



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การจำลองการวัดของสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง
ในประเทศไทย

Measurement and Modeling of DVB-T2 Channel in Thailand

นายณัฐกิตติ์ บุญรอด

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การจำลองการวัดช่องสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง
ในประเทศไทย

Measurement and Modeling of DVB-T2 Channel in Thailand

นายณัฐกิตติ์ บุญรอด

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การจำลองการวัดช่องสัญญาณโทรทัศนระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สองในประเทศไทย
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นาย ณัฐกิตติ์ บุญรอด
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ดร. สถาพร พรหมวงศ์ ผศ.ดร. พิชญ์ สุพรรณกุล
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	บัณฑิต รักวีระธรรม
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

บริษัท อสมท. จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ให้บริการโครงข่ายออกอากาศโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลในประเทศไทย การหาคุณสมบัติของช่องสัญญาณในพื้นที่ครอบคลุมเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณา ดังนั้น ในรายงานนี้จึงทำการจำลองและวัดช่องสัญญาณของโทรทัศนภาพพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง โดยได้วัดที่ 21 ตำแหน่งตัวอย่างในกรุงเทพมหานคร และ 5 ตำแหน่งตัวอย่างในเขตจอมบึง ราชบุรี ได้วัดอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (MER) ความเข้มสนามไฟฟ้าและอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ของสัญญาณที่รับได้ที่แต่ละตำแหน่งและเปรียบเทียบกับระดับจุดเปลี่ยน หลังจากนั้น ยังได้วัดอัตราส่วนความผิดพลาดบิตก่อนการถอดรหัส (bBER) และอัตราส่วนความผิดพลาดบิตหลังการถอดรหัส (aBER) นอกจากนี้ ได้ทำแบบจำลองของความแรงสัญญาณที่รับได้ MER และ C/N ตามระยะทางของแต่ละตำแหน่งโดยใช้สมการการถดถอยเชิงเส้น คุณภาพของช่องสัญญาณที่แต่ละตำแหน่งได้สรุปไว้ในสรุปผลการวิจัย

Co-operative Title: Measurement and Modeling of DVB-T2 Channel in Thailand
Student Intern Name: Natthakit Boonrod
Faculty: Engineering **Department:** Telecommunication
Advisor Name: Dr. Sathaporn Promwong
Asst.Prof.Dr. Pichaya Supanakoon
Mentor Name: Bundit Ruckveratham
Company: MCOT Public Company Limited

ABSTRACT

MCOT Public Company Limited is provider of digital terrestrial broadcasting network in Thailand. The characterization of channel in the coverage area is necessary to consider. Therefore, the channel of second-generation digital terrestrial television (DVB-T2) is modeled and measured in this report. The measurement are done at 21 sample locations in Bangkok and 5 sample locations in Chom Bueng, Ratchaburi. The modulation error ratio (MER), electric Received Signal Strength and carrier to noise ratio (C/N) of received signal at each location is measured and compared with threshold level. After that, the bit error rate before decoding (bBER) and bit error rate after decoding (aBER) of each location are measured. Furthermore, the Received Signal Strength, MER and C/N are modeled along distance of each location using linear regression. The quality of channel at each location is concluded in research conclusion.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร. สถาพร พรหมวงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และเป็นอาจารย์นิเทศในการมาทำโครงการสหกิจศึกษาที่ บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) ในครั้งนี้ ตลอด 4 เดือนที่ได้เข้ามาทำสหกิจนั้น หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือเมื่อเกิดปัญหาตลอดการทำโครงการโครงการในครั้งนี้น่าคงไม่สามารถสำเร็จเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณ อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ ไว้ในโอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาโทรคมนาคม ผู้เป็นกรรมการสอบสหกิจศึกษาทุก ๆ ท่าน ที่ให้คำชี้แนะให้รายงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณสุธี สุวรรณประภา ผู้จัดการส่วนควบคุมสัญญาณโทรทัศน์ และ คุณบัณฑิต รักวีระธรรม วิศวกรอาวุโส ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษาเมื่อมีปัญหาในการทำโครงการ และขอบคุณพี่ๆในบริษัท อสมท จำกัด ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี ตลอดช่วงเวลา 4 เดือนที่ได้เข้ามาทำสหกิจในบริษัทนี้

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์จากบริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) ที่ได้มอบโอกาสในการเข้ามาทำสหกิจศึกษา ให้ความรู้และประสบการณ์การทำงานต่าง ๆ รวมถึงให้อุปกรณ์มาใช้ตลอดการทำโครงการ จนทำให้โครงการและรายงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้

ณัฐกิตติ์ บุญรอด
ผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ประวัติโทรทัศน์ในประเทศไทย.....	3
2.2 เทคโนโลยีโทรทัศน์ดิจิทัล Digital Television (DTV)	4
2.3 มาตรฐานสากลของเทคโนโลยีระบบโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน	5
2.4 มาตรฐาน Digital Video Broadcasting–Second Generation Terrestrial (DVB-T2).....	9
2.5 ประโยชน์ของระบบโทรทัศน์ดิจิทัล	14
2.6 การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัล	16
2.7 พารามิเตอร์ในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2	23
2.8 การหา QUASI ERROR FREE (QEF)	25
บทที่ 3 ขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณ DVB-T2	26
3.1 ขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณ.....	26
3.2 ขั้นตอนการกำหนดสถานที่วัดสัญญาณ DVB-T2	26
3.3 โมเดลการวัดสัญญาณ DVB-T2	33
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ.....	34
3.5 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์.....	36
3.6 วิธีการวัดสัญญาณ DVB-T2.....	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวัดสัญญาณ DVB-T2.....	43
4.1 ผลการวัดสัญญาณ DVB-T2 ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร.....	43
4.2 ผลการวัดสัญญาณ DVB-T2 ในอำเภอจอมบึง.....	53
4.3 วิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณ DVB-T2.....	56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปการวัดในจังหวัดกรุงเทพมหานคร.....	66
5.2 สรุปการวัดในอำเภอจอมบึง.....	66
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก ก.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร	58
4.2 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร (ต่อ).....	59
4.3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในอำเภอจอมบึง	63
4.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในอำเภอจอมบึง (ต่อ).....	64
ก.1 ประเภทของสถานีและคำอธิบาย.....	74
ก.2 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย	2
2.1 มาตรฐานโทรทัศน์ ระบบ ATSC แบบต่างๆ	6
2.2 เปรียบเทียบการใช้สเปกตรัมความถี่ของโทรทัศน์สี NTSC และโทรทัศน์ดิจิทัล ATSC	6
2.3 เครือข่ายความถี่เดี่ยว (SINGLE FREQUENCY NETWORK).....	7
2.4 SEGMENTED OFDM รองรับการส่งสัญญาณหลายบริการพร้อมกัน	8
2.5 COFDM (CODED ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING).....	11
2.6 QAM (QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION).....	12
2.7 การส่งโทรทัศน์โดยใช้ DVB-T2.....	13
2.8 แอวลูข้อมูลที่ผ่านการลดขนาด (TRANSPORT STREAM)	13
2.9 การเข้ารหัสข้อมูลด้วยรหัสตรวจสอบแบบ FEC (FRAME ERROR CORRECTION).....	14
2.10 การใช้ความกว้างช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ.....	14
2.11 สัญญาณมีคุณภาพสูง	15
2.12 ความเป็นมาตรฐานของการเข้ารหัสแบบ MPEG-2.....	15
2.13 SCALABILITY	16
2.14 การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัล	17
2.15 ROBUSTNESS AGAINST MULTI-PATH	18
2.16 GUARD INTERVAL	19
2.17 EPG (ELECTRONIC PROGRAM GUIDE).....	19
2.18 DATA ONLINE	20
2.19 CLOSED CAPTIONING.....	21
2.20 MULTI-VIEW.....	21
2.21 EMERGENCY WARNING	22
2.22 CONTENTS PROTECTION	23
2.23 ROTATES CONSTELLATION	24
3.1 โปรแกรม ICS TELECOM	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 การตั้งค่า PARAMETERS ใน GENERAL	27
3.3 การตั้งค่า PARAMETERS ใน PATTERNS.....	27
3.4 การตั้งค่า PARAMETERS ใน SITE.....	28
3.5 การตั้งค่า PARAMETERS ใน ADVANCED.....	28
3.6 พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (COVERAGE) ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร	29
3.7 โปรแกรม COVERAGE KML BUILDER	29
3.8 โปรแกรม GOOGLE EARTH PRO	30
3.9 กำหนดสถานที่ใน GOOGLE EARTH	30
3.10 จุดวัดสัญญาณ 21 ตำแหน่งทั่วกรุงเทพมหานคร	31
3.11 จุดวัดสัญญาณ 5 ตำแหน่งในอำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี.....	32
3.12 ภาพรวมการรับ-ส่งสัญญาณ DVB-T2	33
3.13 เครื่องวัดสัญญาณ BROADCAST ANALYZERS ของ ROVER HD PROTAB	34
3.14 สายอากาศไดโพลสำหรับความถี่ย่าน UHF.....	34
3.15 สาย COAXIAL CABLE RG-214.....	35
3.16 เสาดำรงตั้งสายอากาศ สูง 6 เมตร.....	35
3.17 ไม้บรรทัดสำหรับปรับความยาวของสายอากาศ.....	35
3.18 ATTENUATION.....	36
3.19 อุปกรณ์สำหรับยึดสายอากาศ.....	36
3.20 เลือกบริเวณที่จะทำการตั้งเสา.....	37
3.21 สายอากาศไดโพลที่ประกอบด้วยเสาดังและสาย COAXIAL CABLE RG-214	37
3.22 เครื่องวัด BROADCAST ANALYZERS ที่ต่อเข้ากับสาย COAXIAL CABLE RG-214	38
3.23 ปรับความยาวของสายอากาศไดโพลให้ตรงกับความถี่ของสัญญาณในแต่ละ MUX.....	38
3.24 ปรับความยาวของเสาดังให้มีความสูง 6 เมตร	39
3.25 แอปพลิเคชัน DTV SERVICE AREA.....	39
3.26 หน้าจอเริ่มต้นของเครื่องวัดสัญญาณ BROADCAST ANALYZERS	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.27 ภาพและพารามิเตอร์ที่อ่านได้จาก BROADCAST ANALYZERS	40
3.28 หน้า SPECIAL FUNCTIONS	41
3.29 ปรับค่าต่าง ๆ ใน DRIVE TEST	41
3.30 การบันทึกค่าใน BROADCAST ANALYZERS	41
3.31 ต่อ ATTENUATION เข้ากับเครื่อง BROADCAST ANALYZERS.....	42
3.32 ปรับค่าการลดทอนบน ATTENUATION	42
4.1 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางรัก	43
4.2 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตห้วยขวาง	44
4.3 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตวัฒนา	44
4.4 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตสาทร	45
4.5 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางพลัด	45
4.6 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตยานนาวา.....	46
4.7 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตธนบุรี.....	46
4.8 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตคลองเตย	47
4.9 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตจตุจักร.....	47
4.10 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางนา.....	48
4.11 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตภาษีเจริญ.....	48
4.12 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบึงกุ่ม	49
4.13 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางเขน	49
4.14 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตทุ่งครุ.....	50
4.15 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตประเวศ	50
4.16 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตดอนเมือง.....	51
4.17 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตทวีวัฒนา	51
4.18 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตคลองสามวา	52
4.19 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางบอน.....	52

