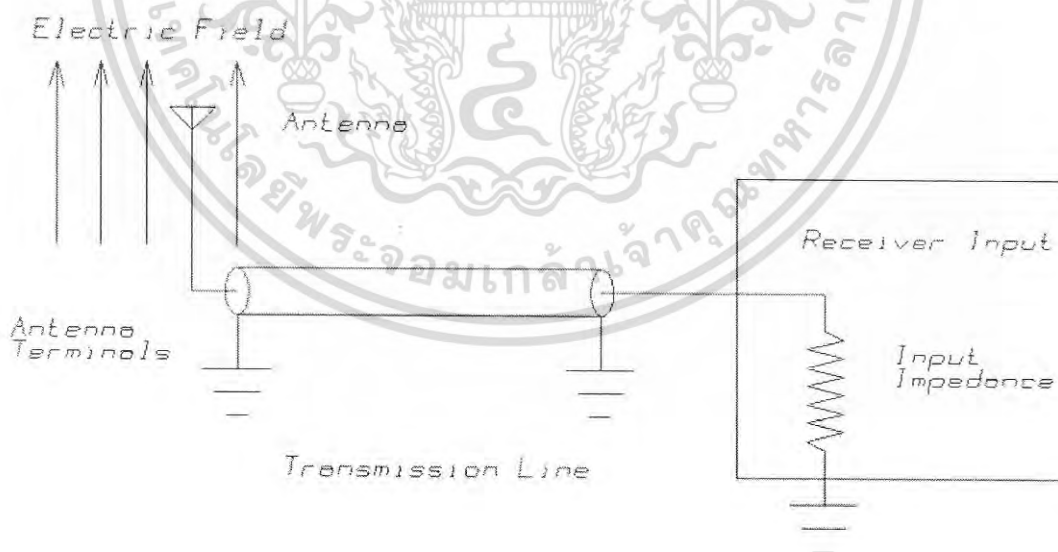
#### 3.1. พารามิเตอร์ในการวัด และวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2

พารามิเตอร์ข้างต้นนี้มีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสัญญาณ DVB-T2 ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดสัญญาณ ROVER HD PROTAB โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้

##### 3.1.1. กำลังงาน (Power)

การวัดค่ากำลังงานของสัญญาณ โดยการวัดสัญญาณนั้นจะต้องเข้าใจการอ่านจากเครื่องมือวัดนั้นๆ และยังต้องทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้กับเครื่องมือวัดว่ามีค่า 50 หรือ 75 โอห์ม โดยหน่วยการวัดของกำลังส่งใช้เป็นวัตต์ (Watt) ซึ่งปกติแล้วระดับการส่งสัญญาณที่ส่งออกมา นั้นจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้หน่วยวัดเป็น dBm และ dBuV

ซึ่ง dBm หมายถึง ค่า dB (เดซิเบล) เทียบกับมาตรฐานหน่วยวัตต์มิลลิวัตต์ เช่น กำลังส่ง 20 mW เท่ากับ 13 dBm และ dBuV หมายถึง ค่า dB (เดซิเบล) เทียบกับมาตรฐานหน่วยวัด Voltage (dBuV แรงดันไฟฟ้าเทียบกับหนึ่งไมโครโวลต์ นิยมใช้กับระบบโทรทัศน์ โดย  $60 \text{ dBuV} = 0 \text{ dBmV}$ ) การรับสัญญาณ แสดงดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 Electric field and received voltage and power [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน dBuV/m คือความแรงของสนามไฟฟ้าเทียบกับหนึ่งไมโครโวลต์ต่อเมตร นิยมใช้กับการระบุค่าความแรงของสัญญาณที่ปลายสัญญาณการรับการออกอากาศ (สัญญาณที่วัดได้จากเอาต์พุตของสายอากาศคือ dBuV) และสมการสำหรับหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่รับได้แสดงดังสมการที่ (1)

$$\mathcal{E}(\text{dBuV/m}) = E(\text{dBuV}) - Gr(\text{dBi}) + 20\log(f(\text{MHz})) - 29.8 \quad (1)$$

เมื่อ

$\mathcal{E}$  คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า (dBuV/m)

E คือ สัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องรับ (dBuV)

Gr คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ (dBi)

f คือ ความถี่ของสัญญาณ (MHz)

### 3.1.2. คุณภาพ (Quality)

การวัดคุณภาพของสัญญาณที่ต้องการจะพิจารณาโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแทรกสอด หรือวิธีการสังเกตอย่างง่ายคือดูจากภาพและเสียงที่แสดงผลออกมาซึ่งในเครื่องมือวัด ROVER HD PROTAB นี้ จะแสดงค่าเป็น PASS=ดี, MARG=พอรับได้ และ FAIL=ค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณร่วมด้วย คือ BER, MER, C/N และ SNR โดยจะแสดงความหมายของแต่ละค่าต่อไป

### 3.1.3. อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio (C/N))

คือ อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน เป็นการวัดผลกระทบของสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณที่รับเข้ามา หรือบางครั้งเรียก CNR เป็นอัตราส่วนที่สำคัญของดิจิทัลทีวี เพราะเป็นขอบของการตรวจจับสัญญาณ โดยค่าอัตราส่วน C/N จะเปลี่ยนตาม Channel type (Gaussian, Rician, Rayleigh)

นอกจากนี้การทดสอบการลดลงของคุณภาพสัญญาณเนื่องจากการถูกรบกวน โดยการวัดคุณภาพสัญญาณที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของสัญญาณที่อาจจะเกิดการถูกรบกวนจากภายนอก โดยเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับได้ที่ระดับ 20 dB เช่นถ้ามีค่าการรบกวนจนทำให้ค่า C/N เท่ากับ 20.5 dB แสดงว่าสัญญาณนี้ถูกทำให้เสื่อมลงไป 0.5 dB

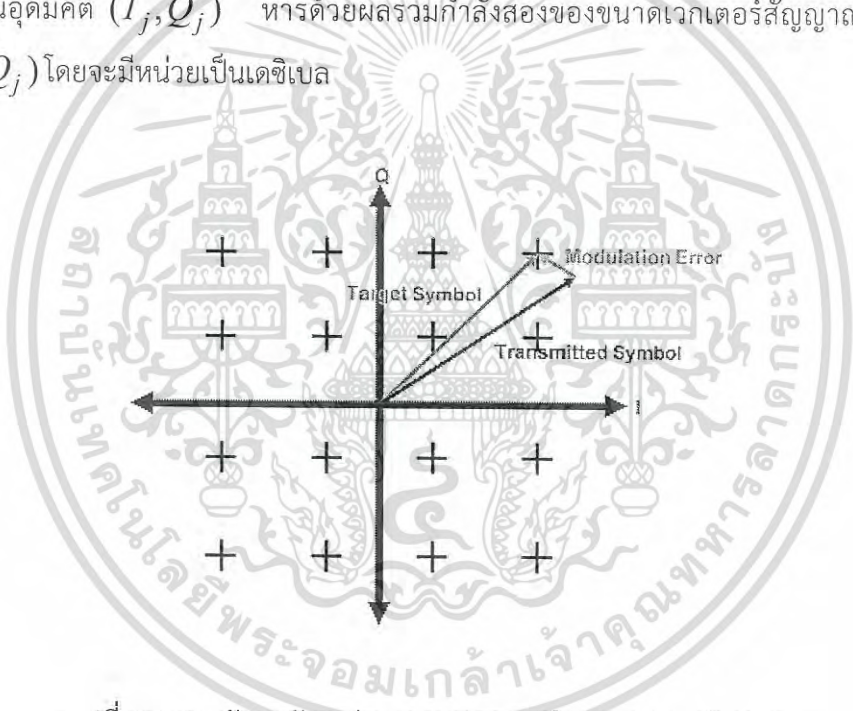
### 3.1.4. อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (Modulation Error Ratio (MER))

อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันหรือค่า MER เป็นตัวแสดงค่าประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณ DVB-T2 โดยการวัดค่าเบี่ยงเบนจากค่าในอุดมคติ ค่า MER จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยที่จะส่งผลต่อค่า BER และ ถ้าการส่งสัญญาณมีค่า MER สูงและการรบกวนเป็นแค่การเสื่อมลงของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$MER[dB] = 10 \log \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} \quad (2)$$

เมื่อความผิดพลาดของเวกเตอร์ คือ ค่าที่ได้จากสัญญาณ IQ (I: In-Phase คือสัญญาณที่ให้ค่าเอาต์พุตเฟสเดียวกันกับอินพุต และ Q: Quadrature-Phase คือสัญญาณเอาต์พุตต่างเฟสกับอินพุต 90 องศา)

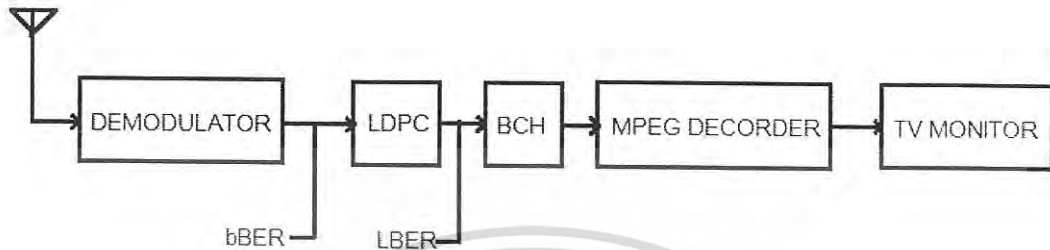
จากรูป 3.2 การที่เฟสและแอมพลิจูดของ IQ เปลี่ยนไปนั้น จะทำให้สามารถสร้างจุดบน Constellation diagram โดยจุดนั้นๆ จะเป็นตำแหน่งของ Symbol ข้อมูลที่ทำการส่งไป โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าในอุดมคติกับค่าที่วัดได้ โดยได้จากผลรวมกำลังสองของขนาดเวกเตอร์สัญญาณในอุดมคติ  $(I_j, Q_j)$  หารด้วยผลรวมกำลังสองของขนาดเวกเตอร์สัญญาณที่ผิดพลาด  $(\delta I_j, \delta Q_j)$  โดยจะมีหน่วยเป็นเดซิเบล



รูปที่ 3.2 การวัดหาอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน [14]

### 3.1.5. อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Ratio (BER))

อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Ratio) หมายถึงการวัดความแม่นยำของกระแสบิตที่ได้รับตามที่ระบุในรูปของอัตราส่วนบิตความผิดพลาดต่อจำนวนบิตรวม โดยค่า BER จะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งค่า BER น้อย (คุณภาพของสัญญาณจะดี) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของอัตราความผิดพลาดบิต [1]

#### 3.1.5.1 before bit error rate (bBER)

หรือเรียกว่า Channel bit error rate คือค่าที่รับได้หลังจากผ่านการตีמודดูเลชัน ก่อนนำไปเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสต่อไป โดยค่านี้จะอยู่ที่ประมาณ  $2 \times 10^{-2}$  ถือเป็นค่ามากที่สุด (ค่ายิ่งต่ำกว่า  $2 \times 10^{-2}$  ยิ่งดี) ที่ยังทำให้การรับสัญญาณ DVB-T2 ยังสามารถรับสัญญาณได้ตามปกติ โดยที่สัญญาณไม่สะดุดหรือสัญญาณภาพไม่มีการขาดหาย

#### 3.1.5.2 LDPC bit error rate (LBER)

คือค่า bBER ที่ถูกส่งผ่านเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสแบบ LDPC (Low-Density Parity-Check) แล้วนำเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghen) หลังจากนั้นจะทำให้มีค่าต่ำกว่า หรือเท่ากับ  $1 \times 10^{-11}$

ในการแสดงค่า นิยมแสดงเป็นอัตราส่วนเช่น  $1 \times 10^{-11}$  หมายความว่ามีความผิดพลาด 1 บิตต่อการส่ง แชนลันบิต ( $10^{11}$ )

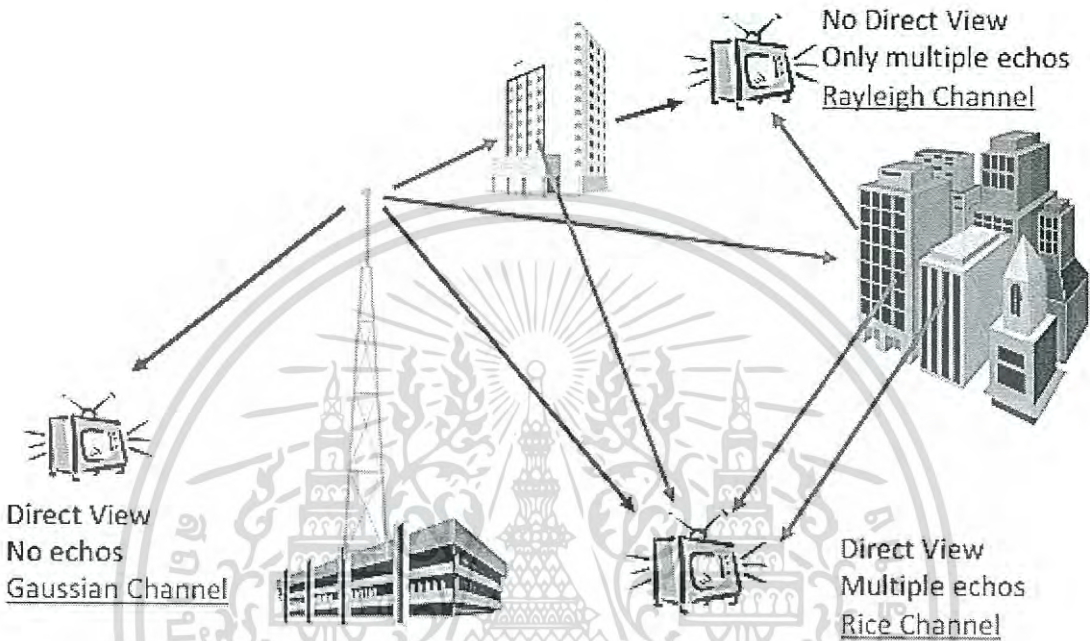
### 3.1.6. อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio (SNR))

คืออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือบางครั้งเรียก S/N เป็นวิธีการวัดค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่ต้องการกับกำลังของสัญญาณรบกวน ค่านี้เป็นการบ่งบอกคุณภาพของสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ว่ามีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่มากเท่าใด โดยถ้าหากค่า SNR มีค่าสูง แสดงว่ากำลังของสัญญาณที่ต้องการมีมากกว่ากำลังสัญญาณรบกวน แต่ถ้าหากค่า SNR ต่ำ แสดงว่าคุณภาพของสัญญาณไม่ดีคือมีการรบกวนสูง ซึ่งค่า SNR นี้มักจะบอกมาในหน่วย dB นั่นคือค่า SNR ที่ดีต้องมีค่ามาก คุณภาพยิ่งดี

### 3.1.7. Noise margin (NsMAR)

คือค่าผลต่างระหว่าง ค่าระดับ CNR ของสัญญาณที่รับได้กับค่าระดับ CNR ของสัญญาณต่ำสุดที่ยังยอมรับได้ (ค่าที่ทำให้ได้คุณภาพของภาพที่ไม่ขาดหายจนรับไม่ได้ ตัวอย่างเช่น ภาพไม่เกิดการกระตุกมากกว่าหนึ่งครั้งในทุกๆ 20 วินาที)

### 3.1.8. ประเภทของช่องสัญญาณในทางทฤษฎีแบ่งเป็น ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ประเภทของช่องสัญญาณ [12]

1. Gaussian เป็นช่องสัญญาณในอุดมคติ ไม่มีสัญญาณสะท้อน
2. Ricean เป็นช่องสัญญาณที่มีสัญญาณหลักหนึ่งสัญญาณ และมีสัญญาณสะท้อนหลายสัญญาณ
3. Rayleigh เป็นช่องสัญญาณที่ไม่ปรากฏสัญญาณหลักเด่นชัด แต่จะประกอบไปด้วยสัญญาณสะท้อนหลายสัญญาณ

### 3.1.9 ช่องสัญญาณ (transmission channel)

ช่องสัญญาณมีองค์ประกอบสำคัญ 3 องค์ประกอบซึ่งส่งผลต่อคุณลักษณะของสัญญาณที่ถูส่งผ่าน

#### 1. การสะท้อน (Echoes)

คือผลที่เกิดจากสัญญาณที่สะท้อนมาเข้าเครื่องรับในช่วงเวลาที่แตกต่างสัญญาณตรง (direct signal) ทำให้เกิดดีเลย์ และการเฟดของสัญญาณ (fading effect) โดยแบ่งได้เป็น 2 กรณีดังนี้

- แบบพาสซีฟ (passive) เกิดจากการสะท้อนจากสิ่งกีดขวางหรือสิ่งแฉดล้อม
- แบบแอคทีฟ (active) เกิดจากสัญญาณจากเครื่องส่งภายในโครงข่าย SFN

ผลจากสัญญาณสะท้อน (Echoes) ทำให้สัญญาณรวมที่จุดรับสัญญาณมีโอกาสเสริมและหักล้างกับสัญญาณ จากทางตรง ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่จุดรับสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป จนอาจทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณได้ในกรณีที่เกิดการสะท้อนมากเกินไป การสะท้อนมากหรือน้อย ขึ้นกับสิ่งแฉดล้อม เขตชุมชนเมืองมีโอกาสเกิดการสะท้อนได้มาก และเขตชนบท มีโอกาสเกิดการสะท้อนน้อยกว่า

เทคนิคที่ใช้ : การแก้ไขหรือลดผลจากการสัญญาณสะท้อนทำได้โดยการเพิ่มช่วงเวลาป้องกัน (Guard Interval) ให้สูงขึ้น แต่จะส่งผลให้อัตราบิตลดลงด้วย

#### 2. ปรากฏการณ์ดอปเลอร์ (Doppler effect)

คือปรากฏการณ์ที่เกิดการรับสัญญาณในขณะที่เคลื่อนที่หรืออาจเกิดจากสิ่งแฉดล้อมมีการเคลื่อนที่ก็ได้ โดยผลของ ปรากฏการณ์นี้ จะทำให้ความถี่ของสัญญาณเลื่อนออกจากตำแหน่งที่ส่งไป (frequency shift) ยิ่งการรับสัญญาณขณะ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวจะปรากฏเด่นชัดขึ้น

เทคนิคที่ใช้ : การแก้ไขหรือลดผลจากปรากฏการณ์ดอปเลอร์ทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างระหว่าง คลื่นพาห์ (inter-carrier distance) แต่จะส่งผลให้ความทนทานต่อ impulsive noise และระยะห่างสูงสุดของเครื่องส่งลดลงด้วย

#### 3. สัญญาณรบกวน (Noise)

คือการรบกวนของช่องสัญญาณในลักษณะสุ่ม (random) ทำให้สัญญาณที่ปลายทางเกิดความผิดเพี้ยนไปจากต้นทาง โดยในระบบการส่งสัญญาณหนึ่งๆ สัญญาณที่ปลายทางนั้นจะต้องมีค่า C/N (อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน) มากเกินข้อกำหนดของพารามิเตอร์ระบบจึงจะทำได้สามารถถอดรหัสสัญญาณได้ ทั้งนี้ ในระบบ DVB-T2 นั้น ค่า C/N ที่ต้องการ จะมีค่าตามการปรับพารามิเตอร์ของการมอดูเลตสัญญาณ (modulation) และอัตราการเข้ารหัส (code rate) เป็นหลัก และการวัดข้อผิดพลาดนั้น นิยมวัดในรูปแบบของ Bit Error Ratio (BER)

เทคนิคที่ใช้ : หากต้องการสัญญาณมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้นทำได้โดยปรับ Code rate หรือ Modulation ให้ต่ำลง เพื่อให้สัญญาณมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้น แต่จะส่งผลให้ Bitrate ต่ำลง

### 3.2. การวิเคราะห์ระบบสื่อสาร

#### 1. EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)

เป็นค่ากำลังงานการแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิกสมการที่

#### 2. การสูญเสียในเส้นทาง (Path Loss)

การลดทอนสัญญาณ (Attenuation) ในการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ ค่ากำลังของสัญญาณจะลดลงอย่างเป็นสัดส่วนกลับ กับระยะทางยกกำลังสอง หรือเรียกว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) จึงทำให้กำลังของสัญญาณ ณ ระยะที่ห่างจากสายอากาศของเครื่องส่งมีความเข้มลดลงอย่างรวดเร็ว ลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า การลดทอน ซึ่งนิยามวัดในหน่วยเดซิเบล (dB)

### 3.3. โมเดลการวัดสัญญาณ DVB-T2

#### 1. สถานที่วัดสัญญาณเป็นพื้นที่ขนาด 540 เซนติเมตร X 540 เซนติเมตร

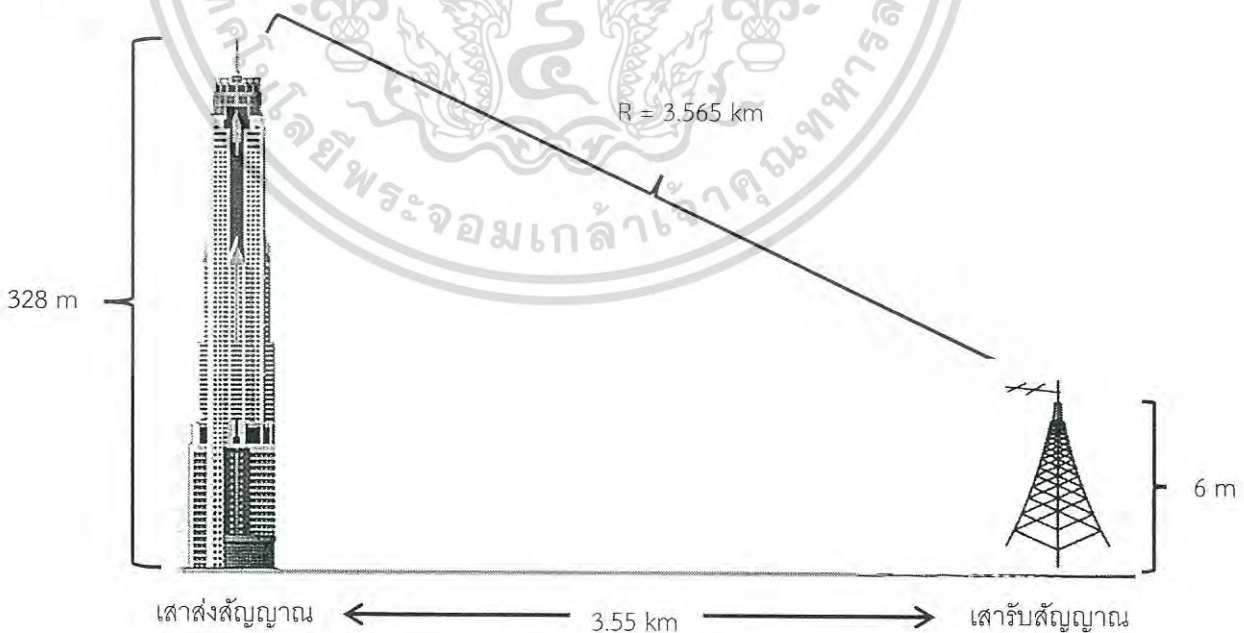
#### 2. ระยะห่างระหว่างจุดวัดแต่ละจุด 60 เซนติเมตร

3. จำนวนจุดวัดรวมทั้งหมด 100 จุด (โดยทำการวัดตำแหน่งเช่นเดียวกันทุกจุดเหมือนกันทั้งหมด 5 MUX)

4. ความสูงเสาส่งสัญญาณกรุงเทพ (ตึกใบหยก2) 328 เมตร มีพิกัด Longitude 100.540270 และ Latitude 13.754300

5. ตั้งเสารับสัญญาณสูง 6 เมตร ที่บริเวณลานหน้าสำนักข่าวกรมประชาสัมพันธ์ (National News Bureau of Thailand)

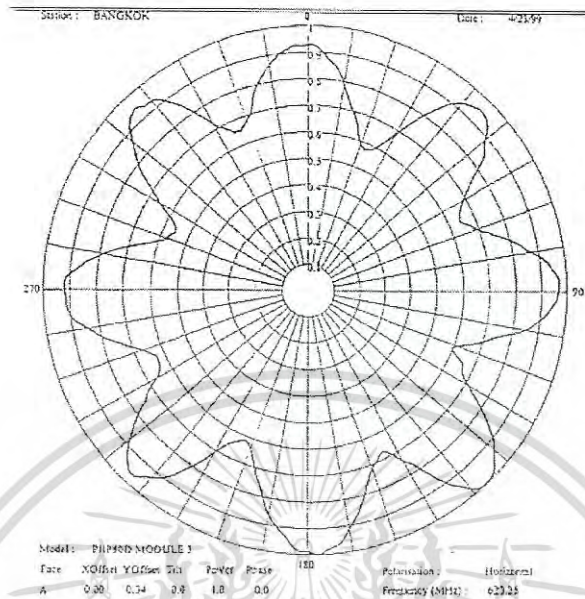
6. ระยะห่างจากเสาส่งสัญญาณ ถึงเสารับสัญญาณ 3.55 กิโลเมตร ทำมุม 280 องศา แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ภาพรวมการส่งและรับสัญญาณ

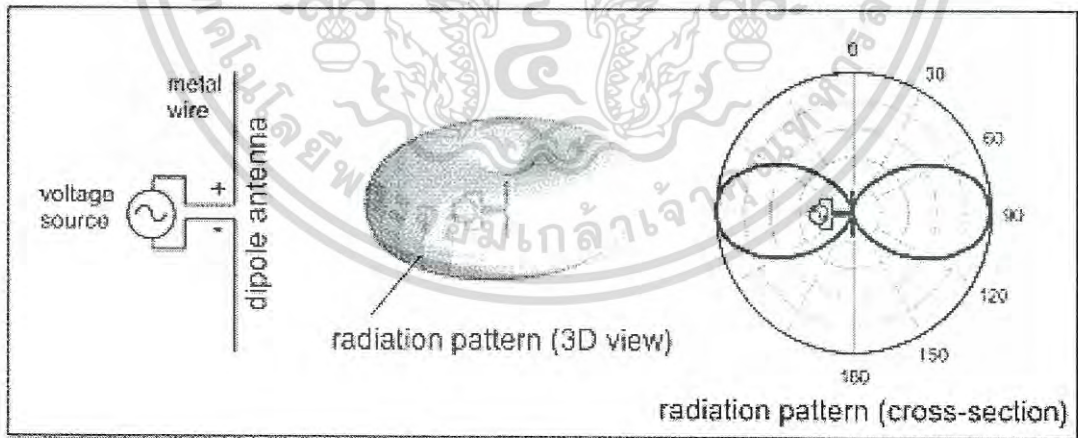
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สายอากาศส่งของกรุงเทพมหานคร ใช้กำลังส่ง 4 กิโลวัตต์ มีกำลังขยาย 14.31 dBd มีรูปแบบการแพร่กระจายของสัญญาณในแนวนอนตั้งรูป 3.10 และทำมุมก้ม 0.3 องศา



รูปที่ 3.10 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศส่ง [15]

8. สายอากาศรับ ใช้สายอากาศไดโพล (จากตั้งรูป 3.11 จะเป็นรูปแบบแนวตั้ง) แต่ในการวัดใช้งานจริงจะตั้งวัดให้มีโพลาไรซ์แบบแนวนอนในการรับสัญญาณเช่นเดียวกับสายอากาศส่ง



รูปที่ 3.11 รูปแบบการแพร่กระจายของสัญญาณรับ [16]

9. ค่าที่ใช้ในการตั้งค่าวัดสัญญาณในแต่ละ MUX ซึ่งเป็นข้อมูลจากช่องความถี่ที่ใช้ใน กรุงเทพฯ และข้อมูลประกอบของสายอากาศที่ใช้งาน แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าที่ใช้ในการตั้งค่าวัดสัญญาณแต่ละ MUX

MUX	Channel	Frequency (MHz)	Antenna Factor (dB)	Cable loss (dB)	Gain (dBi)
1	26 - NBT	514	22.7	0.5	1.7
2	36 - TV5	594	24.4	0.5	1.3
3	40 - MCOT	626	24.8	0.5	1.3
4	44 - TPBS	658	25.2	0.5	1.3
5	52 - TV5(New)	722	26.1	0.5	1.3

สามารถดูค่าเพิ่มเติมเกี่ยวกับสายอากาศนี้ในภาคผนวก ก.



## บทที่ 4

### การวัดช่องสัญญาณและผลการวัด

#### 4.1. ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมสถานที่และอุปกรณ์การวัด
2. ติดตั้งอุปกรณ์ และทำการวัดสัญญาณ
3. บันทึกผล
4. นำผลที่ได้ไปคำนวณ field strength ในหน่วย dBuV/m ตามสมการที่ (1)
5. วิเคราะห์และสรุปผล

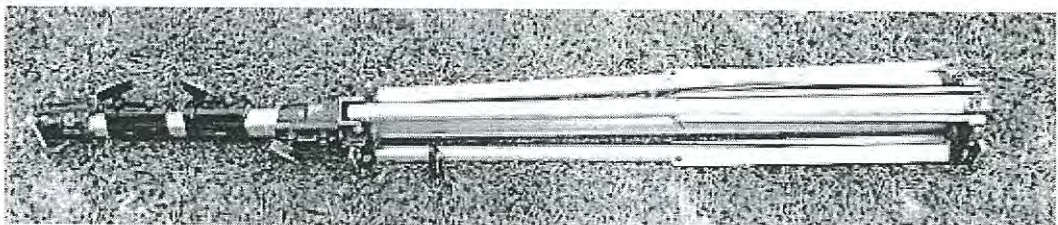
#### 4.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดสัญญาณ BROADCAST ANALYZERS ของ ROVER HD PROTAB ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ROVER HD PROTAB

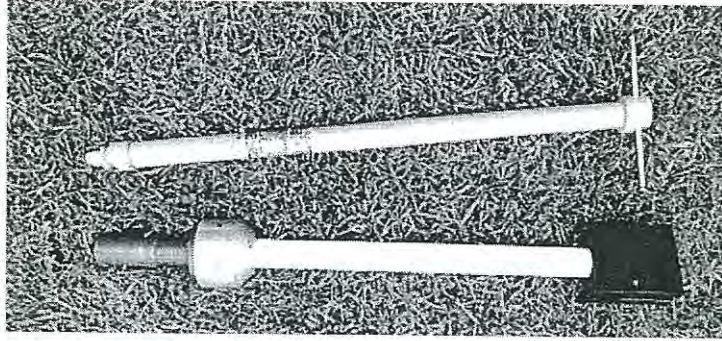
2. เสาตั้งสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เสาตั้งสูง 6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สายอากาศ Dipole ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สายอากาศ Dipole

4. ไม้บรรทัดปรับระยะความยาวสายอากาศตามความถี่ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ไม้บรรทัดปรับระยะความยาวสายอากาศตามความถี่

5. สาย coaxial cable RG-214 (50 ohm) ยาว 10 เมตร ดังรูปที่ 4.5

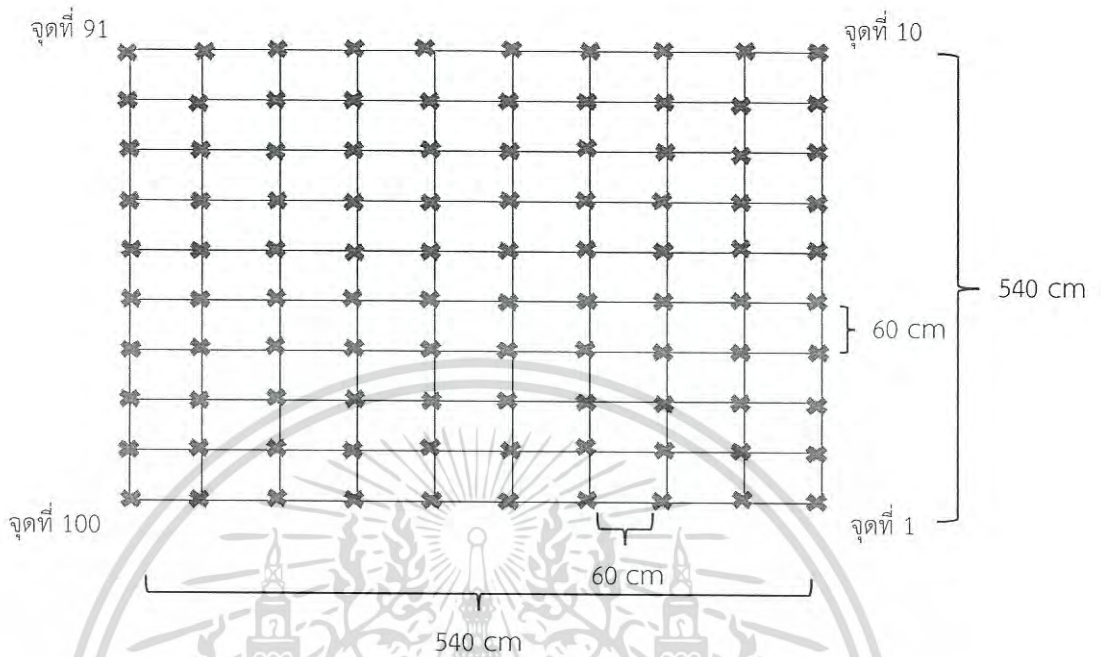


รูปที่ 4.5 สาย RG-214

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

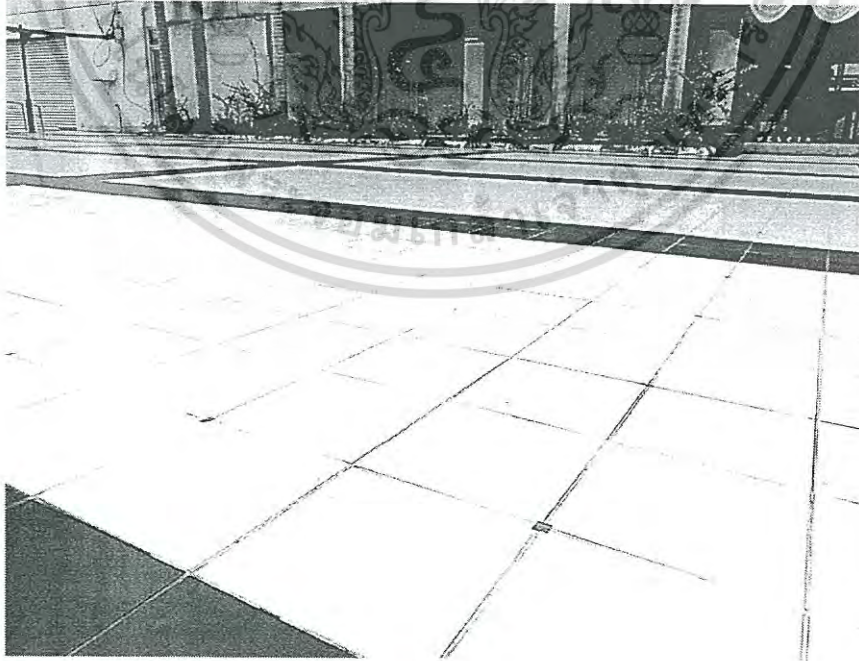
### 4.3. การติดตั้งอุปกรณ์ และการทำการวัดสัญญาณ DVB-T2