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตลาดกระบัง	53
4.21 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตหนองจอก	53
4.22 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานขนส่งจังหวัดราชบุรี สาขาอำเภอจอมบึง	54
4.23 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง.....	54
4.24 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่โรงเรียนบ้านพุแค	55
4.25 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์หนองกวาง.....	55
4.26 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่องค์การบริหารส่วนตำบลหนองกวาง.....	56
4.27 กราฟแสดงความแรงสัญญาณในแต่ละสถานที่ (กรุงเทพฯ).....	60
4.28 กราฟแสดงค่า MER ในแต่ละสถานที่ (กรุงเทพฯ).....	60
4.29 กราฟแสดงค่า C/N ในแต่ละสถานที่ (กรุงเทพฯ).....	61
4.30 กราฟแสดงความแรงสัญญาณเปรียบเทียบกับระยะทางที่เปลี่ยนไป	61
4.31 กราฟแสดงค่า MER เปรียบเทียบกับระยะทางที่เปลี่ยนไป	62
4.32 กราฟแสดงค่า C/N เปรียบเทียบกับระยะทางที่เปลี่ยนไป	62
4.33 กราฟแสดงความแรงสัญญาณในแต่ละสถานที่ (จอมบึง)	64
4.34 กราฟแสดงค่า MER ในแต่ละสถานที่ (จอมบึง)	65
4.35 กราฟแสดงค่า C/N ในแต่ละสถานที่ (จอมบึง)	65
ก.1 ข้อมูลสายอากาศไดโพลสำหรับใช้วัดช่องสัญญาณ.....	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการออกอากาศจากที่เคยใช้ระบบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินแบบแอนะล็อก เป็นรูปแบบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินด้วยระบบดิจิทัล โดยใช้มาตรฐาน DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial) ของยุโรป เนื่องจากเป็นระบบที่มีคุณภาพดี เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพในการใช้คลื่นดี แต่ในความเป็นจริงแล้ว ยังมีบางพื้นที่ ที่ยังไม่สามารถใช้งานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้ เนื่องจากสัญญาณเข้าไม่ถึง ผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ ปัญหาทางด้านเทคนิคระหว่างการออกอากาศ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมี การตรวจวัดสัญญาณ DVB-T2 ตามแต่ละพื้นที่ให้บริการเสมอ เพื่อที่จะทำการตรวจสอบว่าในแต่ละพื้นที่ที่มีคุณภาพของสัญญาณเป็นอย่างไร สามารถรับชมโทรทัศน์ด้วยระบบดิจิทัลได้หรือไม่ เพื่อที่จะได้นำข้อมูลสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดมาวิเคราะห์ และทำการแก้ไขต่อไปในบริเวณที่พบปัญหา

เนื่องจากการใช้ระบบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินแบบดิจิทัล ภาพที่รับได้จะเป็นแบบทวิสภาพ คือถ้าสัญญาณดีพอก็จะรับภาพได้เลย แต่ถ้าหากสัญญาณไม่ดีพอก็จะไม่สามารถรับภาพได้เลย หรือที่เรียกกันว่าอาการภาพดับหรือภาพตาย อาการเหล่านี้จะแตกต่างกับแอนะล็อกที่แม้สัญญาณไม่ดี ก็จะได้รับได้โดยอาจเกิดอาการภาพไม่ชัด เกิดจุดลูกน้ำ แต่ผู้ชมก็ยังพอรับภาพได้และยังได้ยินเสียง จึงยังพอที่จะรับชมได้ เพราะฉะนั้นแล้วในระบบดิจิทัล จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องทำการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเสมอ เพื่อที่ผู้รับชมจะได้ไม่เกิดปัญหาในการรับชม ส่งผลต่อภาพลักษณ์ที่ดีต่อ บริษัทในมุมมองของผู้รับชมและผู้สนใจจะทำธุรกิจร่วมกับบริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

นอกจากการตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณในแต่ละพื้นที่แล้ว การตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพของช่องสัญญาณ ยังมีประโยชน์ในการวางแผนขยายสถานี เพื่อเพิ่มพื้นที่การให้บริการมากขึ้นได้ในอนาคต โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาทำการวิเคราะห์และสรุปข้อมูลของแต่ละพื้นที่ เพื่อที่จะได้คาดการณ์แนวโน้มการใช้บริการต่าง ๆ และปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ทางบริษัทจะได้ทำการเพิ่มสถานีการออกอากาศ ก่อนที่จะเกิดปัญหาที่อาจจะทำให้ผู้ชมไม่สามารถรับชมการออกอากาศได้

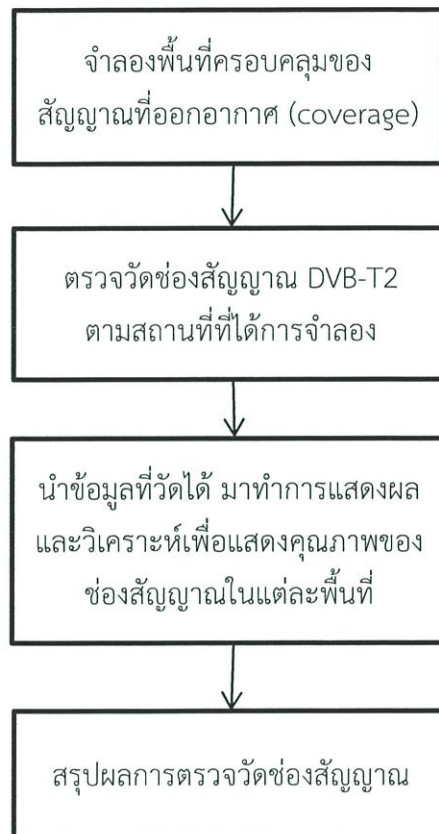
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาเทคโนโลยีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง
- 1.2.2 จำลองพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (Coverage) ของสถานีหลักและสถานีเสริมได้
- 1.2.3 ศึกษาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการวัด และศึกษาวิธีการและขั้นตอนในการวัดสัญญาณ
- 1.2.4 ทำการวัดสัญญาณ DVB-T2 ได้
- 1.2.5 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณ DVB-T2 มาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเทคโนโลยีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด วิธีการและขั้นตอนในการวัดสัญญาณ DVB-T2

1.3.2 ทำการจำลองพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (coverage) ของสถานีหลักและสถานีเสริม ตรวจสอบวัดช่องสัญญาณตามสถานที่ที่ทำการจำลอง รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณ DVB-T2 แสดงไว้ในบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยเล่มนี้มีข้อมูลเทคโนโลยีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2) วิธีการจำลองพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (Coverage) ของสถานีหลักและสถานีเสริม มีข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด วิธีการวัดช่องสัญญาณ รวมถึงผลที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณและวิธีการวิเคราะห์ รายงานเล่มนี้จึงมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อผู้ที่มาทำงานเกี่ยวกับการวัดช่องสัญญาณโทรทัศน์ หรืออาจใช้เป็นแนวทางในการทำงานวิจัยอื่น ๆ ในภายภาคหน้าต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติโทรทัศน์ในประเทศไทย [1]

โทรทัศน์ในประเทศไทยออกอากาศทางภาคพื้นดินเป็นช่องทางหลัก โดยแพร่ภาพผ่านคลื่นวิทยุ ซึ่งระยะแรกที่ออกอากาศตั้งแต่ปี พ.ศ.2498 เริ่มจากใช้ย่านความถี่สูงมาก (Very High Frequency; VHF) ซึ่งประกอบด้วย ช่วงความถี่ต่ำ (low band) คือช่องสัญญาณที่ 2-4 และช่วงความถี่สูง (high band) คือช่องสัญญาณที่ 5-12 จนกระทั่งปี พ.ศ.2538 จึงเริ่มใช้ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency; UHF) คือช่องสัญญาณที่ 26-60 (ช่วงความถี่ต่ำ (low band) คือช่องสัญญาณที่ 26-34 และช่วงความถี่สูง (high band) คือช่องสัญญาณที่ 35-60)