1. วัดระยะของตำแหน่งจุดที่ต้องการวัดทดสอบสัญญาณบริเวณสนาม ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งจุดวัดสัญญาณ

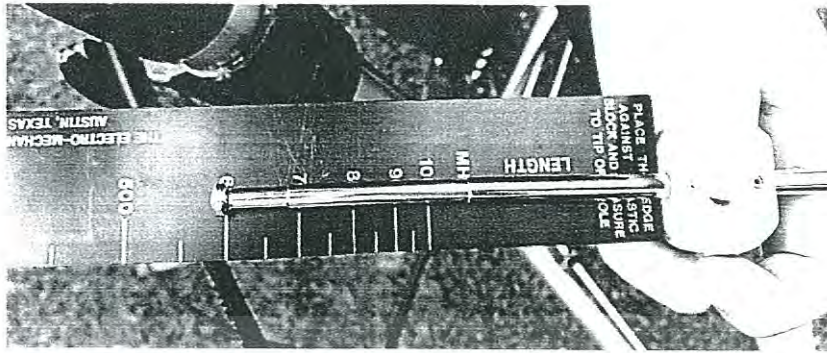
2. กำหนดตำแหน่งจุดการวัด ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สถานที่วัดสัญญาณ

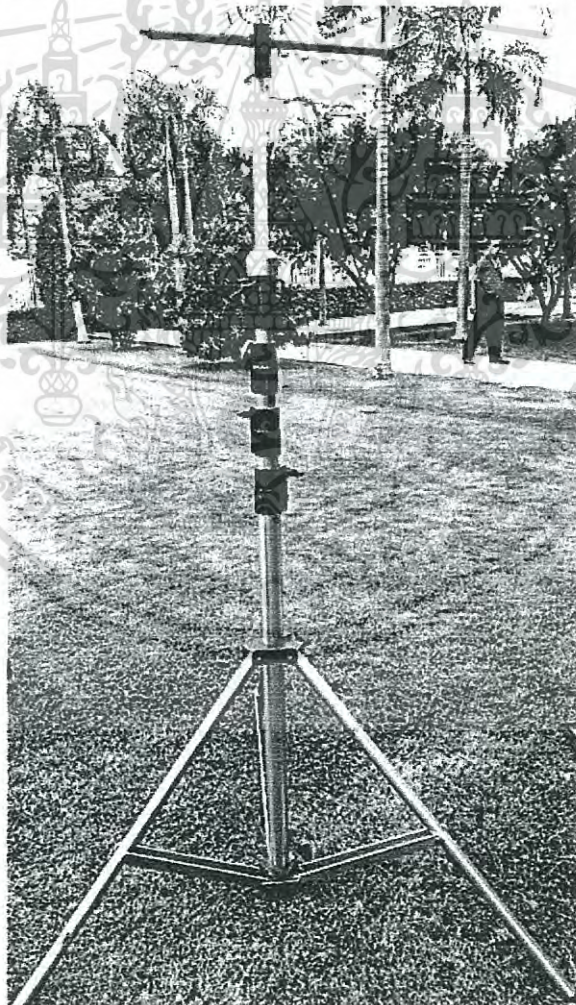
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 34 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปรับความยาวสายอากาศ Dipole ตามความถี่ของแต่ละ MUX ที่ทำการวัดโดยใช้ไม้บรรทัดวัดความยาวตามความถี่ที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ปรับความยาวสายอากาศ Dipole ตามความถี่ของแต่ละ MUX

4. ประกอบสายอากาศ เข้ากับเสาขาตั้งดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ประกอบสายอากาศ เข้ากับเสาขาตั้ง

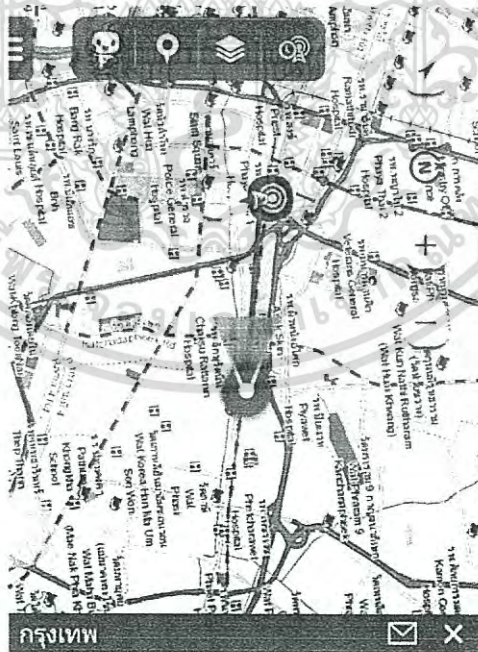
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ต่อด้ายเข้ากับเครื่องวัด และสายอากาศ (โดยวางสายอากาศรับสัญญาณแนวนอน)  
จากนั้นทำการปรับเสาวัดสัญญาณให้มีความสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ติดตั้งเสาวัดสัญญาณสูง 6 เมตร

6. หมุนหาตำแหน่งการรับสัญญาณจากตึกใบหยก ดังรูปที่ 4.11



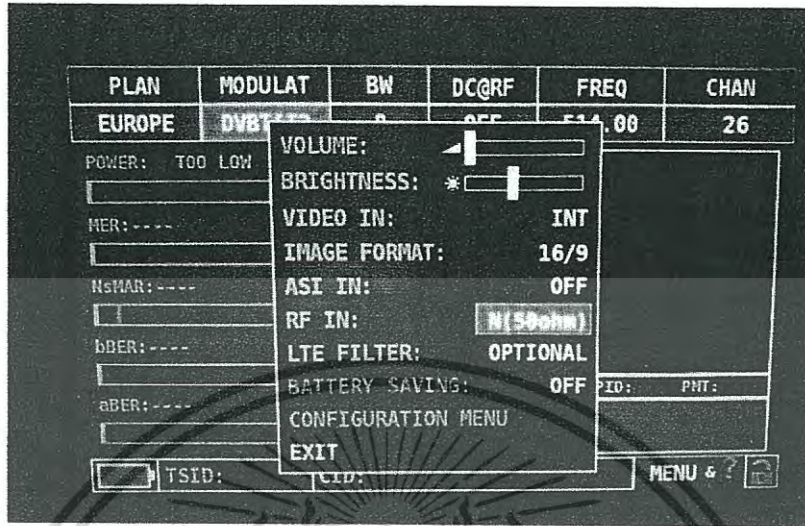
กรุงเทพฯ  
ระยะห่าง 3.55 กม.  
มุมเทียบกับทิศเหนือ 280°  
ดูรายละเอียดเพิ่มเติม

รูปที่ 4.11 ทิศทางจากเครื่องส่งถึงตำแหน่งของเสารับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

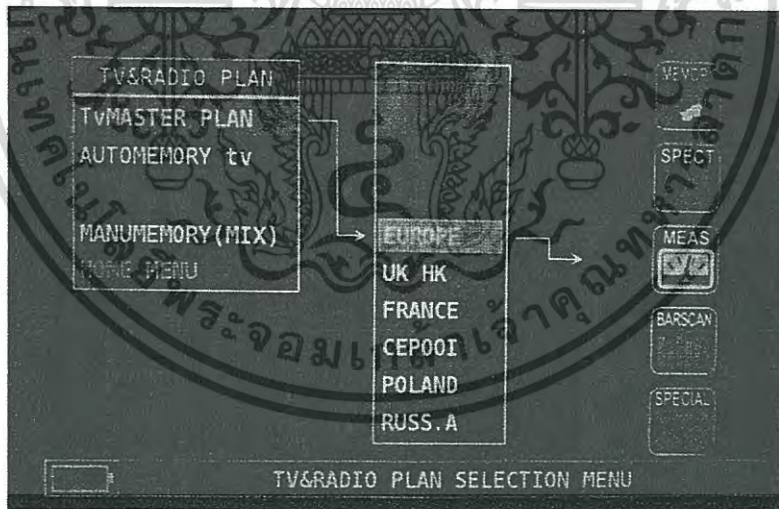
7. เปิดเครื่องวัดสัญญาณ ตั้งค่าดังนี้

7.1. กดปุ่ม configuration เลือก RF IN เป็น 50 โอห์ม ดังรูปที่ 4.12



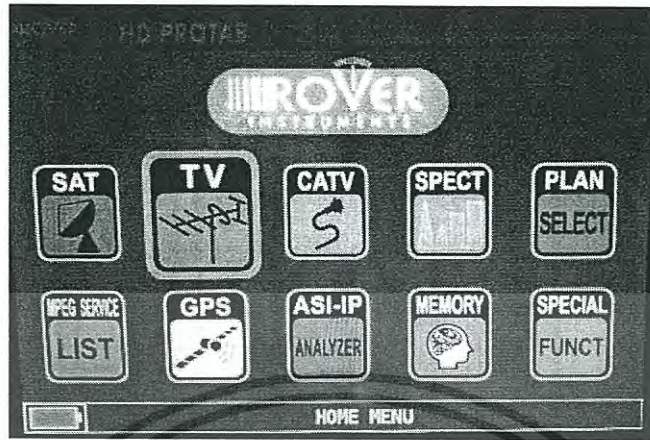
รูปที่ 4.12 เลือก RF IN เป็น 50 โอห์ม

7.2. เลือก PLAN Select > TvMASTER PLAN > EUROPE > MEAS ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 TvMASTER PLAN

7.3. เลือก TV ดังรูปที่ 4.14 ตั้ง MODULAT เป็น DVBT&T2 และ ตั้งค่าความถี่หรือช่องสัญญาณตาม MUX สัญญาณที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.15 (โดยค่าความถี่กำหนดในตารางที่ 3.1)

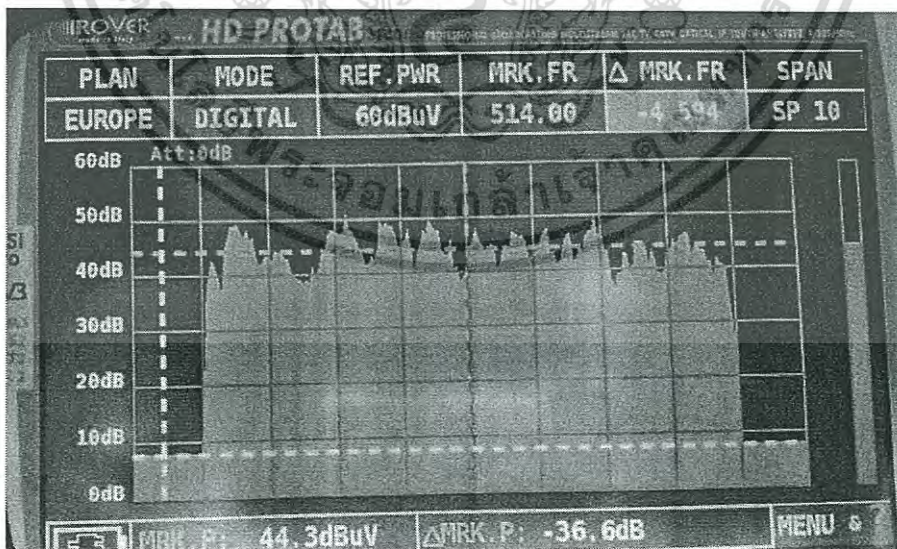


รูปที่ 4.14 เลือกเข้าสู่โหมดการวัด

PLAN	MODULAT	BW	DC&RF	FREQ	CHAN
EUROPE	DVBT&T2	8	OFF	514.00	20

รูปที่ 4.15 การตั้งพารามิเตอร์ช่องสัญญาณ

7.4. เข้าหน้าต่าง Spectrum เพื่อดูค่าสัญญาณ ดังรูป 4.16



รูปที่ 4.16 สเปกตรัมมาร์คของช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 38๘ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นบันทึกค่า ดังนี้

- 1) เลือก SPECIAL FUNCT > Drive test
- 2) ตั้งค่าเป็น DVB-T2, Bandwidth 8 MHz, Frequency ตามตารางที่ 3.1 เลือก Sampling time > Manual
- 3) ต่อแฟลชไดรฟ์ แล้วตั้งชื่อไฟล์ กด Enter เพื่อเริ่มการบันทึก
- 4) ย้ายเสาวิทยุสัญญาณไปตามจุดแต่ละจุดต่อไปจนครบ 100 จุด
- 5) กด Enter อีกครั้งเมื่อต้องการหยุดบันทึก

7.5. ทำการวัดตามข้อที่ 7.4. แต่เปลี่ยนความยาวสายอากาศ Dipole ตามความถี่แต่ละ MUX และบันทึกค่าทั้งหมดจนครบทั้ง 5 MUX

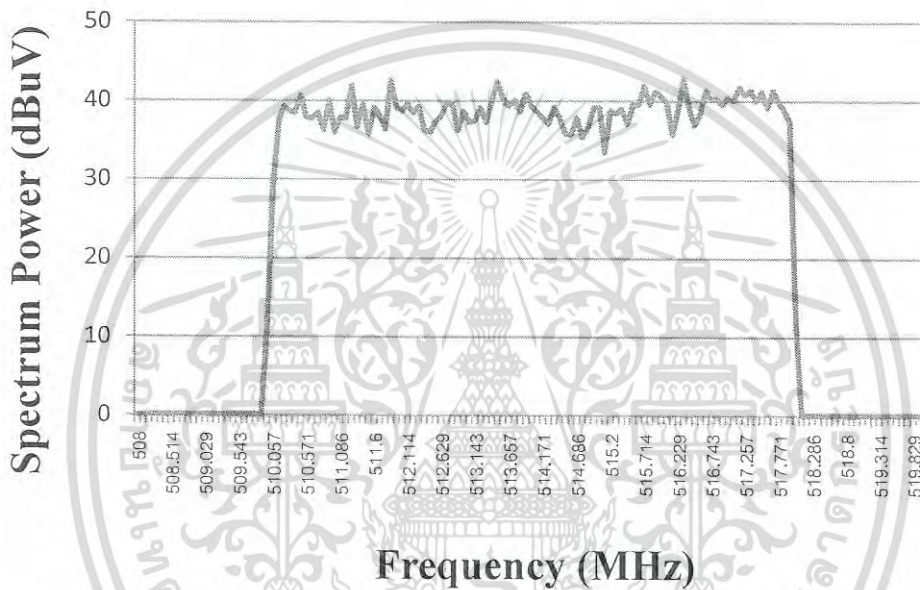


#### 4.4. ผลการวัดสัญญาณ DVB-T2

ค่าสเปกตรัมตามจุดต่างๆทั้งหมด 100 จุด ในแต่ละ MUX แล้วเลือกพล็อตกราฟของค่าสเปกตรัม แบ่งเป็น ช่วงจุดที่ 1-20, 21-40, 41-60, 61-80 และ 81-100 โดยเลือกจุดที่มีค่าเฉลี่ยกำลังงานสเปกตรัมมากที่สุดมาหนึ่งจุดจากในแต่ละช่วง จะได้ผลการวัดแต่ละ MUX ดังนี้

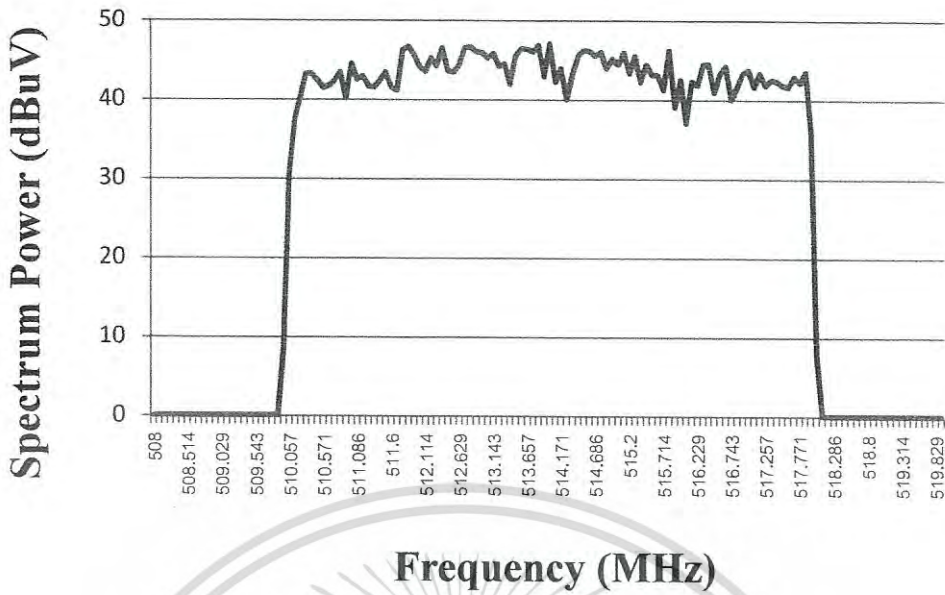
1. MUX ที่ 1 ช่อง 26 NBT ความถี่ 514 MHz

พบว่าค่าสเปกตรัมที่ได้มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 38 dBuV โดยแต่ละช่วงมีค่าเฉลี่ย 38.1515, 42.6210, 42.2494, 39.4978 และ 43.6400 dBuV ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ถึง 4.21 ตามลำดับ

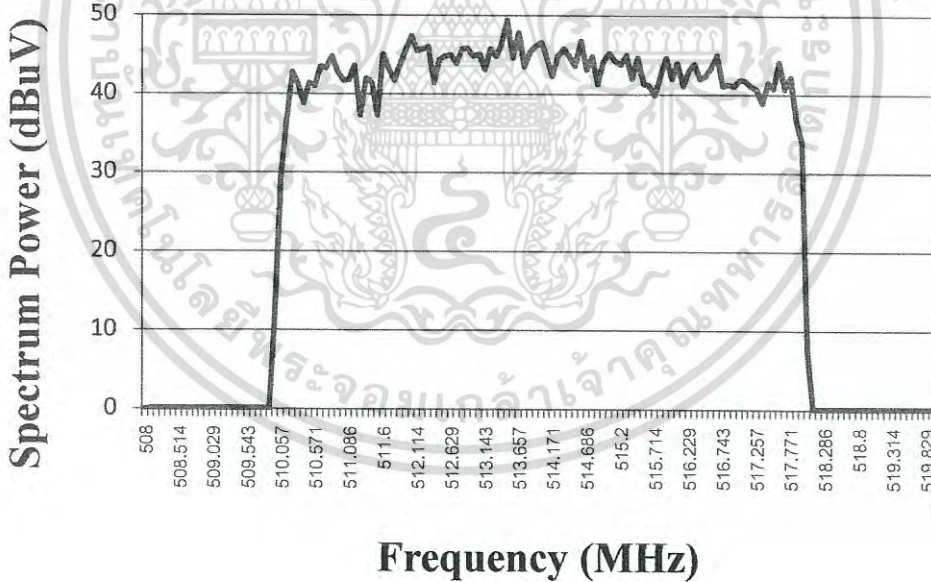


รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 40 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

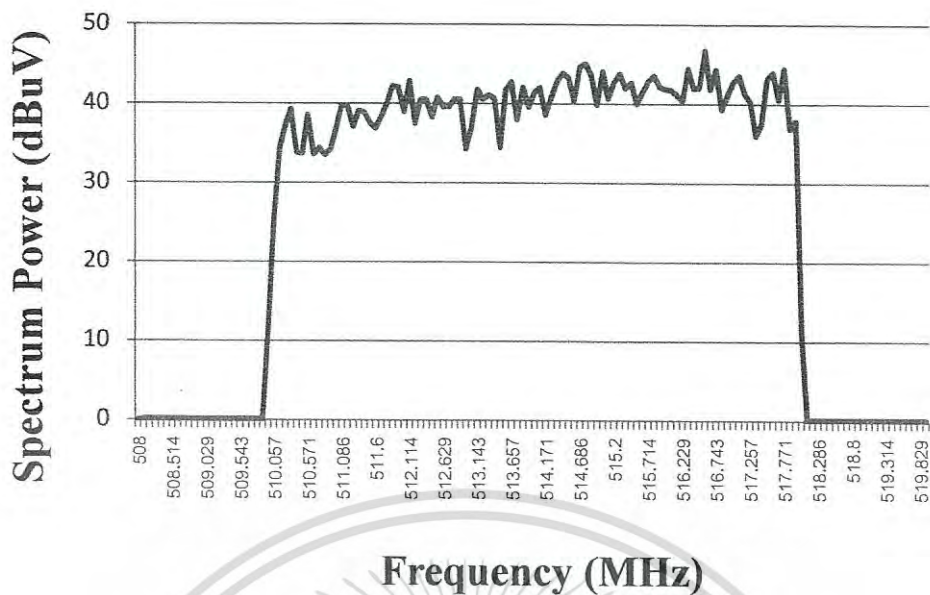


รูปที่ 4.18 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 1

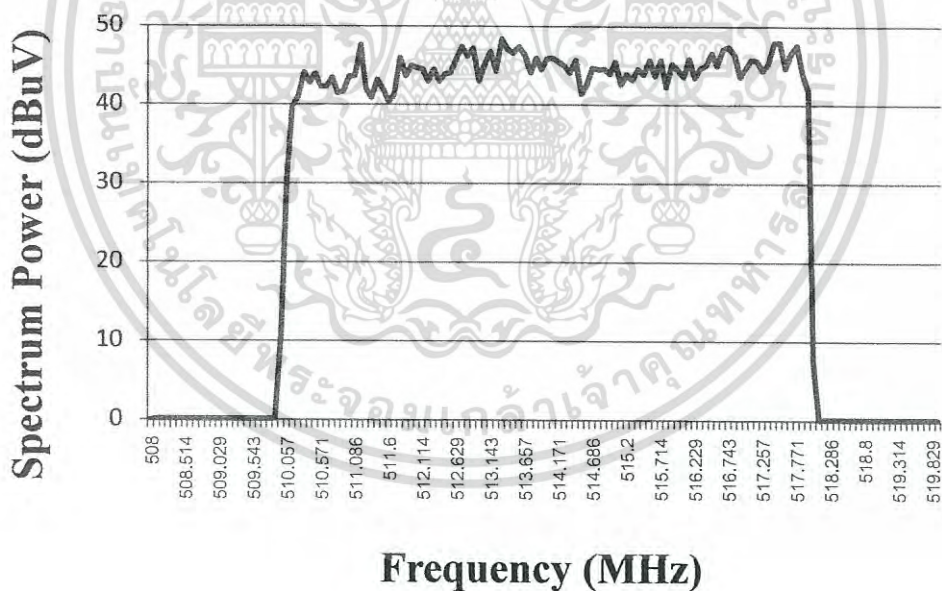


รูปที่ 4.19 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



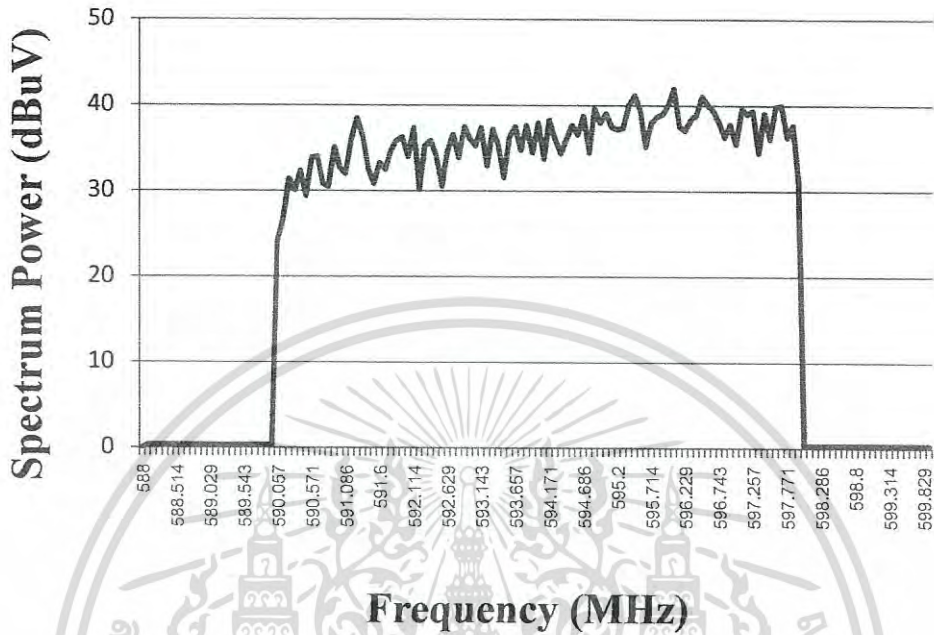
รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 1



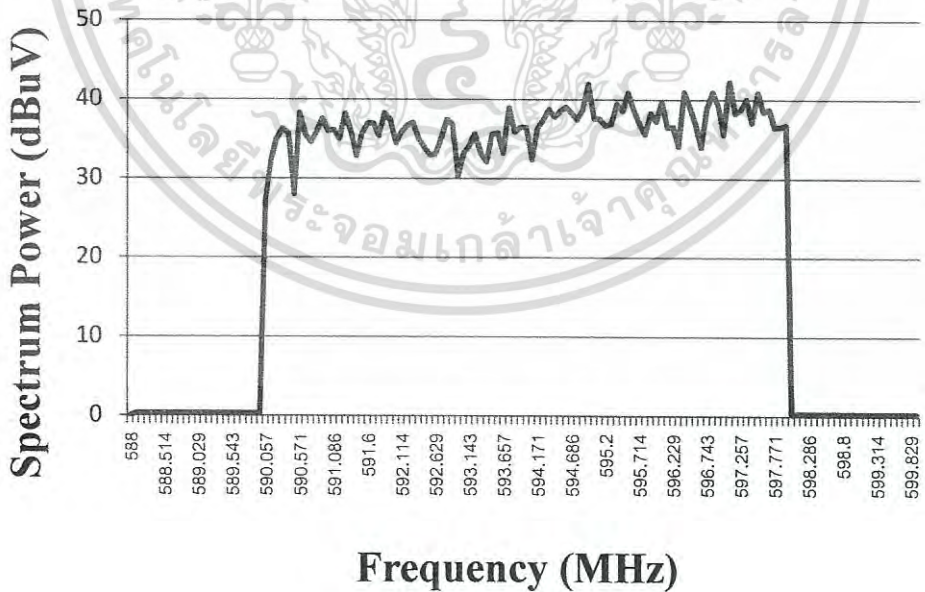
รูปที่ 4.21 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 1

2. MUX ที่ 2 ช่อง 36 ช่อง TV5 ความถี่ 594 MHz

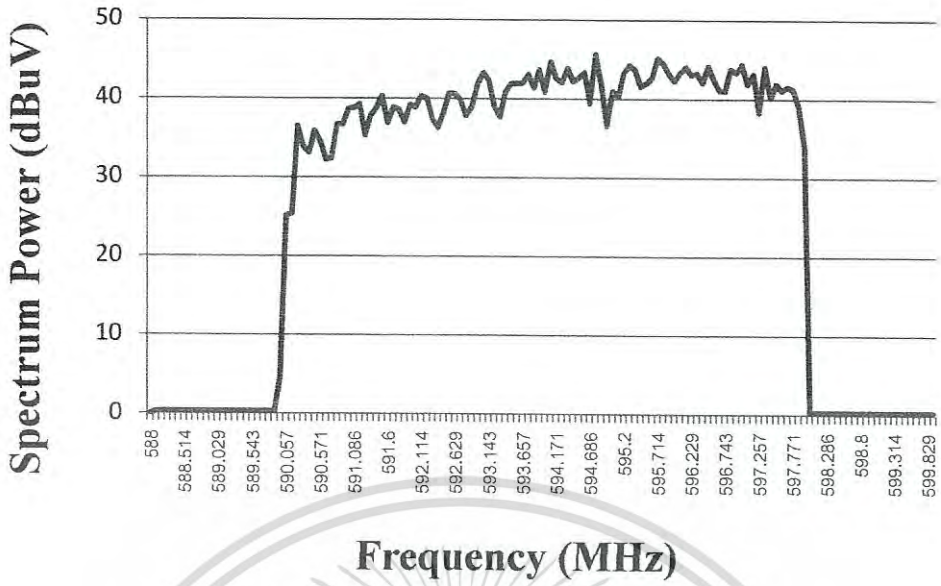
พบว่าค่าสเปกตรัมที่ได้มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 35 dBuV โดยแต่ละช่วงมีค่าเฉลี่ย 35.1494, 35.2968, 39.3473, 38.9326 และ 37.7884 dBuV ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ถึง 4.26 ตามลำดับ



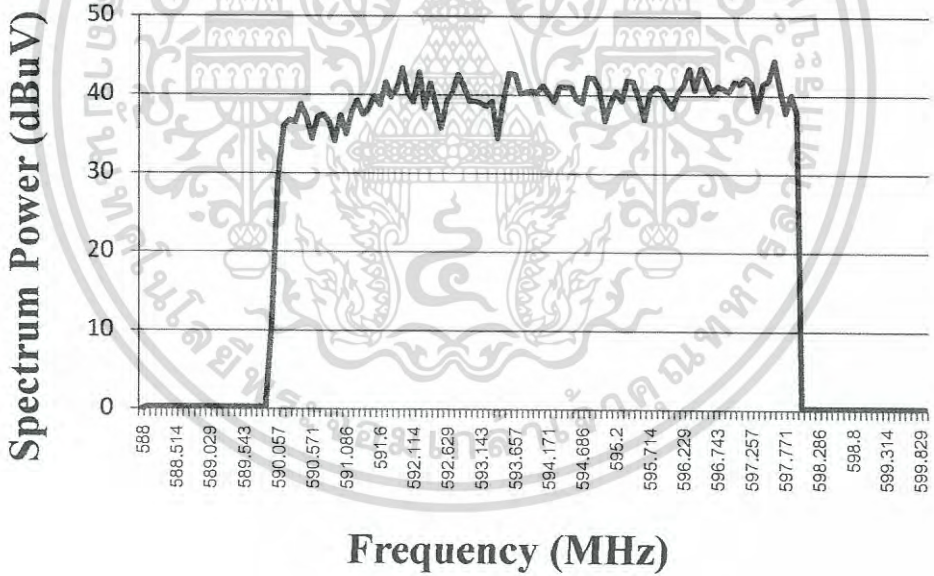
รูปที่ 4.22 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 2



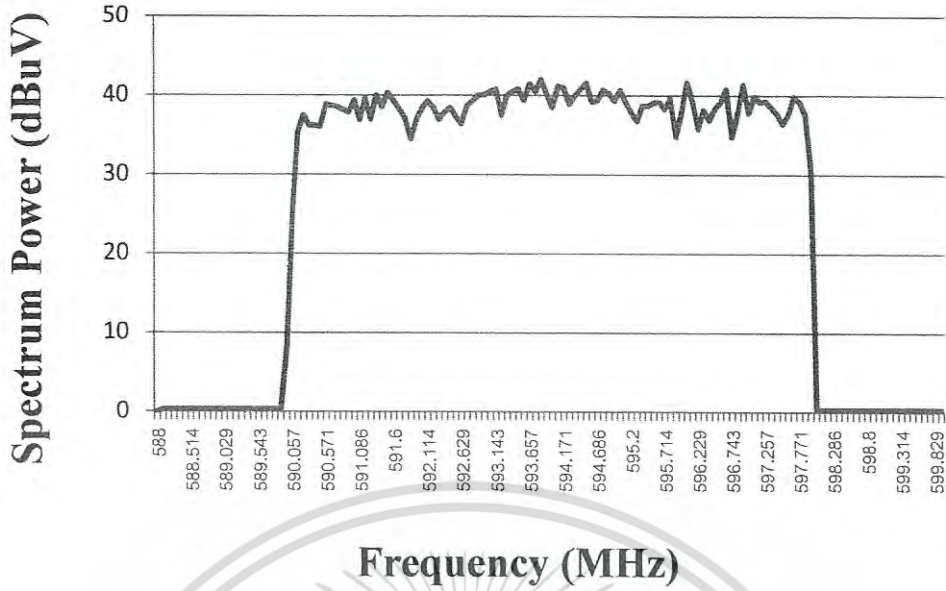
รูปที่ 4.23 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 2



รูปที่ 4.24 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 2



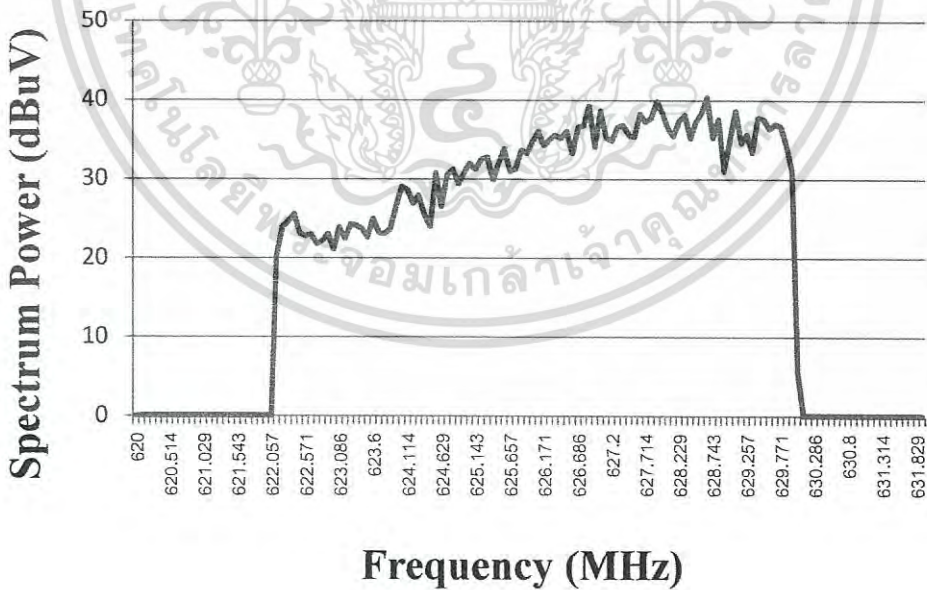
รูปที่ 4.25 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 2



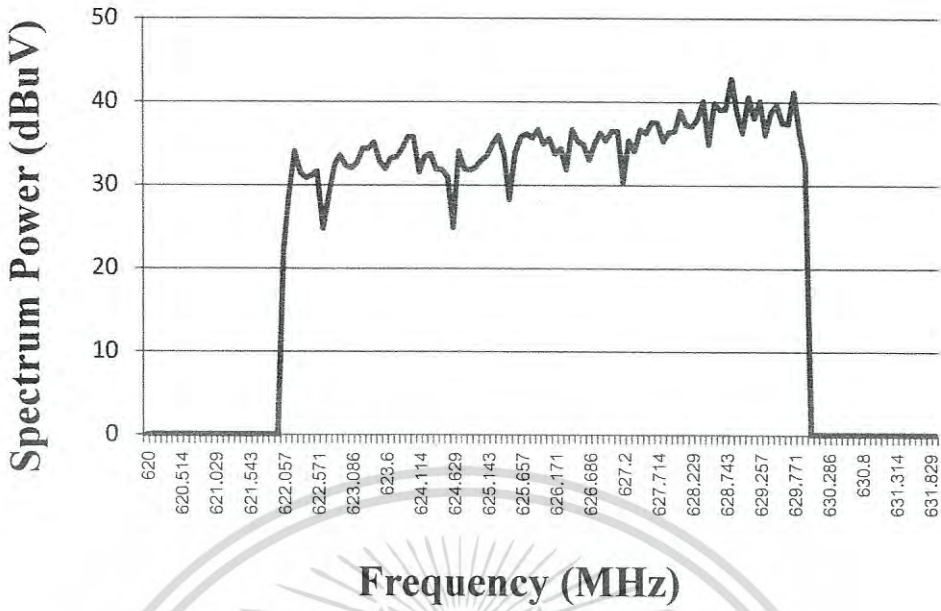
รูปที่ 4.26 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 2