ตั้งแต่เริ่มออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในปี พ.ศ.2498 จนถึง พ.ศ.2517 ได้ใช้เทคโนโลยีระบบสัญญาณแอนะล็อก ในการส่งแพร่ภาพขาวดำ 525 เส้นต่อภาพ 30 ภาพต่อวินาที (National Television System Committee; NTSC) ซึ่งกำหนดขึ้นโดย คณะกรรมการสื่อสารแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) ต่อมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2510 จึงเริ่มนำระบบการส่งแพร่ภาพ 625 เส้นต่อภาพ 25 ภาพต่อวินาที (Phase Alternating Line; PAL) ซึ่งกำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการที่ปรึกษานานาชาติว่าด้วยคลื่นวิทยุ (Consultative Committee on International Radio; CCIR ปัจจุบันคือ ภาควิทยุคมนาคมโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ International Telecommunication Union Radiocommunication Sector; ITU-R) เข้ามาใช้ในประเทศไทย และเริ่มออกอากาศด้วยภาพสี ภายใต้ระบบดังกล่าวตั้งแต่ปี พ.ศ.2513 จนถึงปัจจุบัน

นอกจากนี้ยังมีบริการโทรทัศน์แห่งชาติ ภายใต้กำกับของกรมประชาสัมพันธ์ เริ่มจากส่วนภูมิภาคตั้งแต่ปี พ.ศ.2502 และเริ่มดำเนินการในส่วนกลางตั้งแต่ปี พ.ศ.2528 จนถึงปัจจุบัน จากนั้นก็เริ่มนำระบบดิจิทัล เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตรายการ และควบคุมการออกอากาศ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 และนำมาใช้กับกระบวนการส่งแพร่ภาพ ผ่านโครงข่ายอุปกรณ์รวมส่งสัญญาณ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 จนถึงปัจจุบัน โดยจะยุติการออกอากาศด้วยสัญญาณแอนะล็อก ตั้งแต่ปี พ.ศ.2563 เป็นต้นไป

ส่วนระบบการออกอากาศด้วยช่องทางอื่น ซึ่งนำเข้ามาใช้ในประเทศไทย ประกอบด้วย บริการกระจายสัญญาณแบบหลายจุดหลายช่อง (Multichannel multipoint distribution service; MMDS) ระหว่างปี พ.ศ. 2532-2556, ผ่านคลื่นวิทยุไมโครเวฟ ระหว่างปี พ.ศ. 2532-2540, ผ่านเคเบิลใยแก้วนำแสง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536-ปัจจุบัน, ผ่านเครือข่ายดาวเทียม ระบบเคยู-แบนด์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532-ปัจจุบัน; ระบบซี-แบนด์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541-ปัจจุบัน อนึ่ง ภาคเอกชนสามารถประกอบการธุรกิจโทรทัศน์ ภายใต้การอนุมัติจากภาครัฐตามกฎหมาย โดยผ่านสายอากาศในส่วนภูมิภาค ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 และผ่านเครือข่ายดาวเทียม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบัน

2.2 เทคโนโลยีโทรทัศน์ดิจิทัล Digital television (DTV) [2]

เป็นเวลาหลายสิบปีที่กิจการโทรทัศน์แอนะล็อกให้บริการสู่ผู้ชมทั้งที่ผ่านดาวเทียม เคเบิลทีวี และจากสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน มีความพยายามลดจำนวนมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ ตั้งแต่ยุคโทรทัศน์ขาว-ดำ ที่มีจำนวนเส้นสแกนต่างถึง 4 ระบบคือ 405, 525, 625 และ 819 เส้น เหลือเพียง 2 ระบบคือ 525 และ 625 เส้น แต่มีระบบโทรทัศน์สี 3 ระบบ คือ NTSC, PAL และ SECAM คือระบบ NTSC 525 เส้น PAL มีทั้ง 525 / 625 เส้น และ SECAM 625 เส้น เมื่อเทคโนโลยีได้รับการพัฒนาไปสู่โทรทัศน์ยุคดิจิทัล จึงคาดหวังกันว่าน่าจะมีมาตรฐานโทรทัศน์ดิจิทัลเพียงมาตรฐานเดียว อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติประเทศหรือกลุ่มประเทศที่เป็นผู้นำทางเทคโนโลยีต่างก็พัฒนามาตรฐานระบบโทรทัศน์ดิจิทัลที่เป็นของตนเองขึ้นมาใช้งาน แต่กระนั้น มีข้อพิงสังเกตเห็นว่าโดยพื้นฐานแล้วมาตรฐานของแต่ละระบบต่างก็ใช้สัญญาณภาพที่เป็นดิจิทัลและใช้การบีบอัดแบบ MPEG-2 เหมือนกัน

โทรทัศน์ดิจิทัล (Digital television หรือ DTV) คือระบบการแพร่สัญญาณภาพเคลื่อนไหวและสัญญาณเสียงไปสู่เครื่องรับโทรทัศน์ด้วยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งแตกต่างกับการใช้สัญญาณแอนะล็อกในระบบโทรทัศน์แอนะล็อก โดยทั่วไป DTV ใช้สัญญาณดิจิทัลที่ถูกบีบอัดและเข้ารหัส MPEG-2 การรับชมจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ถอดรหัส ซึ่งอาจมีมาพร้อมกับตัวเครื่องรับโทรทัศน์เลยหากเป็นโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อรองรับระบบดิจิทัล หรือจะเป็นอุปกรณ์ถอดรหัสที่แยกอยู่โดด ๆ ในอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณที่เรียกว่า STB (Set Top Box) ซึ่งใช้ถอดรหัสสัญญาณและป้อนให้กับเครื่องรับโทรทัศน์แอนะล็อกที่มีใช้งานทั่วไป หากเป็นการรับชมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ก็มีการรับสัญญาณที่สามารถถอดรหัสได้ในระบบโทรทัศน์ดิจิทัล สัญญาณภาพและเสียงที่รับได้มีคุณภาพสูงกว่าระบบโทรทัศน์แอนะล็อก เนื่องจากเทคโนโลยีดิจิทัลมีขีดความสามารถในการขจัดปัญหาของสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าแอนะล็อก ภาพเสียงชัดเจนไม่มีภาพเงา การเปลี่ยนแปลงไปสู่ DTV นับว่าเป็นการปฏิวัติวงการโทรทัศน์ยิ่งกว่าตอนเปลี่ยนจากโทรทัศน์ขาว-ดำไปเป็นโทรทัศน์สี ก่อให้เกิดธุรกิจและโอกาสใหม่ ๆ ในวงการวิทยุกระจายเสียงและแพร่ภาพโทรทัศน์ รวมถึงผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ DTV ได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีทั้งการให้บริการผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม ผ่านเคเบิล ผ่านบรอดแบนด์ และผ่านสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน

มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลผ่านดาวเทียมแบบ DVB-S (Digital Video Broadcasting Satellite) เป็นต้นแบบของมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลระบบอื่นๆ ทั้งในเรื่องของวิธีการมอดูเลตแบบ QPSK, วิธีการบีบอัดและเข้ารหัสข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 และวิธีการแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (Forward Error Correction) ซึ่งมาตรฐาน DVB-S เริ่มถูกนำมาใช้งานในปี ค.ศ.1995 และได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็ว มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก สำหรับลักษณะของการส่งข้อมูลผ่านทางช่องสัญญาณของมาตรฐาน DVB-S แบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ MCPC (Multi Channel per Carrier) ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณโทรทัศน์หลายช่องในรูปของสัญญาณดิจิทัลบนคลื่นพาห်เดียว และ SCPC (Single Channel per Carrier) ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณโทรทัศน์หนึ่งช่องในรูปของสัญญาณดิจิทัลบนคลื่นพาห်เดียว

ตัวอย่างผู้ให้บริการโทรทัศน์ดิจิทัลผ่านดาวเทียมในประเทศต่าง ๆ มีดังนี้ Direct TV และ Dish Network ให้บริการในประเทศสหรัฐอเมริกา Sky Digital ให้บริการในประเทศอังกฤษ Astro ให้บริการในประเทศมาเลเซีย และ True Vision ให้บริการในประเทศไทย การให้บริการโทรทัศน์ดิจิทัล

ผ่านดาวเทียมได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง เพราะมีช่องรายการให้เลือกจำนวนมาก จานรับสัญญาณดาวเทียมมีราคาถูกลง การติดตั้งทำได้สะดวกเนื่องจากจานรับสัญญาณดาวเทียมมีขนาดเล็ก โดยจานรับสัญญาณดาวเทียม Ku Band มีขนาดเพียง 60-90 เซนติเมตร และจานรับสัญญาณดาวเทียม C-Band มีขนาด 150-180 เซนติเมตร

มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเคเบิลแบบ DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable) ใช้วิธีการบีบอัดและเข้ารหัสข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-S แต่จะใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบ QAM แทน ตัวอย่างเช่น การมอดูเลตสัญญาณแบบ 16QAM, 64QAM, 128QAM และ 256QAM พร้อมทั้งมีการใช้รหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) ก่อนการมอดูเลตและส่งสัญญาณ

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน (Digital Terrestrial Television Broadcasting: DTTB) ใช้วิธีการบีบอัดและเข้ารหัสข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-S และ DVB-C ระบบ DTTB ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแทนที่ระบบโทรทัศน์แอนะล็อก โดยระบบใหม่นี้มีข้อดีคือมีจำนวนช่องรายการมากกว่าและมีคุณภาพของภาพและเสียงที่ดีกว่าโทรทัศน์แอนะล็อก สำหรับการรับสัญญาณสามารถกระทำโดยใช้สายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์แบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งจะประหยัดกว่าการใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมหรือการสมัครเป็นสมาชิกเคเบิลทีวี ปัจจุบันระบบ DTTB ในโลกนี้มีอยู่ 4 มาตรฐาน ได้แก่

- 1) ATSC ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2) DVB-T ถูกพัฒนาขึ้นมาในทวีปยุโรป
- 3) ISDB-T ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศญี่ปุ่น
- 4) DTMB ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศจีน

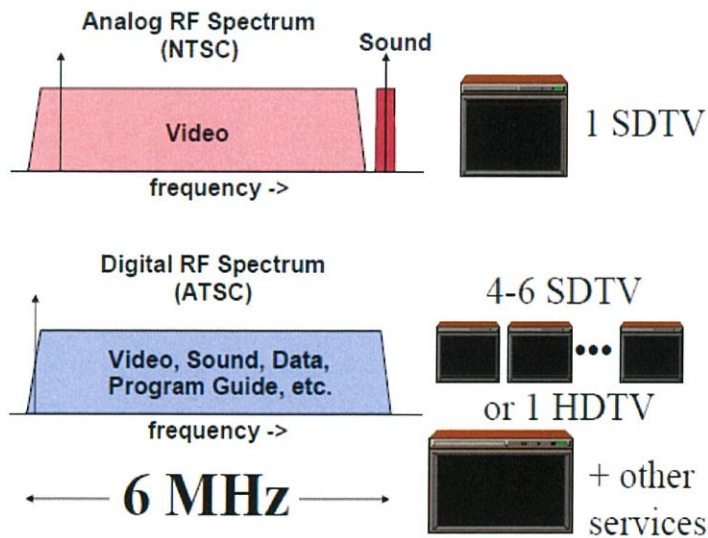
2.3 มาตรฐานสากลของเทคโนโลยีระบบโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน (Digital Terrestrial TV) [2]

2.3.1 มาตรฐาน ATSC

ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล ATSC ได้รับการ พัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1998 เพื่อ ใช้แทนที่ระบบโทรทัศน์แอนะล็อก NTSC 525 เส้น 60 Hz โดยคณะกรรมการ ATSC (Advance Television System Committee) สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ข้อกำหนดในการพัฒนาระบบใหม่นี้คือ ต้องสามารถครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ เมื่อวัดทั้งขนาดพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ และจำนวนประชากร ได้เทียบเท่ากับการให้บริการโทรทัศน์ NTSC แบบดั้งเดิม โดยต้องไม่มีการรบกวนกันกับการให้บริการโทรทัศน์ NTSC ที่มีอยู่เดิม ทั้งนี้ได้มีการทดสอบ การให้บริการโทรทัศน์ดิจิทัล ATSC แล้ว ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า เป็นที่น่าพอใจ อย่างยิ่ง เนื่องจากมีการรบกวนระหว่างช่องสัญญาณความถี่เดียวกันต่ำ จึงสามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณได้มากขึ้น และผู้ชมที่บ้านสามารถรับชมได้อย่างสะดวกเพราะใช้เพียงสายอากาศ ที่ติดตั้งบนหลังคา (roof-top) หรือสายอากาศแบบพกพาเคลื่อนย้ายได้ (Portable) ก็จะรับสัญญาณได้ดี มาตรฐานโทรทัศน์ระบบ ATSC แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 มาตรฐานโทรทัศน์ ระบบ ATSC แบบต่าง ๆ [2]



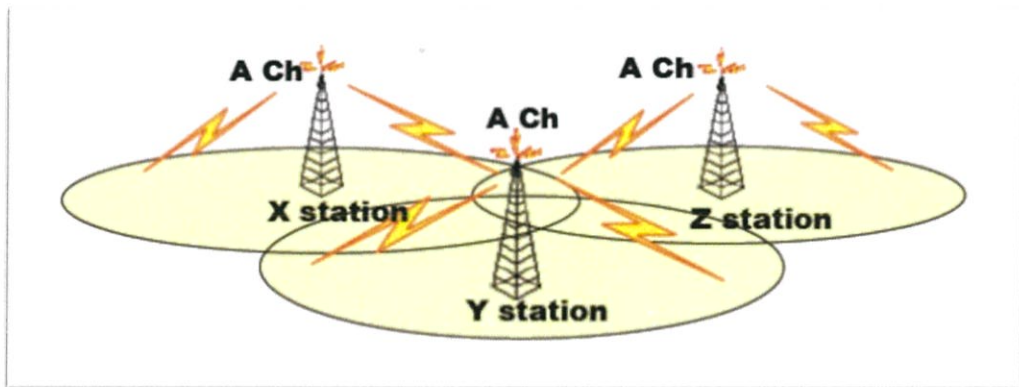
รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบการใช้สเปกตรัมความถี่ของโทรทัศน์สี NTSC และโทรทัศน์ดิจิทัล ATSC [2]

รูปที่ 2.2 แสดงการใช้สเปกตรัมความถี่ของโทรทัศน์ ดิจิทัล ATSC ซึ่งผลจากการใช้เทคโนโลยีคือทำให้ได้เขตบริการที่กว้างไกลกว่ามาตรฐานอื่นๆที่กำลังส่งออกอากาศ (ERP หรือ effective radiated power) เท่ากัน จึงเหมาะสมกับประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีพื้นที่กว้างขวางแต่มีความหนาแน่นของประชากรน้อยโดยประชากร ที่อยู่ในเขต พื้นที่ที่มีความหนาแน่นต่ำ ลักษณะของช่องสัญญาณจะเป็นช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (Gaussian Channel) ดังที่แสดงตามรูป ที่ 1-5 ในขณะที่ประชากร ที่อยู่ในเขตพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงจะมีลักษณะช่องสัญญาณ ที่มีสัญญาณรบกวนแบบเรลีย์ (Rayleigh Channel) หรือช่องสัญญาณไรซ์ (Rice Channel)

2.3.2 มาตรฐาน DVB-T

ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล DVB-T ถูกพัฒนาขึ้นในทวีปยุโรปในปี ค.ศ.1998 เพื่อทดแทนระบบ PAL & SECAM 625 เส้น 50 Hz โดยองค์การ Digital Video Broadcasting Project (DVB) ซึ่งเป็นความร่วมมือกันระหว่าง สถานีวิทยุโทรทัศน์ และบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมวิทยุโทรทัศน์ มาตรฐาน DVB ถูก กำกับดูแลโดยคณะกรรมการร่วม (JTC) ของ European Telecommunication Standards Institute (ETSI), European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) และ European Broadcasting Union (EBU)

โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน DVB-T ถูกออกแบบเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่เขตบริการได้ดีทั้งในบริเวณที่ไม่มีคลื่นวิทยุรบกวนและในบริเวณที่มีคลื่นวิทยุรบกวน โดยเครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ดีไม่ว่าเครื่องรับสัญญาณจะอยู่กับที่หรือกำลังเคลื่อนที่อยู่ก็ตาม หากรับสัญญาณในเขตบริการที่ไม่มีคลื่นรบกวน จะสามารถรับสัญญาณได้ดีแม้ขณะเคลื่อนที่ ระบบถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพการรับ สัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุที่สะท้อนจากภูเขา อาคารหรือสิ่งก่อสร้าง และสามารถรับสัญญาณเดียวกัน ที่ส่งออกมาจากสถานีส่งหลาย ๆ สถานีพร้อมกันได้ ซึ่งโครงข่ายแบบนี้เรียกว่า โครงข่ายความถี่เดียว (SFN หรือ Single Frequency Network) แสดงดังรูปที่ 2.3 นอกจากนี้ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล DVB-T ยังสามารถใช้แถบคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

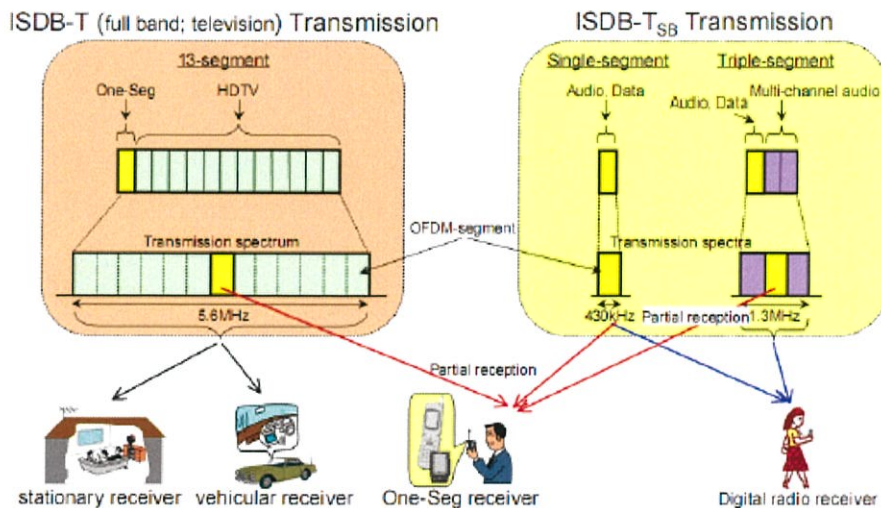


รูปที่ 2.3 เครือข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network) [2]

สัญญาณภาพของระบบ โทรทัศน์ดิจิทัล DVB-T ถูกเข้ารหัสและ บีบอัดแบบ MPEG-2 และสัญญาณเสียงถูกเข้ารหัสและบีบอัดแบบ MPEG-2 Layer 2 ปัจจุบันหลายประเทศโดยเฉพาะประเทศที่เริ่มให้บริการ ได้เริ่มใช้การเข้ารหัสและบีบอัดสัญญาณภาพแบบ MPEG-4 AVC หรือ H.264 และใช้การเข้ารหัสและบีบอัดสัญญาณเสียงแบบ MPEG-4 AAC แทน MPEG-2 สำหรับการมอดูเลตสัญญาณนั้นจะใช้การมอดูเลตแบบแบบ COFDM (Code Orthogonal Frequency Division Multiplex) ซึ่งใช้คลื่นพาห้พหุคูณจำนวน 2,000 และ 8,000 คลื่น แต่ละคลื่นจะมีปริมาณข้อมูลไม่มากนัก จึงมีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุแบบพหุวิถี (Multipath) ได้ดี