3. MUX ที่ 3 ช่อง 40 ช่อง MCOT ความถี่ 626 MHz

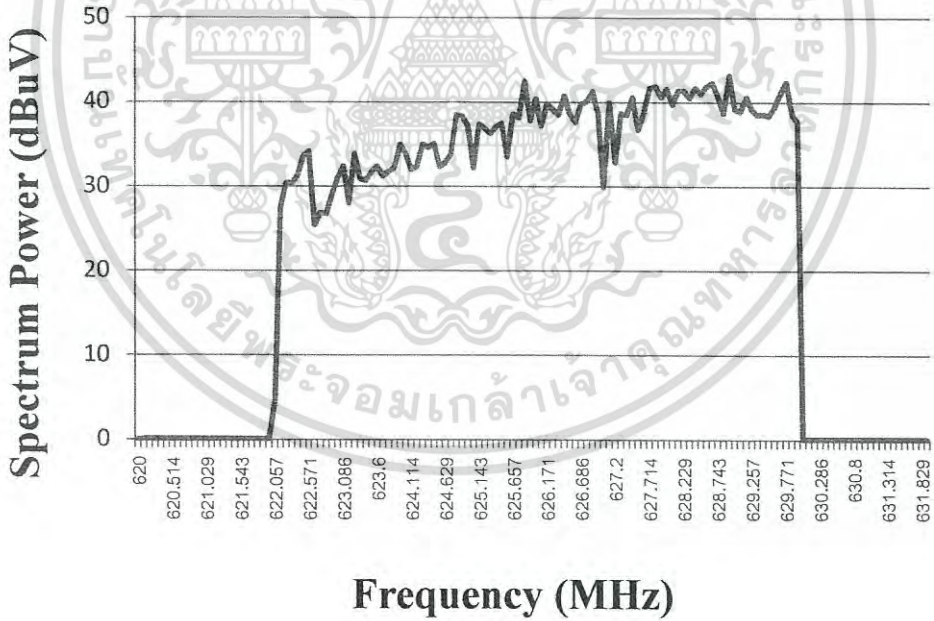
พบว่าค่าสเปกตรัมที่ได้มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 30 dBuV โดยแต่ละช่วงมีค่าเฉลี่ย 30.7189, 33.9231, 35.4115, 35.1157 และ 35.1200 dBuV ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ถึง 4.31 ตามลำดับ



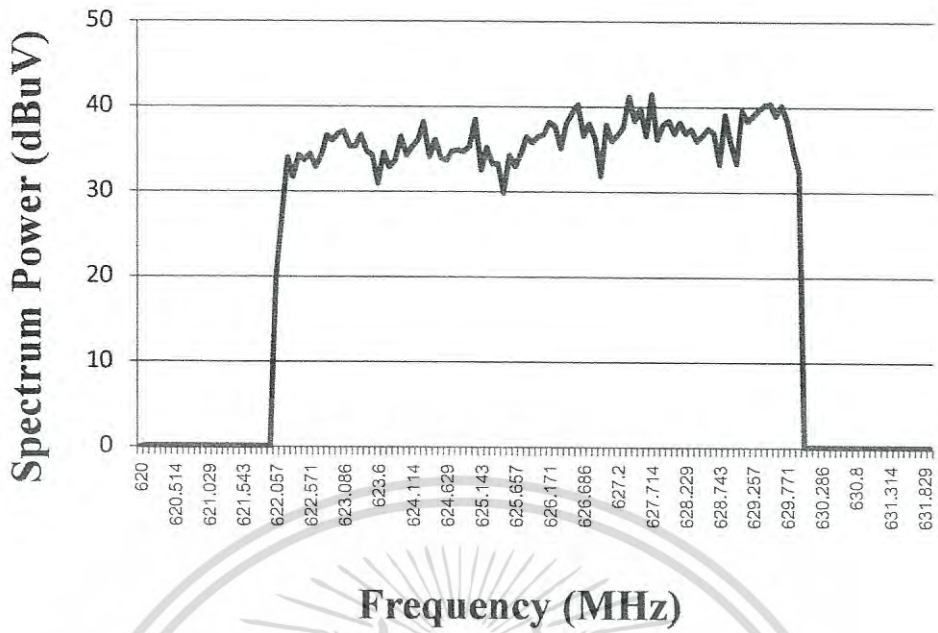
รูปที่ 4.27 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 3



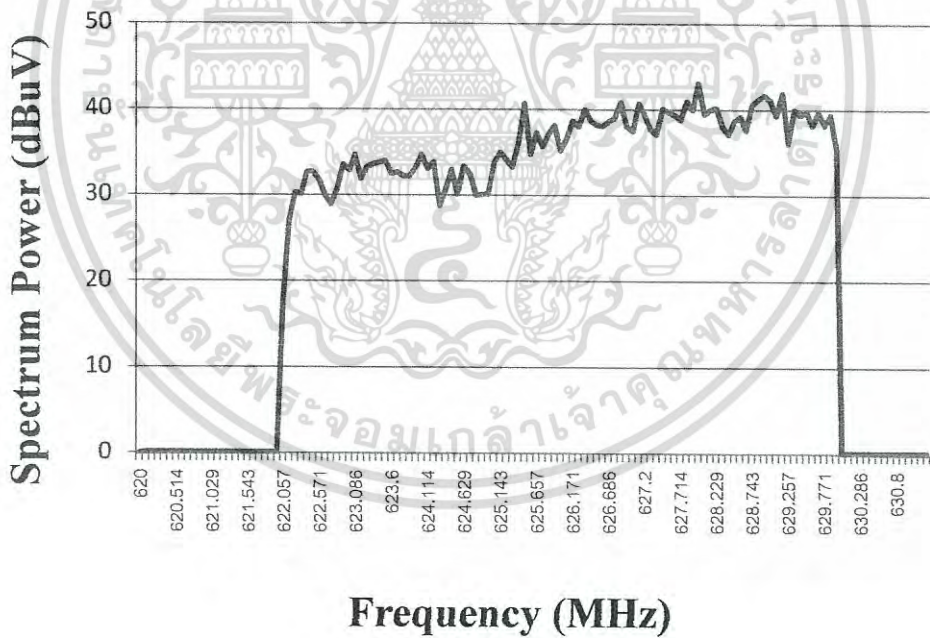
รูปที่ 4.28 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 3



รูปที่ 4.29 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 3



รูปที่ 4.30 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 3

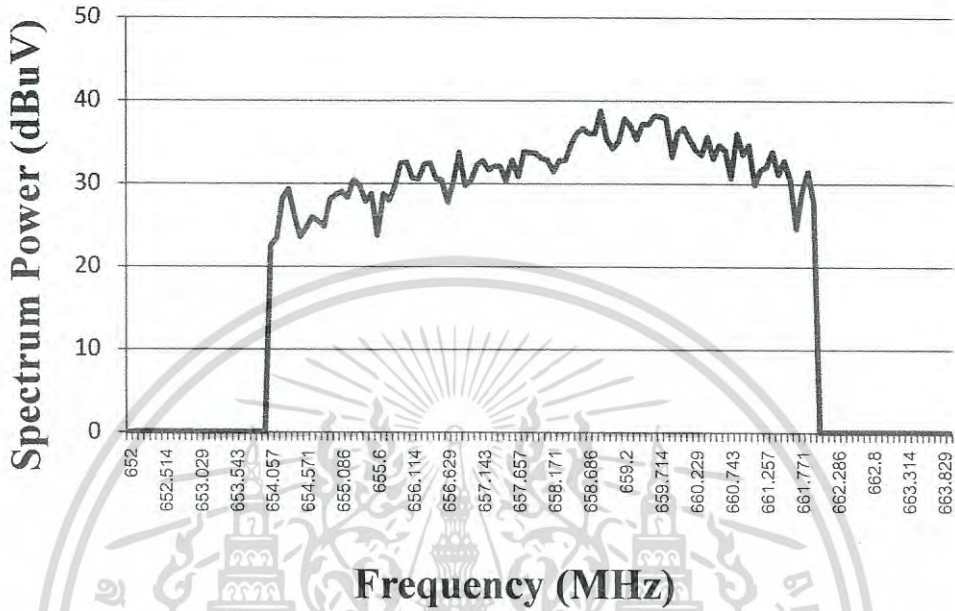


รูปที่ 4.31 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 3

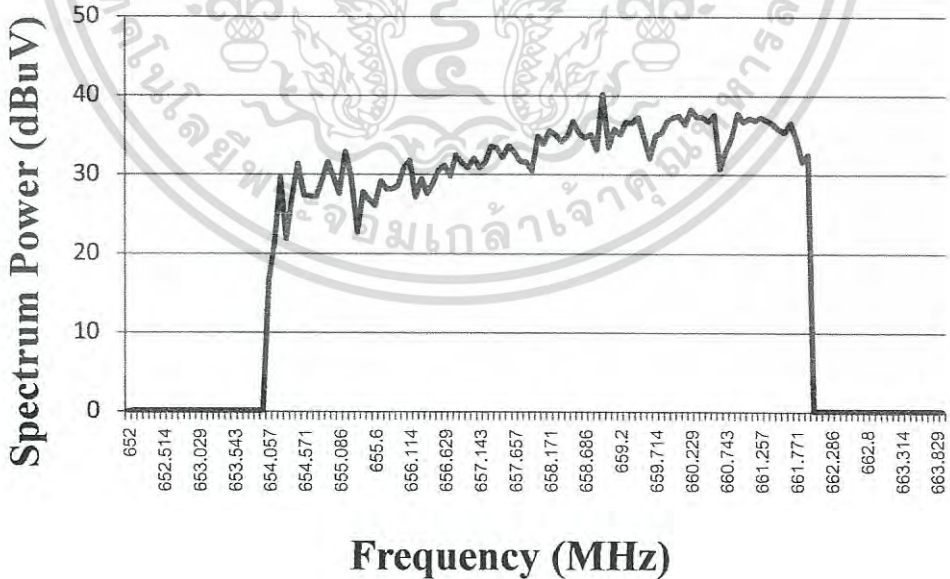
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. MUX ที่ 4 ช่อง 44 ช่อง TPBS ความถี่ 658 MHz

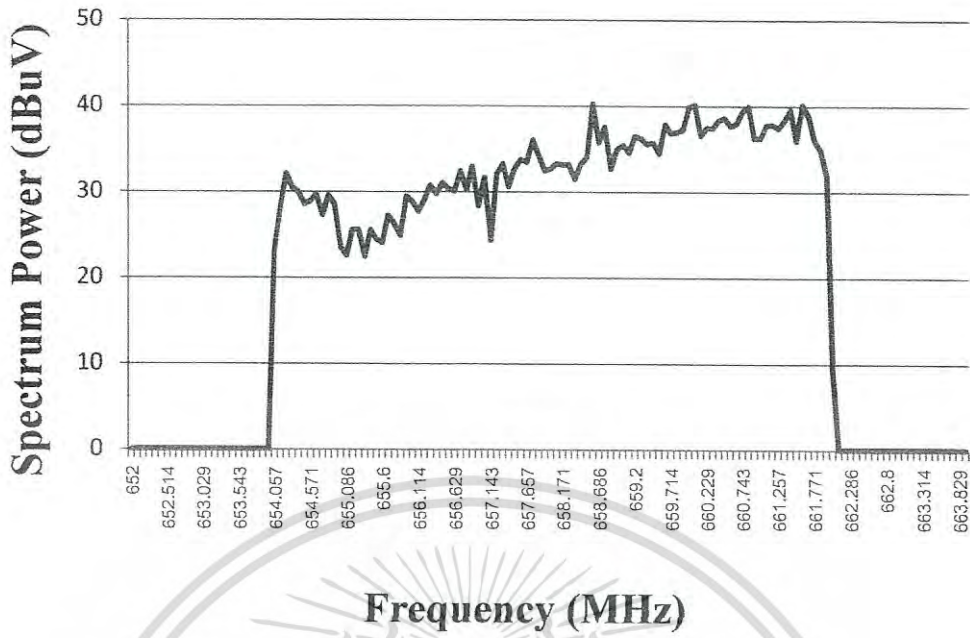
พบว่าค่าสเปกตรัมที่ได้มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 31 dBuV โดยแต่ละช่วงมีค่าเฉลี่ย 31.1610, 31.8000, 32.2263, 33.9094 และ 33.1831 dBuV ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ถึง 4.35 ตามลำดับ



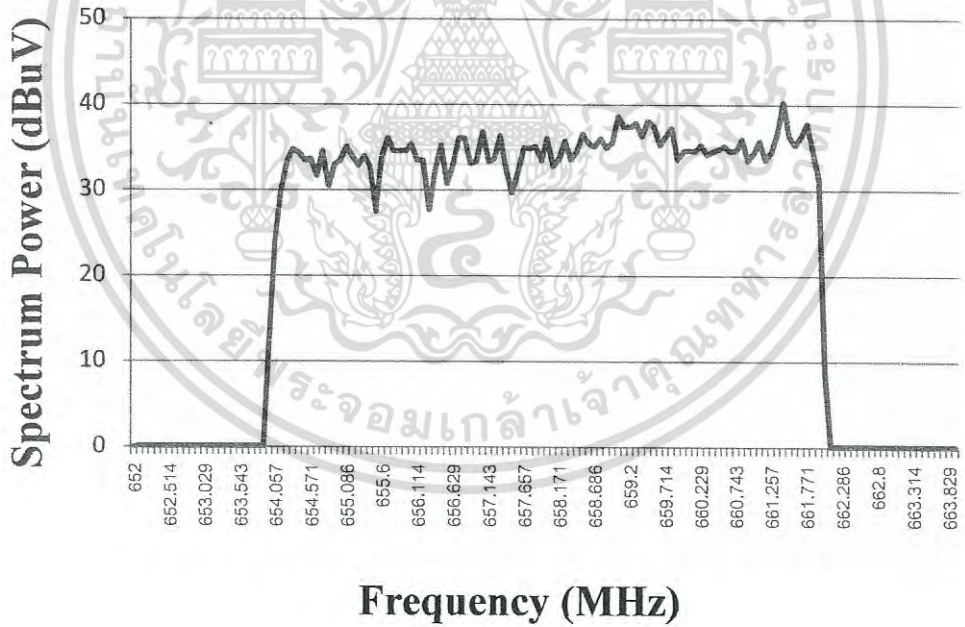
รูปที่ 4.32 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 4



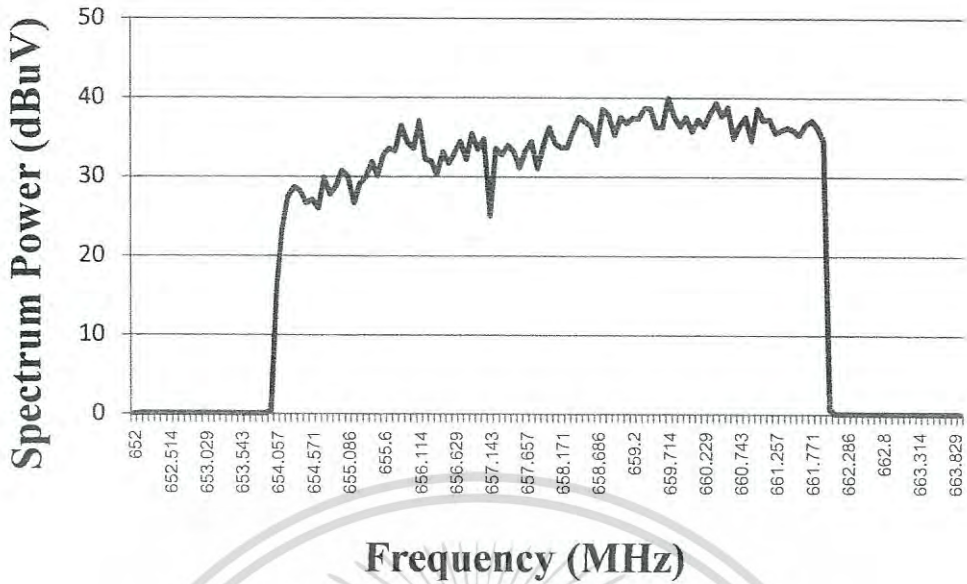
รูปที่ 4.33 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 4



รูปที่ 4.34 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 4



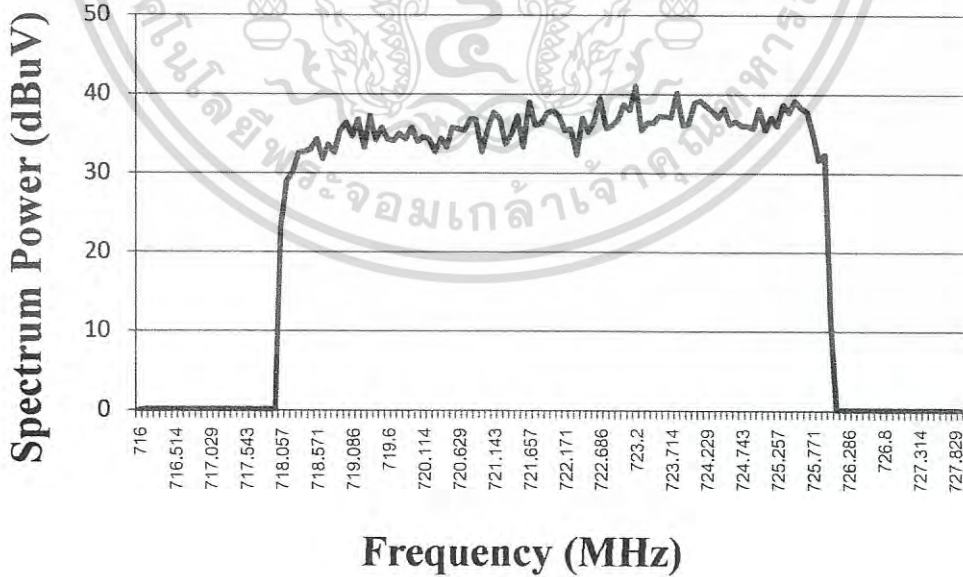
รูปที่ 4.35 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 4



รูปที่ 4.36 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 4

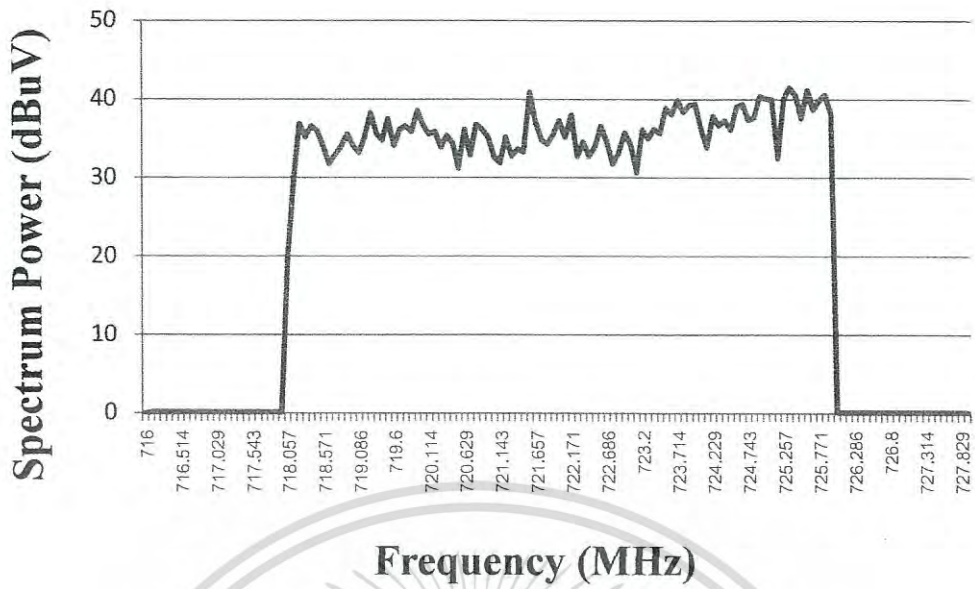
5. MUX ที่ 5 ช่อง 52 ช่อง TV5 (New) ความถี่ 722 MHz

พบว่าค่าสเปกตรัมที่ได้มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 35 dBuV โดยแต่ละช่วงมีค่าเฉลี่ย 35.0463, 35.1263, 38.3084, 39.0673 และ 39.2757 dBuV ดังแสดงในรูปที่ 4.36 ถึง 4.40 ตามลำดับ

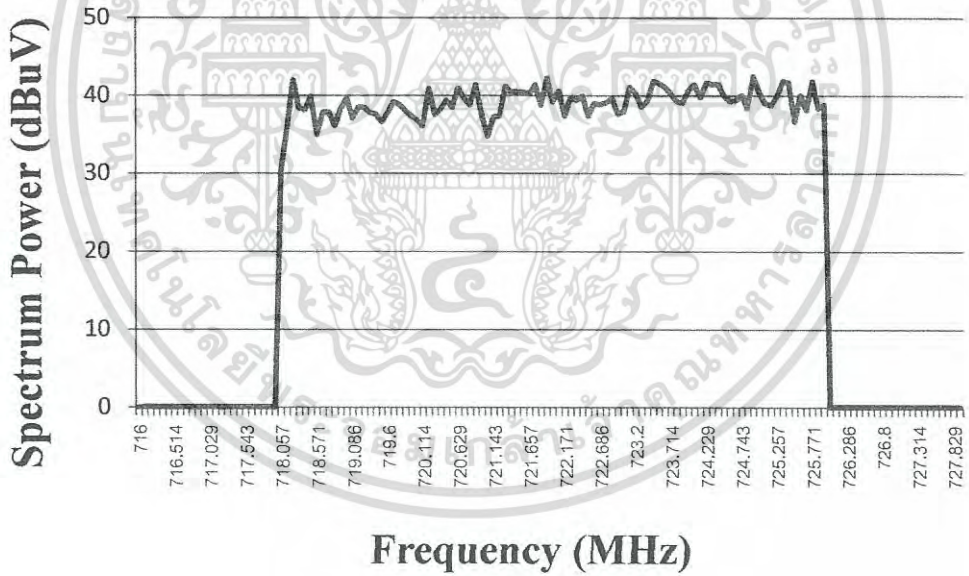


รูปที่ 4.37 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 1-20 ใน MUX ที่ 5

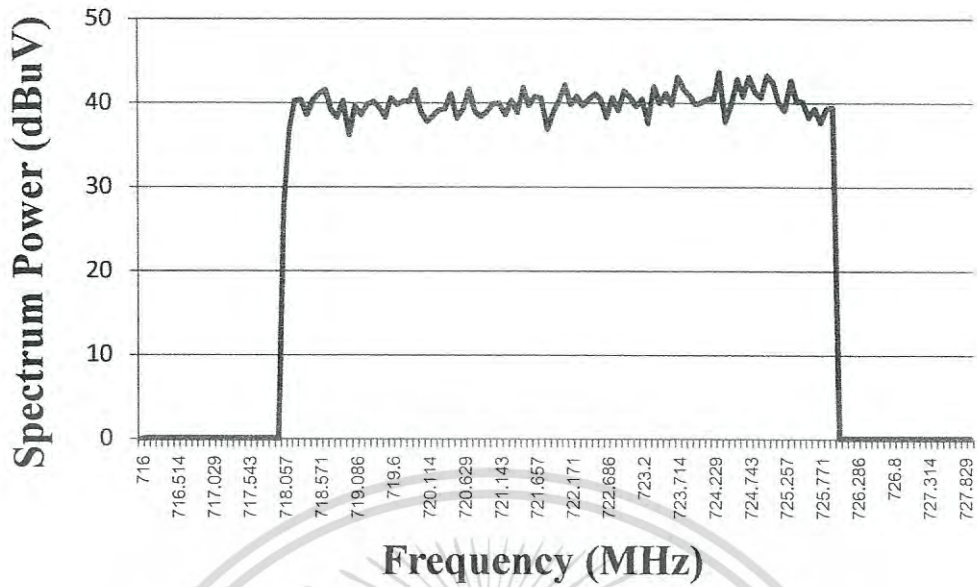
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 50 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



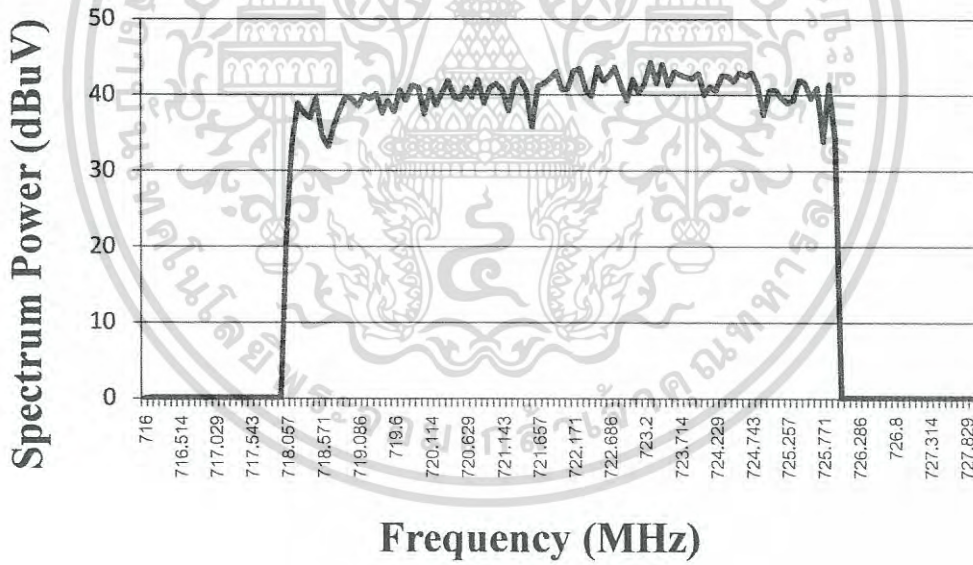
รูปที่ 4.38 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 21-40 ใน MUX ที่ 5



รูปที่ 4.39 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 41-60 ใน MUX ที่ 5



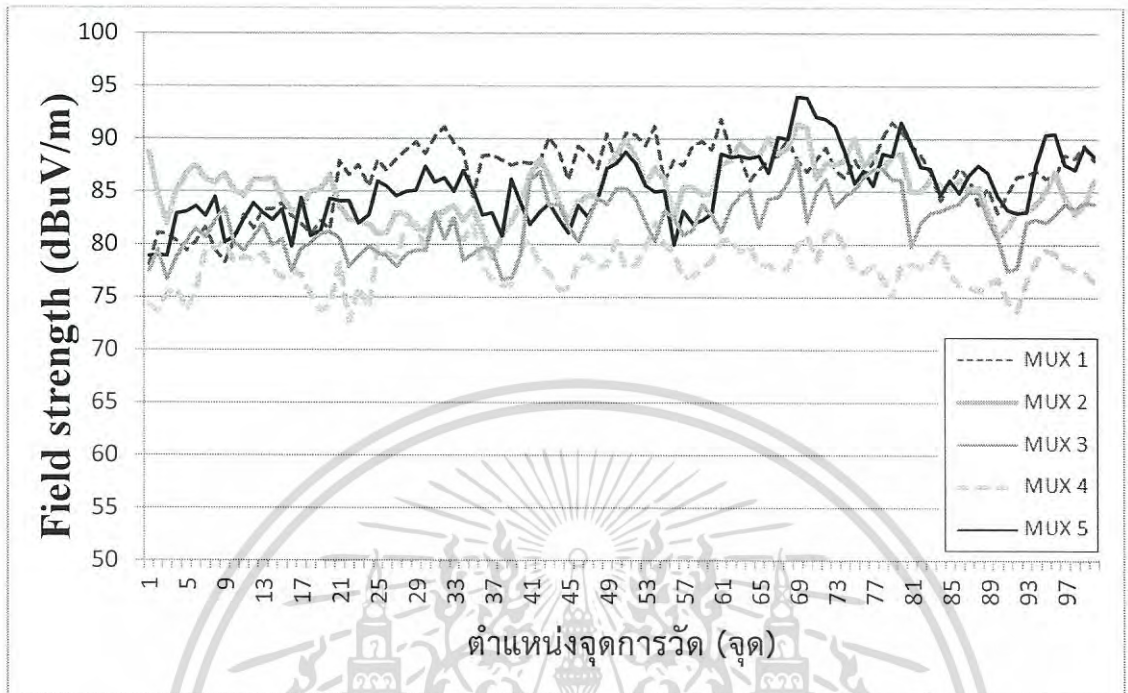
รูปที่ 4.40 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 61-80 ใน MUX ที่ 5



รูปที่ 4.41 สเปกตรัมของจุดที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของช่วงจุดที่ 81-100 ใน MUX ที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 52 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

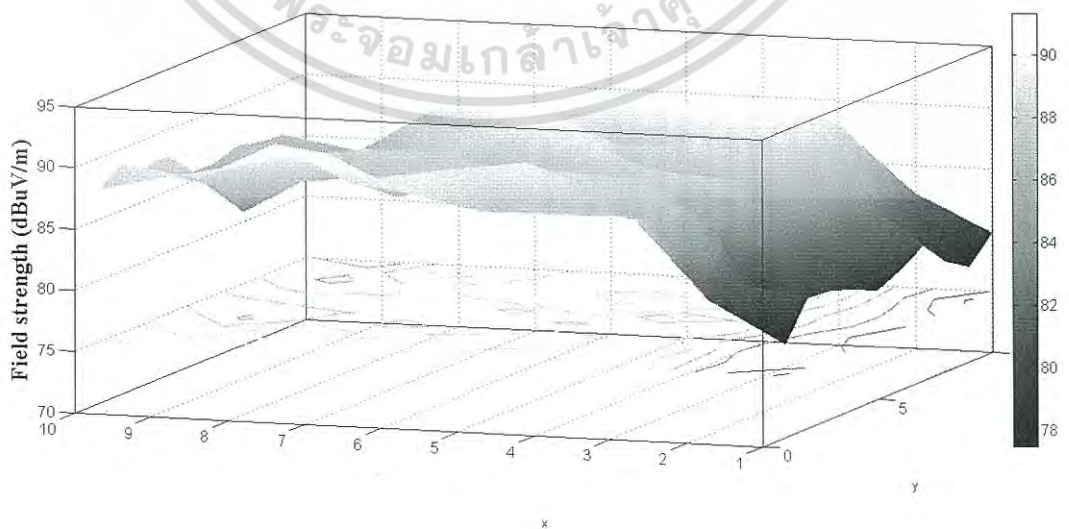
นำค่า Field strength จากจุดต่างๆทั้งหมด 100 จุด ในแต่ละ MUX มาพล็อตกราฟดูความแตกต่างระหว่างตำแหน่งการวัด จะได้ผลการวัดแต่ละ MUX ดังนี้



รูปที่ 4.42 ค่า Field strength จากจุดต่างๆทั้งหมด 100 จุด ในแต่ละ MUX

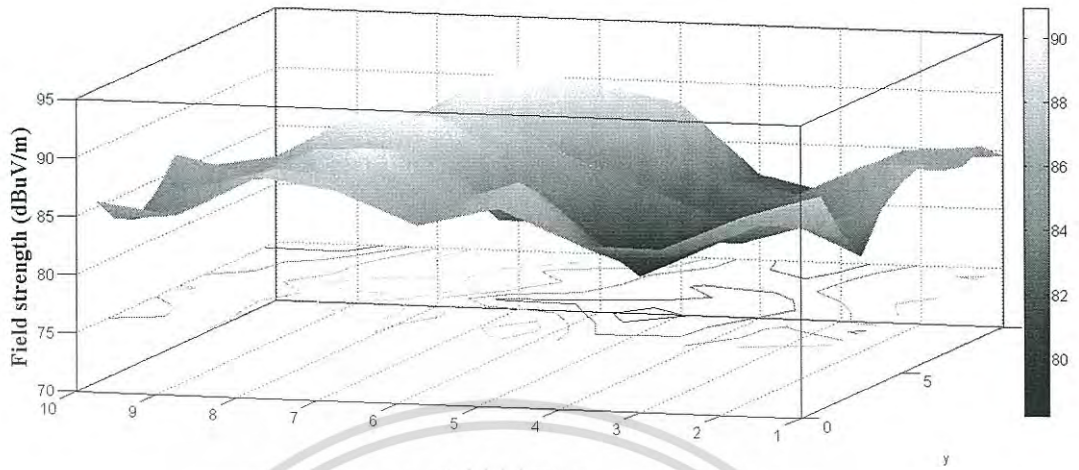
นำค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณในแต่ละ MUX ที่วัดในแต่ละจุดรวม 100 จุด มาพล็อตกราฟแสดงดังรูปสามมิติเพื่อดูภาพรวมของสัญญาณที่ได้รับได้ (กราฟพล็อตตามค่าที่วัดได้ตาม ภาคผนวก ค)

1. MUX ที่ 1 ของ 26 NBT ความถี่ 514 MHz



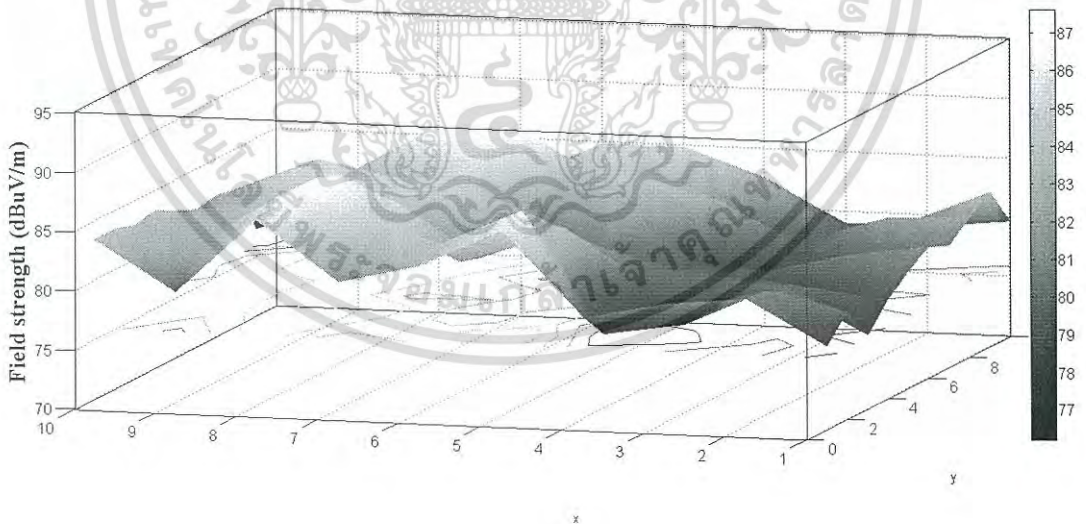
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.43 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 1 มาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 53 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. MUX ที่ 2 ช่อง 36 ช่อง TV5 ความถี่ 594 MHz