2.3.3 มาตรฐาน ISDB-T

ISDB : Integrated Service Digital Broadcasting ถูกพัฒนาในประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ.1999 เพื่อทดแทนระบบ NTSC 525 เส้น 60 Hz โดยกลุ่มผู้พัฒนาได้แก่ ARIB (Association of Radio Industries and Business) และองค์กรการ Digital Broadcasting Expert Group (DiBEG) เป็นหน่วยงานส่งเสริมและสนับสนุนระบบให้แพร่หลายทั่วโลกและแก่บริษัทผู้ผลิตในอุตสาหกรรมวิทยุโทรทัศน์ มาตรฐาน ISDB ครอบคลุมการให้บริการโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (ISDB-S) เคเบิลทีวี (ISDB-C) และโทรทัศน์ภาคพื้นดิน (ISDB-T) ทุกมาตรฐานอยู่บนฐานการบีบอัดสัญญาณมาตรฐาน MPEG-2 ทั้งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงรวมกันในกระแสสัญญาณ MPEG-2 ทรานสปอร์ตสตรีม โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ ISDB-T มีความยืดหยุ่นสูง สามารถให้บริการไม่เฉพาะสัญญาณภาพและเสียงเท่านั้นแต่สามารถให้บริการสื่อประสม (Multimedia) อื่น ๆ เช่น การกระจายข้อมูล (Data Broadcasting) ได้พร้อมกัน โดยทั่วไปจะส่งสัญญาณโทรทัศน์ความชัดเจสูง (HDTV) พร้อมด้วยส่งสัญญาณ ISDB-Tsb ที่เรียกว่าแบบ One-Seg โดยใช้วิธี BST-OFDM (Band Segmented Transmission) สำหรับโทรทัศน์มือถือ คอมพิวเตอร์วางตั้ง (Laptop) และเครื่องรับในยานพาหนะ



รูปที่ 2.4 Segmented OFDM รองรับการส่งสัญญาณหลายบริการพร้อมกัน [2]

2.3.4 มาตรฐาน DTMB

DTMB ย่อมาจาก Digital Terrestrial Multimedia Broadcast เป็นระบบที่ประเทศจีนพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้งานเอง ปัจจุบันชื่อระบบที่เป็นทางการคือ DTMB เปลี่ยนจากเดิมใช้ชื่อว่า DMB-T/H ซึ่งย่อมาจาก Digital Multimedia Broadcast-Terrestrial / Handheld ที่มีเป้าหมายในการพัฒนาให้เป็นโทรทัศน์ดิจิทัล ให้บริการภาคพื้นดินทั้งแบบรับอยู่กับที่ตามบ้านเรือนและแบบมือถือที่เคลื่อนที่ได้

ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้ประกาศระบบโทรทัศน์ดิจิทัลของตัวเอง เมื่อประมาณเดือนสิงหาคม 2549 เรียกว่า GB 20600-2006 อักษร GB มาจากภาษาจีน guo biao หมายถึงมาตรฐานแห่งชาติ ระบบโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน DTMB ประกอบด้วย 2 มาตรฐาน ๆ ที่เหมือนกับ DVB-T/ ISBD-T คือมาตรฐาน DMB-T พัฒนาโดย Tsinghua University กรุงปักกิ่งใช้ อาศัยเทคโนโลยี OFDM แบบหลายคลื่นพาหะ (Multiple Carrier) และอีกมาตรฐานที่เหมือนกับระบบ ATSC พัฒนาโดย Jiaotong

University เมืองเซี่ยงไฮ้ คือมาตรฐาน ADBT-T (Advanced Digital Broadcasting–Terrestrial) ส่งสัญญาณด้วย Single Carrier แบบ 8 VSB เนื่องจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ไม่ได้เลือกระบบใดระบบหนึ่งเป็นมาตรฐานเพียงระบบเดียว คือ DTMB โดยเชื่อมรวมทั้ง 2 มาตรฐานเข้าด้วยกัน มีผลให้ Set Top Box หรือเครื่องรับ ต้องสามารถรับสัญญาณและถอดรหัสสัญญาณได้ ทั้ง 2 มาตรฐาน DTMB ได้เริ่มให้บริการในฮ่องกงและมาเก๊า วันที่ 31 ธันวาคม 2550 ทั้งแบบ SDTV และ HDTV ส่วนจีนแผ่นดินใหญ่เริ่มให้บริการตั้งแต่การถ่ายทอดมหกรรมกีฬาปักกิ่งโอลิมปิก 2008 ในแบบ HDTV

2.4 มาตรฐาน Digital Video Broadcasting–Second Generation Terrestrial (DVB-T2) [3]

DVB-T2 เป็นมาตรฐานของการส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มีหลายๆ ประเทศที่นำ DVB-T2 มาใช้งาน เพราะมีความก้าวหน้าและทันสมัยที่สุด มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด มีความคงทนและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานหรือดำเนินการเชิงธุรกิจหรือเชิงพาณิชย์ และยังสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ที่มีราคาต่ำ ได้นำเสนอการผสมสัญญาณ (modulation) ระบบใหม่สุด และเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้ในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพ-เสียง และบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบโทรศัพท์มือถือ (mobile phone) การใช้เทคนิคใหม่นี้ทำให้ DVB-T2 มีประสิทธิภาพสูงกว่า 50% ของประสิทธิภาพการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลอื่นๆ ที่ใช้งานในโลก ดังนั้นในช่วงระยะเวลาที่เลิกการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินแบบแอนะล็อกใกล้เข้ามามาก ในกลุ่มประเทศแถบยุโรปได้สร้างแรงผลักดันในการปรับปรุงมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในเรื่องประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่ให้ทันสมัย เหมือนความสำเร็จในการปรับปรุงมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านระบบดาวเทียม DVB-S2 ที่ได้ดำเนินการไปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เช่นเดียวกับกับมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ทั้งหมดของ DVB การส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล DVB-T2 มีพื้นฐานอยู่กับความต้องการในการตอบสนองในเชิงธุรกิจ ส่วนที่สำคัญคือ ความต้องการที่จะเพิ่มขนาดสัญญาณสำหรับการส่งรายการโทรทัศน์ให้มากขึ้น ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณให้มีความทนทาน และสามารถที่จะนำมาใช้งานกับสายอากาศเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์เดิมที่กำลังใช้งานได้

DVB-T2 รุ่นแรกได้ประกาศใช้งานด้วยมาตรฐาน ETSI ในเดือนกันยายน พ.ศ.2552 (EN302 755) และต่อมาเป็นรุ่นที่ได้รับการปรับปรุงขึ้นมาใหม่ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นกลุ่มย่อยของ DVB-T2 เหมาะสมสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (portable) และการรับสัญญาณโทรศัพท์แบบมือถือ (T2-Lite) ถูกนำเสนอในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2554 (DVB BlueBook A122)

2.4.1. การทำงานของ DVB-T2

เช่นเดียวกับ DVB-T คุณสมบัติทางเทคนิคของ DVB-T2 ใช้หลักการผสมสัญญาณ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) โดยการแบ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นความถี่ย่อยจำนวนมาก เพื่อให้ส่งสัญญาณที่มีความคงทนสิ่งที่เหมือนกันของ DVB-T และ DVB-T2 มีการเสนอให้มีการปรับโหมดการทำงานได้หลายแบบ เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ที่มีความยืดหยุ่น DVB-T2 ใช้เทคนิคระบบป้องกันแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณเหมือนกับมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (DVB-S2) และ

มาตรฐานการส่งโทรทัศน์ผ่านสายนำส่งสัญญาณ (DVB-C2) เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณ LDPC (Low Density Parity Check) รวมกันกับการเข้ารหัสสัญญาณ BCN (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) เพื่อให้สัญญาณมีความคงทน หลาย ๆ ทางเลือกมีให้ใช้ในการกำหนดจำนวนคลื่นความถี่ที่ใช้ออกอากาศ และกำหนดขนาดช่วงคาบเวลา (Guard Interval Size) ในการกำหนดสัญญาณนำร่อง (Pilot Signal) ดังนั้นสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเป้าหมายในระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ในช่องคลื่นความถี่ที่กำหนดคุณสมบัติที่สำคัญของเทคโนโลยีใหม่ DVB-T คือ Multiple Physical Layer Pipe ให้มีการแยกปรับโหมดเกี่ยวกับการกำหนดค่าความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ในการที่จะรองรับการให้บริการส่งโทรทัศน์ในรูปแบบต่างสภาพการใช้งาน ตัวอย่าง เช่น การรับสัญญาณโทรทัศน์ภายในอาคาร หรือการรับสัญญาณโทรทัศน์จากสายอากาศที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารที่ปกอาศัย อีกทั้งยังช่วยให้การส่งสัญญาณโทรทัศน์ โดยเฉพาะเครื่องรับโทรทัศน์ช่วยประหยัดพลังงานในการถอดรหัสสัญญาณเฉพาะการส่งสัญญาณโทรทัศน์รายการเดียวเมื่อเทียบกับการถอดรหัส การให้บริการส่งสัญญาณหลายรายการรวมกัน (Multiplex)

Alamouti coding วิธีการหลากหลายในการส่งสัญญาณโทรทัศน์จะช่วยปรับปรุงเขตบริการรับสัญญาณโทรทัศน์ในเครือข่ายการส่งโทรทัศน์ความถี่เดียวกัน ในขนาดพื้นที่บริการขนาดเล็ก

Rotated Constellations ให้การเพิ่มความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ในการส่งการระดับต่ำ

Extended interval ขยายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลสัญญาณ ในการเพิ่มข้อมูล (Bit) เพิ่มขนาดกลุ่มข้อมูล (Cell) เพิ่มช่องคาบเวลา และเพิ่มช่วงการใช้คลื่นความถี่

Future Extension Frame (FEF) ให้มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่สอดคล้องการปรับคุณภาพสูงขึ้นในอนาคต