รูปที่ 4.44 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 2

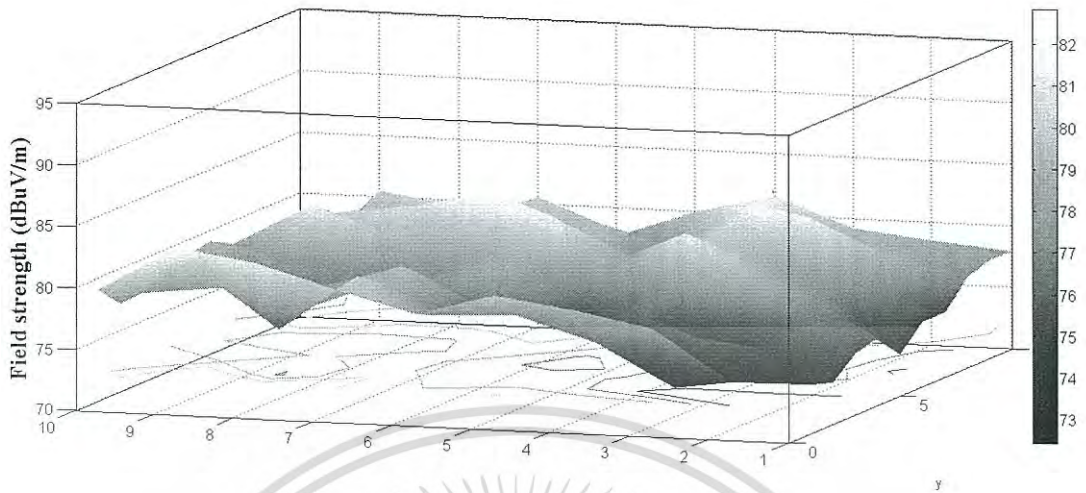
3. MUX ที่ 3 ช่อง 40 ช่อง MCOT ความถี่ 626 MHz



รูปที่ 4.45 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 54 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. MUX ที่ 4 ช่อง 44 ช่อง TPBS ความถี่ 658 MHz



รูปที่ 4.46 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 4

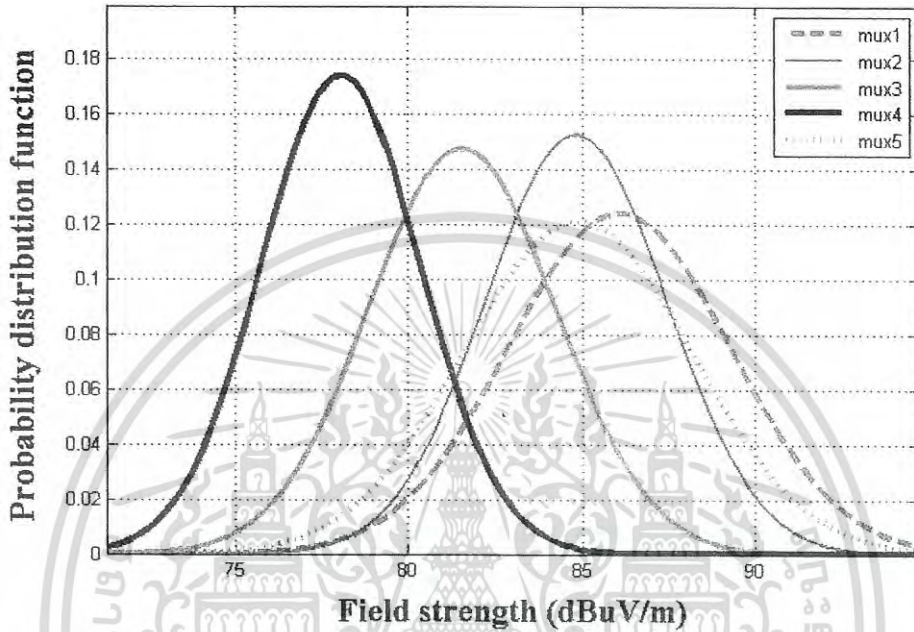
5. MUX ที่ 5 ช่อง 52 ช่อง TV5 (New) ความถี่ 722 MHz



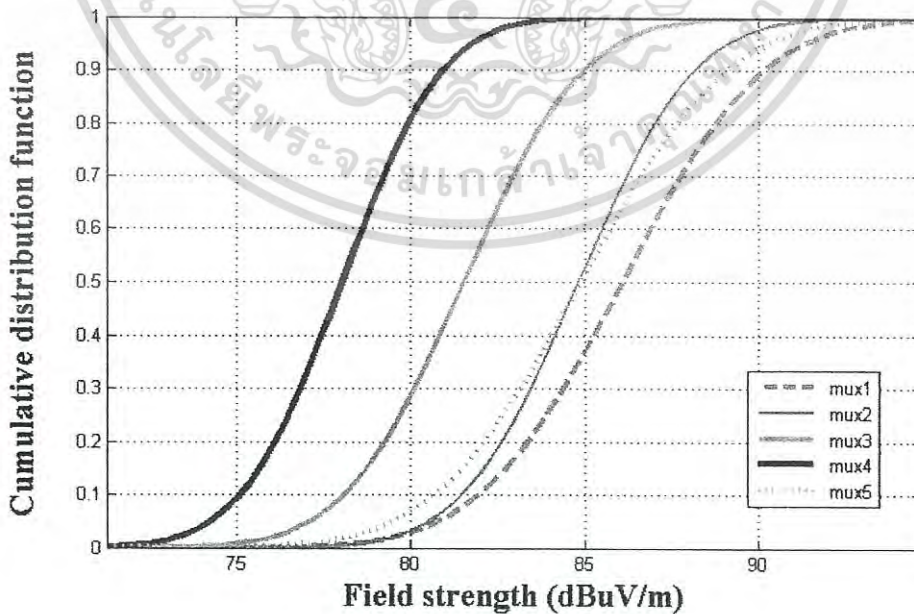
รูปที่ 4.47 กราฟสามมิติของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 55 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่า Field strength และ MER ที่วัดได้ทั้งหมด 100 จุด ในแต่ละ MUX มาพล็อตกราฟ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability distribution function : PDF) และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative distribution function : CDF) จะได้รูปแต่ละ MUX ดังนี้

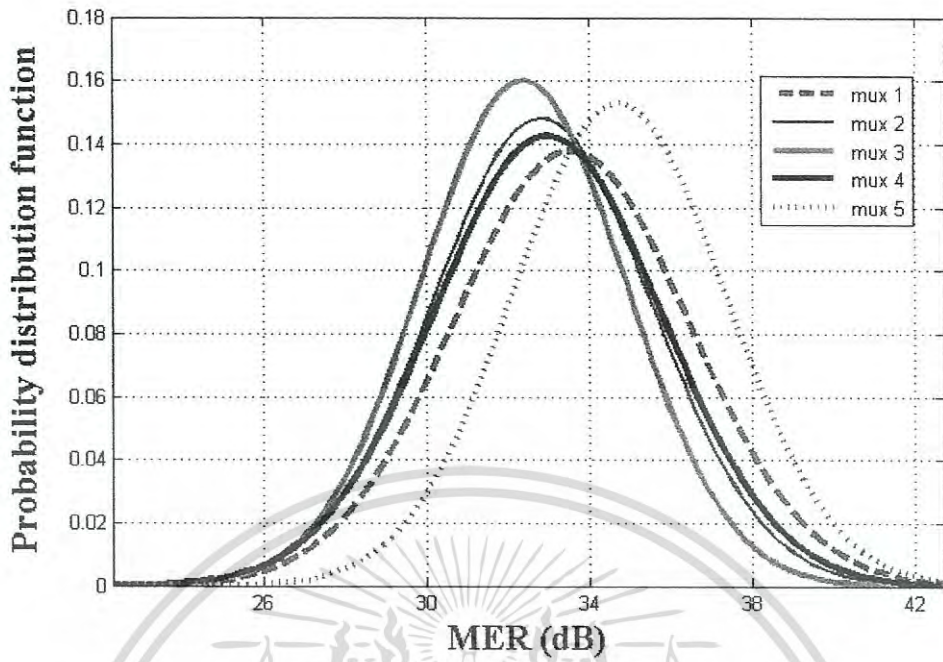


รูปที่ 4.48 PDF ของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 1 ถึง 5

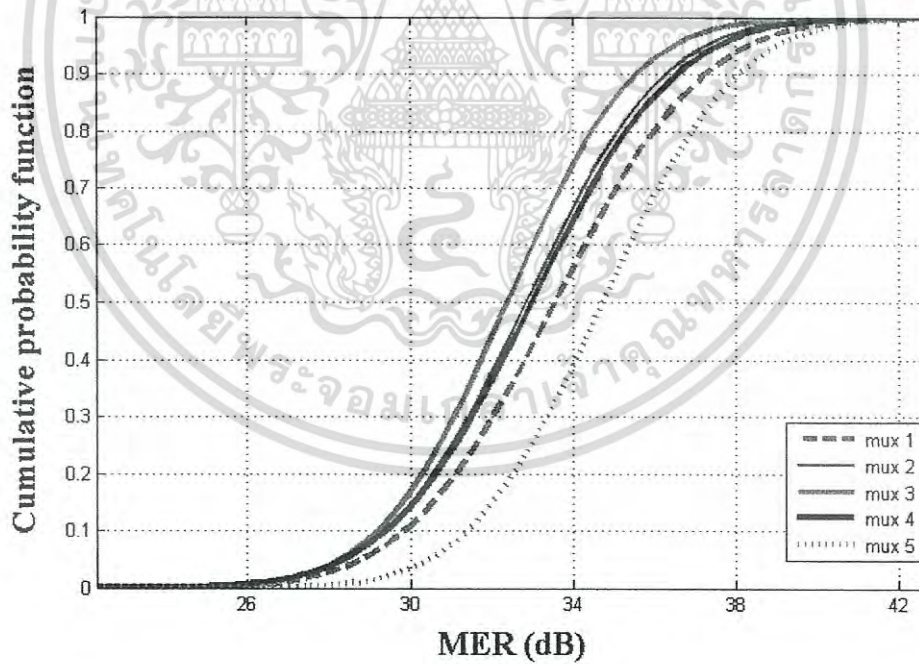


รูปที่ 4.49 CDF ของกำลังสัญญาณใน MUX ที่ 1 ถึง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 PDF ของ MER ใน MUX ที่ 1 ถึง 5



รูปที่ 4.51 CDF ของ MER ใน MUX ที่ 1 ถึง 5

#### 4.5. ผลการเปรียบเทียบ

จากรูปที่ 4.17 ถึง 4.41 คือการนำค่าเฉลี่ยสเปกตรัมที่มากที่สุดที่ได้ในแต่ละช่วงทั้งหมด 5 ช่วงของ 100 จุดที่วัดมาได้ในแต่ละ MUX มาเปรียบเทียบกันในแต่ละ MUX และดูความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสเปกตรัมในระหว่าง MUX ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบ ดังนี้

ใน MUX ที่ 1 คิดค่าเฉลี่ยรวมของค่าสเปกตรัมได้ 41.232 dBuV แต่ละจุดจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของช่องสัญญาณนั้นๆ MUX ที่ 2 คิดค่าเฉลี่ยรวมของค่าสเปกตรัมได้ 37.3029 dBuV ค่าสเปกตรัมในช่วงจุดแรกๆ ค่าสเปกตรัมในช่วงความถี่ต่ำมีค่าน้อยกว่าในช่วงความถี่สูงเล็กน้อย MUX ที่ 3 คิดค่าเฉลี่ยรวมของค่าสเปกตรัมได้ 34.0578 dBuV ค่าสเปกตรัมในช่วงความถี่ต่ำมีค่าน้อยกว่าในช่วงความถี่สูงประมาณ 10 dB MUX ที่ 4 คิดค่าเฉลี่ยรวมของค่าสเปกตรัมได้ 32.456 dBuV ค่าสเปกตรัมในช่วงจุดแรกๆ ค่าสเปกตรัมในช่วงความถี่ต่ำมีค่าน้อยกว่าในช่วงความถี่สูง และ MUX ที่ 5 คิดค่าเฉลี่ยรวมของค่าสเปกตรัมได้ 37.3648 dBuV พบว่าแต่ละจุดจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของช่องสัญญาณ จะเห็นว่า MUX ที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสเปกตรัมสูงที่สุด ส่วน MUX ที่ 4 มีค่าน้อยที่สุด

จากรูป 4.42 ค่า Field strength จากจุดต่างๆทั้งหมด 100 จุด ในแต่ละ MUX เทียบกันทุก MUX พบว่า MUX ที่ 4 มีค่าต่ำที่สุด ส่วน MUX ที่ 1 และ 5 มีค่าสูง

จากรูป 4.43 ถึง 4.47 กราฟสามมิติแสดงค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ทั่วทั้งบริเวณที่ทำการวัด โดยจะเห็นว่าในแต่ละ MUX จะมีค่าต่ำที่ช่วงจุดที่ 1 ถึง 20 และจะมีค่าสูงในช่วง 80 ถึง 100 อาจเป็นเพราะบริเวณที่ทำการวัดช่วงจุดแรกๆจะมีตึกและจานดาวเทียมบดบังอาจทำให้สัญญาณที่รับมาอาจมาจากการสะท้อนเข้ามาที่เครื่องรับเป็นแบบ Rayleigh หรือ Ricean ส่วนในจุดหลังๆจะมีพื้นที่ที่โล่งกว่ามาก แต่ค่า MER เฉลี่ย ของสัญญาณในแต่ละ MUX มีความใกล้เคียงกันและอยู่ในระดับที่มีคุณภาพของสัญญาณที่ดีจากการรับชมสัญญาณภาพและเสียง

จากรูป 4.48 กราฟ PDF ของ Field strength ใน MUX ที่ 4 มีการกระจายของข้อมูลที่น้อยที่สุดค่าส่วนใหญ่อยู่ที่ 78 dBuV/m รูปที่ 4.49 กราฟ CDF ค่า Field strength ของ MUX ที่ 5 มีค่าสูงสุดรองลงมาเป็น MUX ที่ 5 MUX ที่ 2 MUX ที่ 1 และ MUX ที่ 4 มีค่าต่ำสุด รูปที่ 4.50 กราฟ PDF ของ MER ในแต่ละ MUX มีการกระจายของข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน รูปที่ 4.51 กราฟ CDF ค่า MER ของ MUX ที่ 5 มีค่าสูงสุดรองลงมาเป็น MUX ที่ 1 MUX ที่ 4 MUX ที่ 2 และ MUX ที่ 3 มีค่าต่ำสุด แต่ก็อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันทุก MUX

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1. สรุปผลการวิจัย

โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2) ในประเทศไทย ได้มีการกำหนดแนวปฏิบัติในการให้บริการจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติไว้ โดยมีผู้ให้บริการเครือข่ายทั้งหมด 5 MUX ได้แก่ กรมประชาสัมพันธ์ กองทัพบก1 อสมท ไทยพีบีเอส และกองทัพบก2 จะมีจัดสรรกลุ่มช่องความถี่วิทยุซึ่งในกรุงเทพมหานครนี้จะใช้ช่อง 26, 36, 40, 44 และ 52 หรือเป็นความถี่ 514, 594, 626, 658 และ 722 MHz ได้ตามลำดับ

จากการศึกษา ออกแบบ และทดสอบการวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2) ทำให้รู้และเข้าใจถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการวัดสัญญาณ DVB-T2 รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณ และวิธีการวัดสัญญาณ DVB-T2 และจากการทดลองค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณใน MUX ที่ 4 มีค่าต่ำที่สุด ส่วนค่า MER เฉลี่ยของสัญญาณในแต่ละ MUX มีความใกล้เคียงกันและอยู่ในระดับที่ดี

ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้มีค่าน้อยอาจเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมของสถานที่วัดนั้น ถูกตีกลับบังสัญญาณ สัญญาณที่ได้รับมาอาจเกิดจากสัญญาณสะท้อนไม่ใช่สัญญาณโดยตรง แต่เมื่อดูที่คุณภาพของสัญญาณ ค่า MER หรือ CNR พบว่าอยู่ในระดับที่มีคุณภาพดี ใช้รับชมได้

#### 5.2. ข้อเสนอแนะ

ในการวัดสัญญาณควรหาสถานที่ที่เหมาะสม โดยอาจเลือกจากการสังเกตเห็นเสาส่งสัญญาณตรง ณ บริเวณที่จะทำการวัด เพื่อให้ได้สัญญาณที่ดีและมีคุณภาพ ควรคำนึงถึงสมรรถนะของเครื่องมือวัดเมื่อมีสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] บัณฑิต รักวีรธรรม และสถาพร พรหมวงศ์. การประเมินผลการปฏิบัติงานของ DVB-T2 สำหรับการรับสัญญาณแบบภายนอกอาคาร. เอกสารสัมมนาวิชาการระดับคหบดีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558.
- [2] Inaki Eizmendi, Gorka Prieto, Gorka Berjon-Eriz, Iratxe Landa, and Manuel Velez. Empirical DVB-T2 Thresholds for Fixed Reception. Translated by Bundit Ruckveratham, and Sathaporn Promwong. Bangkok, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2015.
- [3] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. ประกาศ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร, 2558.
- [4] Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation Guidelines for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2), ETSI Technical Specification TS 102 831 V1.1.1, Aug. 2012
- [5] TR 101 290 V1.2.1 (2001-05). Digital Video Broadcasting (DVB): Measurement guidelines for DVB systems, Tech. Report ETSI, 2001.
- [6] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. “โทรทัศน์ในประเทศไทย”  
<https://th.wikipedia.org/wiki/โทรทัศน์ในประเทศไทย>
- [7] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. “โทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย”  
<https://th.wikipedia.org/wiki/โทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย>
- [8] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. “โทรทัศน์ดิจิทัล”  
<https://th.wikipedia.org/wiki/โทรทัศน์ดิจิทัล>
- [9] วีระศักดิ์ เจริญเชาว์. “DVB-T2 ทางเลือกในการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลของประเทศไทย”. 18 สิงหาคม 2554
- [10] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช). “รู้จักดิจิทัลทีวี”  
[http://digital.nbt.go.th/article\\_detail.php?article=142](http://digital.nbt.go.th/article_detail.php?article=142)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 60 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [11] คณะเจ้าหน้าที่บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน). “เทคโนโลยีการแพร่กระจายคลื่นดิจิทัล”.  
[http://dtv.mcot.net/techno\\_one.php?dateone=1247363871](http://dtv.mcot.net/techno_one.php?dateone=1247363871)
- [12] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และ กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.). “สรุปรายงาน การเข้าฝึกอบรม Digital Transmission Training Course ณ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ระหว่างวันที่ 18 – 22 สิงหาคม 2557”.  
[http://lib.nbtc.go.th/ebook\\_detail?cid=11268&ctype=1](http://lib.nbtc.go.th/ebook_detail?cid=11268&ctype=1)
- [13] Radio Frequency (RF) Field Intensity Units. “Fields Intensity theory”.  
<http://www.softwright.com/knowledgebase/faq/what-is-the-difference-between-dbu-dbm-dbuV-and-other-field-intensity-units/>
- [14] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “Modulation error ratio”  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation\\_error\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation_error_ratio)
- [15] Colonel Anurat Ingun, Ph.D. DVB-T2 Field Trial and Optimized Parameters in Thailand. Chairman Broadcasting Technical Subcommittee, National Broadcasting and Telecommunication Commission Bangkok, Thailand.
- [16] Constantine A. Balanis, antenna theory - analysis and design 3rd ed. John Wiley & Sons: New Jersey, 2005.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