2.4.2 T2-Lite

T2-Lite คือ การเพิ่มกรอบบรรจุข้อมูลในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ครั้งแรกที่ให้เทคนิคสู่ระบบ FEF รายละเอียดถูกนำเสนอในเดือนกรกฎาคม ปีพ.ศ. 2554 ซึ่งรองรับการส่งโทรทัศน์แบบชนิดเคลื่อนที่ (portable) และยังทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงในการดำเนินการ รายละเอียดใหม่ที่เสนอเป็นส่วนย่อย ในการเพิ่มเติมอัตราการใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณ LDPC ในข้อกำหนดเทคนิคของ DVB-T2 เมื่อให้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเฉพาะการรับสัญญาณโทรทัศน์แบบชนิดเคลื่อนที่ (Portable) ประกอบด้วย ส่วนย่อย ของ T2-Lite และ อัตราข้อมูลที่จำกัด 4 Mbit/s ต่อระบบที่ส่งข้อมูล (Physical Layer Pipe : PLP) วิธีการดำเนินที่ชัดเจนถูกลดลง 50% กลไกของระบบ FEF ช่วยให้การส่งข้อมูล T2-Lite และ T2-Base สามารถส่งข้อมูลในช่องสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ (RF) ในหนึ่งช่องสัญญาณ

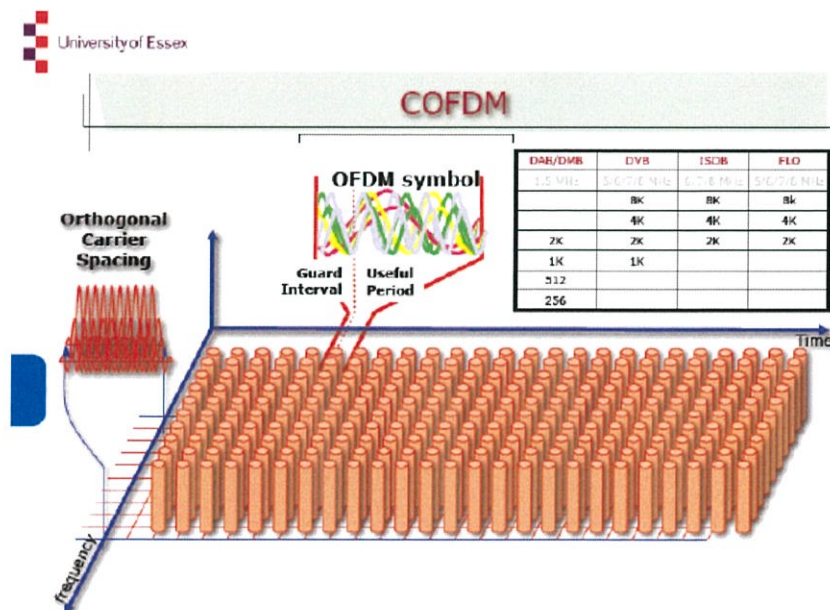
2.4.3. การตลาดในการปรับใช้ DVB-T2

ในหลายประเทศประเทศประเทศที่จัดตั้งสถานีส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล DVB-T มีความกระตือรือร้นในการใช้กฎหมายควบคุมให้มีการเลิกส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อกอย่างสมบูรณ์ในขบวนการที่จะปล่อยให้มีความถี่ในย่านความถี่ UHF และ VHF วางลงเพื่อนำไปใช้งานในกิจการอื่นทางเลือกอย่างหนึ่งในการเลิกการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อก แนะนำให้ใช้บริการใหม่ ด้วยเทคโนโลยี DVB-T2 วิธีนี้สามารถนำมาใช้ได้ตัวอย่าง เช่น การพลิกเปลี่ยนการส่งสัญญาณโทรทัศน์หลายรายการที่ให้บริการส่งโทรทัศน์ความชัดสูง (HDTV) หลายช่องรายการโทรทัศน์

มือถือ (Mobile TV) บริการส่งวิทยุกระจายเสียง พร้อมกับการบริการนวัตกรรมบริการส่งข้อมูล (Datacasting Service) ที่อาจจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกับ DVB-T ที่กำหนดมาตรฐานของเป้าหมาย ไม่ใช่เฉพาะเครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้สายอากาศติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัย และสายอากาศบนเครื่องรับโทรทัศน์ แต่จะใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PCs) เครื่องคอมพิวเตอร์กระเป๋าหิ้ว (laptops) เครื่องรับโทรทัศน์ในรถยนต์ และอุปกรณ์ทั้งหมดในนวัตกรรมอุปกรณ์การรับสัญญาณดิจิทัล

ในหลายประเทศที่ได้ส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล DVB-T ไปแล้ว การถ่ายโอนระบบการส่งโทรทัศน์เป็น DVB-T2 จำเป็นต้องจัดการอย่างระมัดระวังบริการส่งโทรทัศน์ DVB-T และ DVB-T2 สามารถใช้งานร่วมกันได้ในบางครั้ง และข้อพิสูจน์จากประสบการณ์ในประเทศออสเตรเลียส่งโทรทัศน์ DVB-T เข้ารหัสสัญญาณภาพโทรทัศน์ MPEG-2 และประเทศฝรั่งเศสส่งโทรทัศน์ DVB-T เข้ารหัสสัญญาณภาพโทรทัศน์ MPEG-4 ซึ่งให้บริการส่งโทรทัศน์ความชัดสูง (HDTV) ภาคพื้นดินใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่ได้ใช้การส่งโทรทัศน์ DVB-T2 กล่าวได้ว่าราคาเครื่องรับโทรทัศน์ DVB-T2 ราคาได้ลดลงเป็นการส่งสัญญาณและการคาดหวังว่าราคาจะใกล้เคียงกับราคาเครื่องรับโทรทัศน์ DVB-T ส่งผลให้เป็นทางเลือกสำหรับการเปิดตัวให้บริการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลในประเทศที่ยังไม่ได้ให้บริการส่งโทรทัศน์ DVB-T มาก

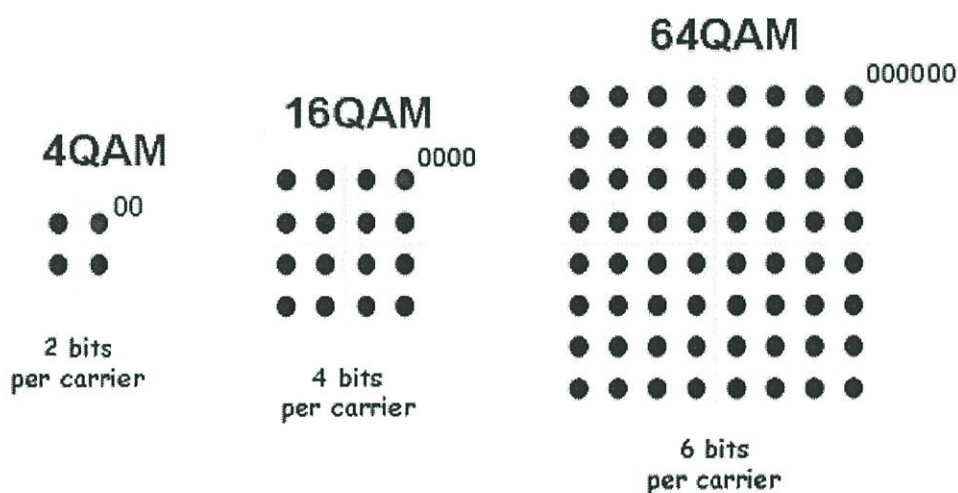
2.4.4 เทคนิคที่ใช้ในมาตรฐาน DVB-T2



รูปที่ 2.5 COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [3]

OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) การผสมสัญญาณคลื่นวิทยุ ในชุด Modulator จะใช้เทคนิค OFDM เป็นการใชแถบคลื่นความถี่ (Bandwidth) ที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ OFDM เป็นแบ่งคลื่นความถี่ในการส่งสัญญาณหลายความถี่ในแถบคลื่นความถี่ที่ใช้งาน (การ

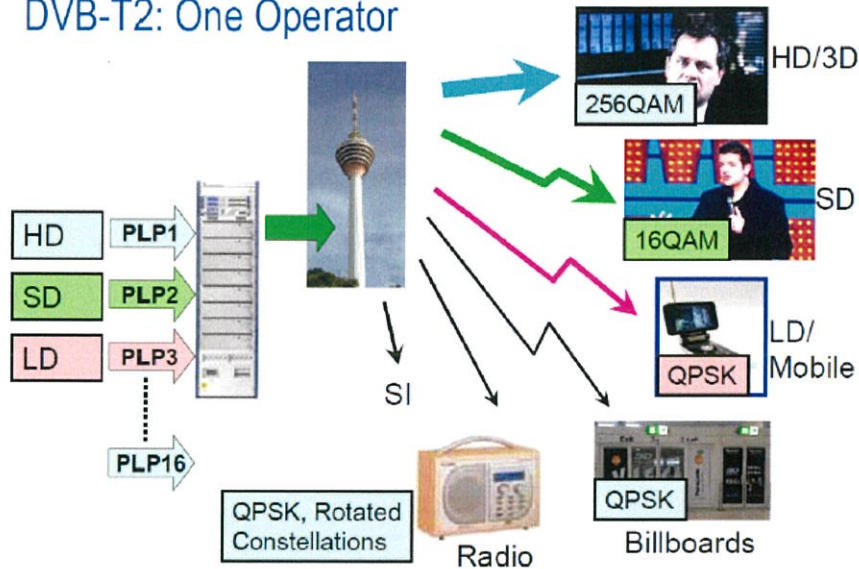
ส่งโทรทัศน์แบบอื่นใช้ส่งคลื่นความถี่เดียวในแถบคลื่นความถี่ที่ใช้งาน) ดังรูปที่ 2.5 ข้อมูลสัญญาณโทรทัศน์จะถูกแบ่งข้อมูลกระจายเพื่อแยกส่งไปกับคลื่นความถี่หลาย ๆ คลื่น การแบ่งคลื่นส่งวิทยุเป็นคลื่นสัญญาณวิทยุย่อยๆ หลายความถี่ คือ ระบบ 2K Mode = 1705 Carriers และระบบ 8K Mode = 6817 Carriers ส่วน 32K Mode = 27,265 Carriers โดยในแต่ละคลื่นความถี่ ย่อยสามารถผสมสัญญาณวิทยุในระบบ QPSK เนื่องจากระบบการส่งใช้คลื่นความถี่มากและในการส่งสัญญาณมีการสะท้อนของคลื่นสัญญาณมากจึงต้องออกแบบต่างจากการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมและในเคเบิล และในการรับสัญญาณอาจมีความผิดพลาดจึงมีการใช้ error correcting (Reed-Solomon) ข้อมูลภาพและเสียงที่ถูกแบ่งเป็นส่วนๆ อาจมีหลายรายการส่งออกไปพร้อมกัน เมื่อถูกส่งแพร่ภาพออกอากาศไปแล้ว เครื่องรับโทรทัศน์ เมื่อรับสัญญาณแล้วก็จะนำมาจัดการและแบ่งออกเป็นสัญญาณโทรทัศน์หลาย ๆ รายการตามที่ได้รับ ในการส่งโทรทัศน์ DVB-T ก่อนที่ส่งออกอากาศมีการเข้ารหัส COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) จะต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลที่ลดขนาดข้อมูลให้น้อยลง หรือที่เรียกว่าการบีบอัด สัญญาณ (compress signal) โดยใช้มาตรฐาน MPEG-2 และ DVB-T2 ใช้การบีบอัดสัญญาณ H.264 (MPEG-4) สำหรับสัญญาณภาพ และ ACC สำหรับสัญญาณเสียง