**EMC TEST SYSTEMS** L.P.  
A Subsidiary of ESCO Electronics Corporation

Gain and Antenna Factors for Dipole Antenna  
Manufactured by EMC Test Systems  
Model Number: DB-4      Serial Number: 1429  
3.0 Meter Calibration      Polarization: Horizontal

Frequency (MHz)	Antenna Factor (dB)	Gain Numeric	Gain dBi
400	20.8	1.39	1.4
425	21.2	1.43	1.5
450	21.6	1.46	1.6
475	22.0	1.49	1.7
500	22.4	1.50	1.8
525	22.9	1.47	1.7
550	23.5	1.43	1.6
575	24.0	1.39	1.4
600	24.5	1.35	1.3
625	24.8	1.35	1.3
650	25.1	1.36	1.3
675	25.5	1.36	1.3
700	25.8	1.36	1.3
725	26.1	1.35	1.3
750	26.5	1.33	1.2
775	26.8	1.31	1.2
800	27.2	1.28	1.1
825	27.3	1.34	1.3
850	27.4	1.40	1.4
875	27.4	1.45	1.6
900	27.5	1.51	1.8
925	27.9	1.47	1.7
950	28.2	1.43	1.6
975	28.5	1.40	1.4
1000	28.9	1.36	1.3

Specification compliance testing factor (3.0 meter spacing) to be added to receiver meter reading in dB $\mu$ V to convert to field intensity in dB $\mu$ V/meter. Calibrated 26 Feb 99 (DD/MM/YYYY). Calibration per ANSI C63.5.

รูปที่ ก.1 ข้อมูลของสายอากาศไดโพลที่ใช้รับสัญญาณ

## ภาคผนวก ข

กิจกรรมการจัดการความรู้ (KM) ประจำปี ๒๕๕๕

สำนักส่งเสริมและพัฒนางานเทคนิคการเผยแพร่ความรู้ด้านเทคโนโลยีโทรทัศน์ดิจิทัล

ความรู้พื้นฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

โดย สมรัตน์ บวชเหตุ

ส่วนสำรวจและวางแผน สำนักส่งเสริมและพัฒนางานเทคนิค

	ATSC	DVB-T	ISDB-T	DTMB	DVB-T2
ความจุการส่งข้อมูล สูงสุด (Net data rate) เมื่อใช้งานบนความถี่ ขนาด ๘ MHz	๒๔.๑๘๑ Mbit/s	๓๓.๖๓ Mbit/s	๓๓ Mbit/s	๓๒.๐ Mbit/s	๔๐.๐ Mbit/s
จำนวนช่องรายการ ปกติ (SDTV)** เมื่อ ใช้บนความถี่ขนาด ๘ MHz	๓๓ ช่อง	๓๔ ช่อง	๓๔ ช่อง	๓๖ ช่อง	๒๔ ช่อง
จำนวนช่องรายการ ความละเอียดสูง (HDTV)** เมื่อใช้บน ความถี่ขนาด ๘ MHz	๓ ช่อง	๔ ช่อง	๔ ช่อง	๔ ช่อง	๒ ช่อง
ความทนทานต่อ สัญญาณรบกวน ฉับพลัน (Impulse noise)	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
ความทนทานต่อ สัญญาณสะท้อน หลายทิศทาง (multipath tolerance)	ไม่ดี	ดี	ดี	ดี	ดี

รูปที่ ข.1 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญ ของมาตรฐานต่างๆ [ITU Recommendation  
BT.1306-6, BT.1877]

แนวนโยบาย ของคณะกรรมการ กิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์	ITU-R BT.1906-6				ITU-R BT.1877
	System A (ATSC)	System B (DVB-T)	System C (ISDB-T)	System D (DTMB)	(DVB-T2)
๑. ความก้าวหน้าในเชิงเทคโนโลยี และความจำเป็นต้องการปรับเปลี่ยนระบบโทรทัศน์ในอนาคตเพื่อรองรับการพัฒนาของเทคโนโลยี อันอาจส่งผลกระทบต่อประชาชน	พอใช้	พอใช้	พอใช้	พอใช้	ดี
๒. การใช้คลื่นความถี่อื่นเป็นทรัพยากรสาธารณะอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อประชาชน (Spectrum Efficiency)	พอใช้	ดี	ดี	ดี	ดีมาก
๓. จำนวนช่องรายการโทรทัศน์ควรมีมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อพัฒนาการในกิจการโทรทัศน์ของประเทศอย่างมีนัยสำคัญ	พอใช้	ดี	ดี	ดี	ดีมาก
๔. จำนวนช่องรายการโทรทัศน์มีมากเพียงพอที่จะจัดสรรให้ภาครัฐ ภาคธุรกิจ ภาคประชาชน มีช่องทางในการประกอบกิจการสื่อสารมวลชน เพื่อส่งเสริมการแข่งขันและโอกาสในการรับรู้ข้อมูลข่าวสารสาธารณะที่มาจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย	พอใช้	ดี	ดี	ดี	ดีมาก
๕. ความสามารถในการรองรับบริการได้หลากหลาย รวมถึงบริการที่มีความละเอียดมาตรฐาน (Standard Definition) และบริการที่มีความคมชัดสูง (High Definition)	ดี	ดี	ดีมาก	ดี	ดีมาก
๖. มีการใช้เงินมากเพียงพอที่จะนำไปสู่การผลิตจำนวนมาก (Economy of Scale) ที่จะส่งผลต่อราคาของอุปกรณ์รับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล (Set-Top-Box: STB) และเครื่องรับโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล (Integrated Digital Television: IDTV) ทำให้มีราคาที่เหมาะสมและไม่เกิดภาระแก่ประชาชนเกินควร	ดี	ดี	ดี	ดีมาก	ดีมาก
๗. การปรับเปลี่ยนไปสู่การรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของประเทศควรสอดคล้องกับวิทยุโทรทัศน์ระบบแอนะล็อกเดิม	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
๘. แหวนคลื่นความถี่ใหม่จะต้องไม่เกิดการรบกวนกับวิทยุโทรทัศน์ระบบแอนะล็อก และการรบกวนคลื่นความถี่กับประเทศเพื่อนบ้าน (Smooth Migration)	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
๙. นโยบายภาครัฐ พัฒนาระบบวิทยุกระจายเสียงและความร่วมมือในภูมิภาคอาเซียน	พอใช้	พอใช้	พอใช้	พอใช้	ดีมาก
๑๐. การรองรับการพัฒนาการให้บริการรูปแบบต่าง ๆ รวมถึง Emergency Warning System: EWS	ดี	ดี	ดีมาก	ดี	ดี

รูปที่ ข.2 มติที่ประชุมการพิจารณามาตรฐานการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิทัล  
ครั้งที่ 4/2555 (28 เมษายน 2555) [3]

## ภาคผนวก ค

### ข้อมูลที่ใช้ประกอบกราฟสามมิติ

ค่าที่วัดได้มีตำแหน่งดังนี้

ตารางที่ ค.1 ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 1

พิกัดแกน	ค่า Field strength ที่วัดได้ใน MUX ที่ 1 ของแต่ละจุด (dBuV/m)									
x \ y	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10	87.4	88.8	90.2	91.3	88.4	87.1	87.2	87.3	80.8	77.5
9	88.8	87.9	91	88.1	89.2	87.3	86.9	86	81.6	80.5
8	87.6	86.3	89.6	87.8	88.8	89.6	87.4	86.9	80.3	80.4
7	87.9	83.6	87.2	85.4	86.9	88.2	87.9	84.9	81.4	79.7
6	85.8	85	85.9	86.5	87.4	85.5	87.8	87.4	82.1	78.8
5	85.7	86.7	87.5	87.4	85.4	88.7	83.9	86.4	83.3	79.7
4	86.4	85.7	85.7	87.9	90.6	88	88.2	87.5	82.7	81
3	86	83.2	86.5	89.4	88.8	86.6	89	88.3	83.3	78.9
2	85.8	84.8	88.6	87.4	89.8	89.9	90.5	89.1	82.7	77.7
1	84.2	82.4	87.5	86.3	90	87.1	89.6	88	82.7	79.8

ตารางที่ ค.2 ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 2

พิกัดแกน		ค่า Field strength ที่วัดได้ใน MUX ที่ 2 ของแต่ละจุด (dBuV/m)									
y	x	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	10		85.5	84.5	88.1	87.1	84.4	86.1	83.2	83.1	86.1
9		83.2	84.5	88	87.5	84.2	87.6	81.7	81.9	84.7	84.3
8		82.4	85.7	86.6	89.2	85	85.9	80.3	81.7	84.5	81.5
7		84	85.1	88.1	88.3	84.9	83.6	78.2	81.4	82.9	84.7
6		86.4	84.8	86.9	87.9	81.8	81.6	80.7	80.5	82.7	86.2
5		84.5	85.7	89.6	89.6	85.7	83.5	82.9	80.6	84	87
4		83.3	84.7	87.5	88.1	86.8	84.1	81.7	82.5	85.8	85.7
3		82.7	84.9	87.1	88.7	85.3	84.1	83.2	82.3	85.6	85.3
2		82.6	82.7	87.2	90.9	87.8	86.6	82.6	81	85.6	86.2
1		81.1	80.2	85.8	90.6	89.4	88.2	82.3	80.8	84.1	84.6

ตารางที่ ค.3 ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 3

พิกัดแกน		ค่า Field strength ที่วัดได้ใน MUX ที่ 3 ของแต่ละจุด (dBuV/m)									
y	x	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	10		83.4	79.3	85.6	80.7	82.3	85.6	78.6	80	80.7
9		83.5	81.6	85.7	83	83.3	86.4	76.3	77.4	80.5	79
8		82.9	82.5	86.7	84.2	80.9	83.2	76.2	78.3	79.6	76.2
7		83.3	82.7	86.6	84.7	80.4	83.3	79.1	79.4	79.1	78.3
6		82.4	83.1	85.9	81.1	82.1	81.2	79.2	78.7	77	79.8
5		81.6	83.4	84.7	83.8	82.7	79.8	78.6	78.4	80	81
4		81.9	84.5	84.1	84	79.8	81.8	78	77.4	79.4	80.2
3		81.6	84.4	83.1	85.4	81.6	83.9	82	78.6	81.4	81.7
2		77.3	81.9	85.7	87.6	83.8	83.3	80	78.9	80.2	83
1		77	80.1	84.4	81.6	84.8	84.8	82.5	78.9	78.9	79.6

ตารางที่ ค.4 ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 4

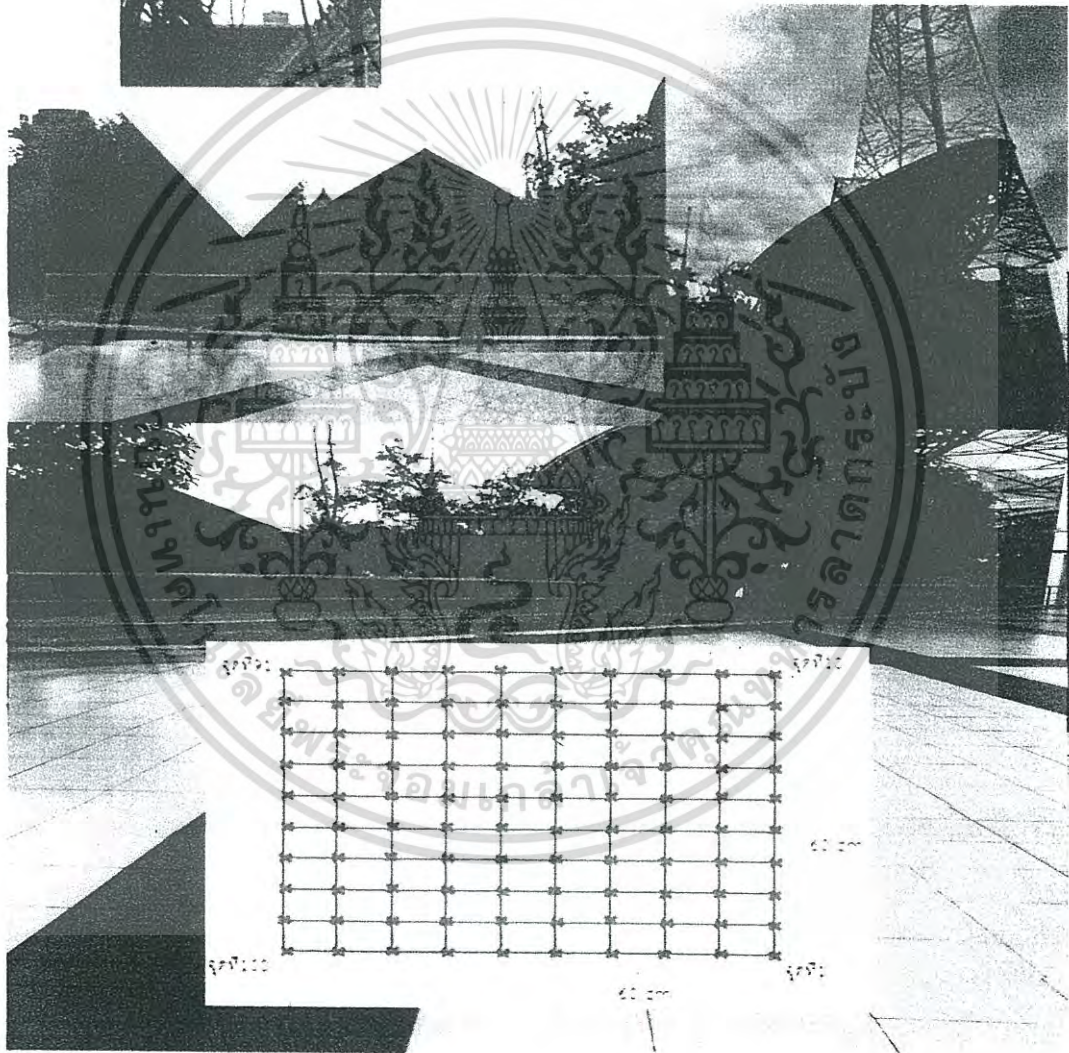
พิกัดแกน		ค่า Field strength ที่วัดได้ใน MUX ที่ 4 ของแต่ละจุด (dBuV/m)									
y	x	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	10		79.1	82.8	81.8	80	78.3	80.1	79.2	78	73.9
9		77.2	81.6	75.7	80.3	77.4	77.7	75.8	72.4	73.4	73.4
8		77.3	78	76.5	79	76.7	77	75.8	75.7	75	75
7		77.7	79.3	77.7	79.6	76.6	75.4	76.5	73.6	76.8	75.5
6		78.8	77.1	77.1	77.7	78.9	75.6	77.6	79.6	77.2	73.4
5		79.2	77.8	77.3	77.8	79.7	78	81.6	78.8	76.5	75.3
4		78.2	81.7	79.4	79.2	81.7	78.7	80.1	78.5	77.3	75.3
3		76.3	80.3	81.1	82.5	79.4	77.5	81	81.6	78.8	77.4
2		73.4	78.9	80.7	79.7	79.7	77.8	81.7	78.7	78.2	78
1		74.3	80.5	78.2	80.6	77.7	80	81.5	79.2	78.5	77.9

ตารางที่ ค.5 ค่าที่วัดได้ใน MUX ที่ 5

พิกัดแกน		ค่า Field strength ที่วัดได้ใน MUX ที่ 5 ของแต่ละจุด (dBuV/m)									
y	x	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	10		87.9	89	91.1	88.1	82.5	81.4	83.4	83.6	83.8
9		88.8	86.9	87.9	87.8	81.8	82.6	85.7	83.6	80.8	78.5
8		86.6	86.7	88.1	87.9	81.5	83.4	80.3	81.5	80.3	78.4
7		87.1	84.2	85.1	87.7	82.7	81.9	82.5	82.3	83.9	82.4
6		90	85.6	86.5	87.9	79.5	80.6	82.3	85.5	79.3	82.6
5		89.9	84.4	85.3	86.3	84.6	83.2	84.7	85	82.8	83.1
4		87.1	86.1	88.3	89.7	84.5	82.1	86.5	84.1	81.8	82.2
3		82.6	87	90.7	89.5	85.1	83.8	84.7	84.5	82.5	84
2		82.5	86.3	91.4	93.5	87.2	86.7	86.5	84.6	83.4	79.7
1		82.8	84.1	91.6	93.4	88.3	87.2	84.5	86.9	81.9	80.2

## สถานที่วัดสัจญาณ

มองเห็นเสาธงที่ตึกใบหยก



รูปที่ ค.1 สถานที่วัดสัจญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้