รูปที่ 2.6 การมอดูเลชันสัญญาณควอดเรเจอร์-แอมพลิจูด (Quadrature Amplitude Modulation) [3]

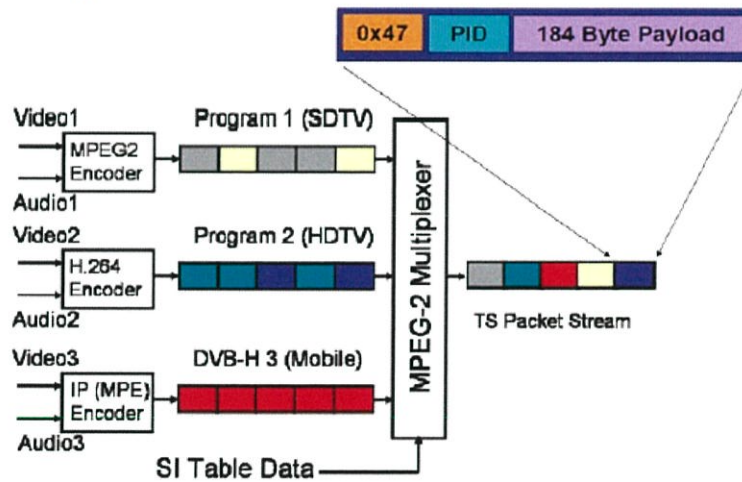
QAM (Quadrature Amplitude Modulation) เป็นการใช้คลื่นความถี่เดียว แต่การผสมสัญญาณใช้เทคนิคระดับการรวมสัญญาณ เช่น 16-QAM (4 bits per carrier), 64-QAM (6 bits per carrier) และมีการพัฒนาให้เพิ่มประสิทธิภาพเป็น 128-QAM และ 256-QAM ดังรูปที่ 2.6 ข้อดีในระบบนี้ไม่มีการรบกวนจากสัญญาณภายนอก และผลจากคลื่นสะท้อน (Reflections Effect) สำหรับส่งสัญญาณ 8 MHz ใช้ 64-QAM ในการส่งสัญญาณจะได้ข้อมูล 38.5 Mbit/s

DVB-T2: One Operator



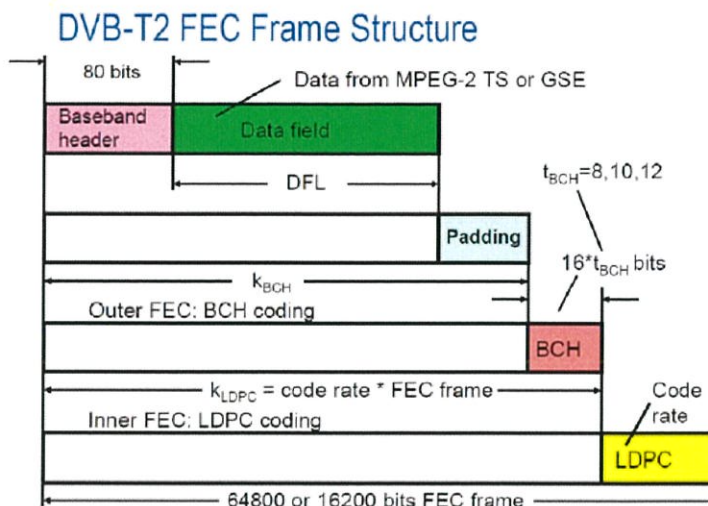
รูปที่ 2.7 การส่งโทรทัศน์โดยใช้ DVB-T2 [3]

Transport Stream



รูปที่ 2.8 แลวข้อมูลที่ผ่านการลดขนาด (Transport Stream) [3]

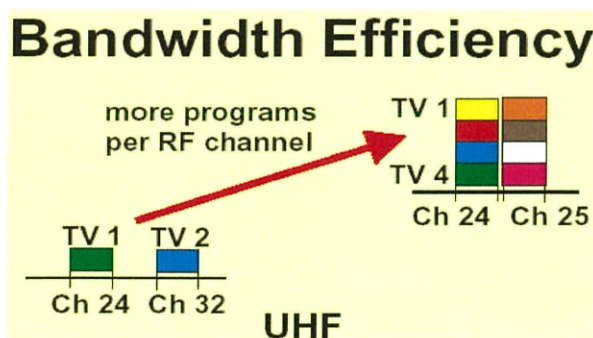
Transport Stream คือ เทคนิคการส่งสัญญาณในที่ให้บริการส่งสัญญาณโทรทัศน์หลาย ๆ รูปแบบ เช่น ส่งโทรทัศน์มาตรฐาน SD (MPEG-2) ส่งโทรทัศน์ความชัดเจสูง SDTV และส่งสัญญาณโทรทัศน์ในลักษณะข้อมูล IP (MPE) พร้อมกันโดยใช้เทคนิครวมสัญญาณ (Multiplex) ของมาตรฐาน DVB-T2 ดังรูปที่ 2.8 สามารถส่งสัญญาณได้พร้อมกันในหนึ่งช่องสัญญาณโทรทัศน์ที่เดิมใช้ส่งโทรทัศน์ระบบแอนะล็อกได้เพียงหนึ่งช่องรายการโทรทัศน์



รูปที่ 2.9 การเข้ารหัสข้อมูลด้วยรหัสตรวจสอบแบบ FEC (Frame Error Correction) [3]

FEC (Frame Error Correction) การส่งข้อมูลตามมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ DVB-T2 จะแบ่งข้อมูลที่ได้จากการรวมสัญญาณโทรทัศน์ในภาค Multiplex ออกเป็นกลุ่มมีกรอบการจัดเรียงข้อมูลเพื่อให้รู้ว่าข้อมูลใดเป็นการให้บริการโทรทัศน์รูปแบบใด โดย Baseband header จะเป็นตัวแจ้งรายละเอียดของข้อมูลที่อยู่ในกรอบว่าเป็นข้อมูลอะไร Data field เป็นส่วนที่เก็บข้อมูล Padding จะเป็นตัวบอกขอบเขตของกรอบข้อมูล BCH และ LDPC เป็นการเข้ารหัสข้อมูลสำหรับแก้ไขความผิดพลาดข้อมูลที่ส่งออกไป

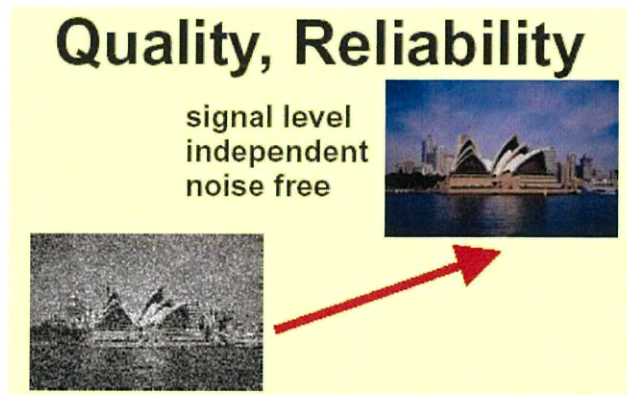
2.5 ประโยชน์ของระบบโทรทัศน์ดิจิทัล [4]



รูปที่ 2.10 การใช้ความกว้างช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ [4]

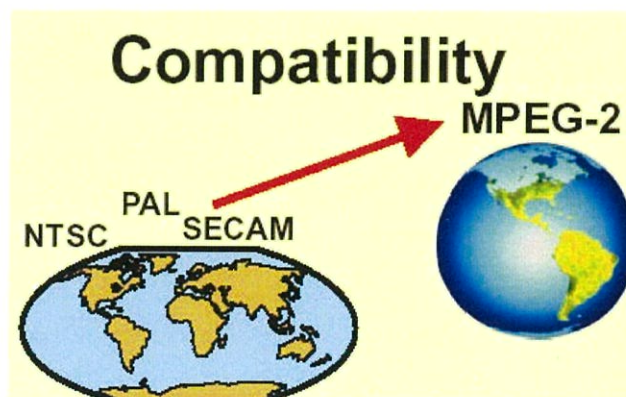
1) Bandwidth Efficiency (ใช้ความกว้างช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ) สามารถจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังรูปที่ 2.10 จากเดิมเป็นระบบแอนะล็อกใช้ช่องสัญญาณหนึ่งช่องต่อหนึ่งรายการและวางช่องสัญญาณคลื่นความถี่ติดกัน หรือสถานีส่ง ๆ ใกล้เคียงกัน ไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่อยู่ติดกันได้ แต่ในระบบดิจิทัลสามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่ติดกัน ทำให้ใช้ช่องสัญญาณได้เต็มที่ครบทุกช่อง และสามารถออกอากาศในพื้นที่ใกล้เคียงกันได้โดยไม่รบกวนกัน และใน

หนึ่งช่องสัญญาณสามารถออกอากาศได้หลายๆรายการไปพร้อม ๆ กัน (Multi Channel) ทำให้ส่งรายการได้มากขึ้นกว่าเดิม เช่น จากระบบแอนะล็อกใช้ช่องสัญญาณ CH21 ถึง CH69 (48 ช่อง) ใช้ออกอากาศหนึ่งช่องต่อหนึ่งรายการโทรทัศน์ซึ่งเท่ากับ 48 รายการเท่านั้น หากเปลี่ยนเป็นระบบดิจิทัล ช่องหนึ่งสามารถส่งได้ 4 รายการ ทำให้สามารถออกอากาศรายการโทรทัศน์ได้ 4x48 จะเท่ากับ 192 รายการ (เป็นการยกตัวอย่างเปรียบเทียบให้เห็นเท่านั้น)



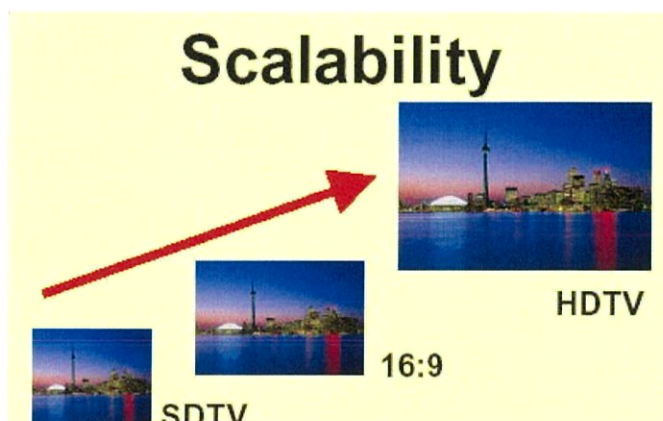
รูปที่ 2.11 สัญญาณมีคุณภาพสูง [4]

2) Quality Reliability (สัญญาณมีคุณภาพที่ดีและไม่มีกรรบกวน) ระบบแอนะล็อกมีการผสมคลื่นแบบต่อเนื่อง สภาวะแวดล้อมมีผลกระทบทำให้เกิดการรบกวนและลดทอนสัญญาณลง สัญญาณภาพจะถูกรบกวนและถูกซีมซาบไปมาก ทำให้มีสัญญาณแปลกปลอมสอดแทรกเข้ามารบกวนได้ง่าย การรับชมภาพจึงไม่ชัดเจน สัญญาณภาพขาดหายและเกิดสโนว์เข้ามารบกวนได้ แต่ระบบดิจิทัลมีการผสมคลื่นแบบเข้ารหัสสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง (Digital) มีการเข้ารหัส (Decode), ถอดรหัส (Encode) และมีระบบควบคุมเพื่อชดเชยสัญญาณได้ด้วย จึงทำให้สัญญาณไม่ถูกรบกวนได้ สัญญาณภาพมีความต่อเนื่อง ภาพที่รับได้มีความคมชัดมาก ยกตัวอย่างให้เห็นดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 ความเป็นมาตรฐานของการเข้ารหัสแบบ MPEG-2 [4]

3) Compatibility (รูปแบบสัญญาณเป็นมาตรฐานเดียวกัน) ระบบแอนะล็อกแบบเดิมมีสัญญาณภาพหลายมาตรฐาน คือ PAL, NTSC, SECAM ทำให้การควบคุมคุณภาพ, การตัดต่อภาพและตกแต่งภาพระหว่างมาตรฐานที่แตกต่างกันทำได้ยาก และยังทำให้คุณภาพด้อยลงเมื่อผ่านกระบวนการตัดต่อหลาย ๆ ครั้ง แต่ระบบดิจิทัลใช้มาตรฐานการเข้ารหัสภาพแบบเดียว คือ MPEG-2 ซึ่งให้คุณสมบัติของภาพที่หลากหลาย มีกระบวนการสร้างภาพที่ซับซ้อนกว่า แต่ให้คุณภาพที่ดีมากกว่า สามารถนำไปใช้งานในสื่อผสมอื่นๆที่หลากหลาย เป็นที่นิยมแพร่หลายที่สุดในขณะนี้ ทำให้การนำไปใช้งานได้ครอบคลุมทุกวงการ การสื่อสารเป็นมาตรฐานเดียวกัน แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.12

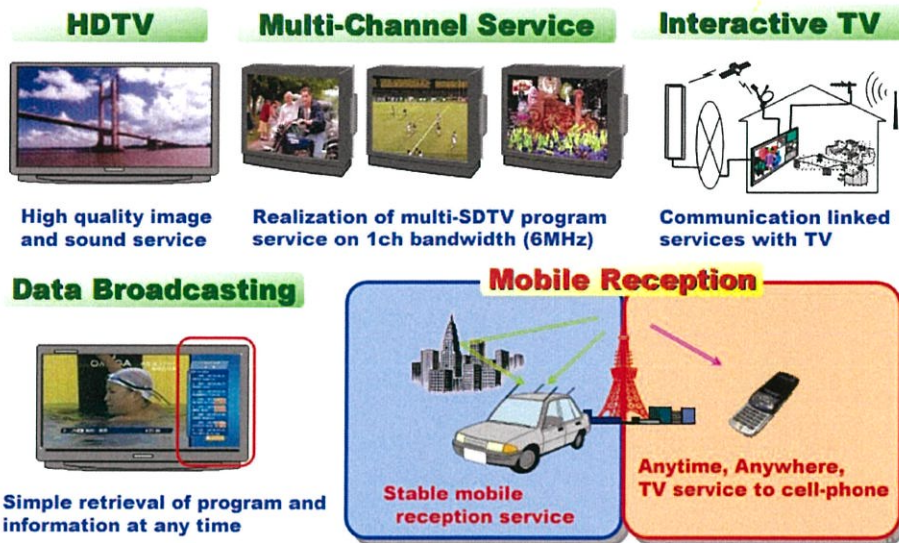


รูปที่ 2.13 Scalability [4]

4) Scalability (ขนาดของการมองภาพที่ให้มุมมองภาพที่ดีขึ้น) ระบบแอนะล็อกมีขนาดของกรมองภาพที่แคบ (758 x 578 - PAL อัตราส่วนภาพ 4:3) และภาพมีความละเอียดต่ำ การแสดงผลที่จอภาพไม่มีความชัดเจน ยิ่งจอภาพมีขนาดมากขึ้นยิ่งให้รายละเอียดต่ำกว่า ซึ่งเป็นแบบ SDTV (Standard Definition Television) ทั่วไป ยิ่งนำไปแสดงผลบนจอโทรทัศน์ที่มีหน้าจอนขนาดใหญ่มาก ๆ ทำให้ภาพขาดความชัดเจน แต่ระบบดิจิทัลสามารถเลือกการเข้ารหัสสัญญาณภาพได้หลายขนาด (1080 x 720 , 1920 x 1080 ที่อัตราส่วนภาพ 16:9) ให้ความละเอียดสูง ทำให้การแสดงผลที่จอภาพมีความคมชัดสูงแบบ HDTV (High Definition Television) มีมุมมองภาพที่กว้างมากขึ้น (Width Screen) ภาพที่ได้ดูสมจริงและมองเห็นภาพได้กว้างขวางมากขึ้น ดังรูปที่ 2.13

2.6 การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัล [4]

การเปลี่ยนมาใช้ระบบการแพร่สัญญาณแบบดิจิทัลยังมีประโยชน์อื่นๆอีกหลายด้าน โดยแบ่งเป็นแต่ละประเภท ๆ ที่จะนำมากล่าวก็เพื่อแสดงถึงลักษณะต่าง ๆ ที่สถานีโทรทัศน์สามารถพัฒนาระบบดิจิทัลนี้ไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับประเทศของเรา ซึ่งที่ญี่ปุ่นได้ทำไปแล้ว อันเกิดจากความมุ่งมั่นที่จะนำมาพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์



รูปที่ 2.14 การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัล [4]

2.6.1 HDTV (High Definition Television)

ซึ่ง HDTV นี้เองเป็นเหตุผลแรกเลยที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบดิจิทัล, HDTV มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า "โทรทัศน์ความคมชัดสูง" หรือ "โทรทัศน์รายละเอียดสูง" ซึ่งระบบ Digital สามารถแสดงภาพที่มีขนาดความคมชัดที่ดีกว่าโทรทัศน์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่เป็นระบบ Analog ดังนั้น HDTV จึงเป็นโทรทัศน์ที่มีคุณภาพทั้งภาพและเสียงสูงกว่าโทรทัศน์ทั่วไป มีระดับความคมชัดสูงสุด มีมุมมองภาพที่กว้างขึ้น มีจอแสดงภาพที่กว้างมากกว่าโทรทัศน์ปัจจุบัน ระบบเสียงเป็นแบบรอบทิศทาง เหมือนกับการรับชมภาพจากจอภาพยนตร์ ที่ผู้ชมจะได้รับชมภาพที่สมจริงมากยิ่งขึ้น

2.6.2 Multi-Channel Service

เพิ่มการให้บริการช่องสัญญาณที่หลากหลาย ในระบบดิจิทัลสามารถส่งสัญญาณภาพ (เรียกว่าโปรแกรม หรือรายการ) ไปได้มากขึ้น รายการโทรทัศน์ (SDTV) จะถูกส่งสัญญาณไปได้พร้อม ๆ กัน หลายรายการ โดยผ่านช่องสัญญาณ (Bandwidth) เพียงช่องเดียว ซึ่งมีความกว้างเพียง 6 MHz.

2.6.3 Interactive Service

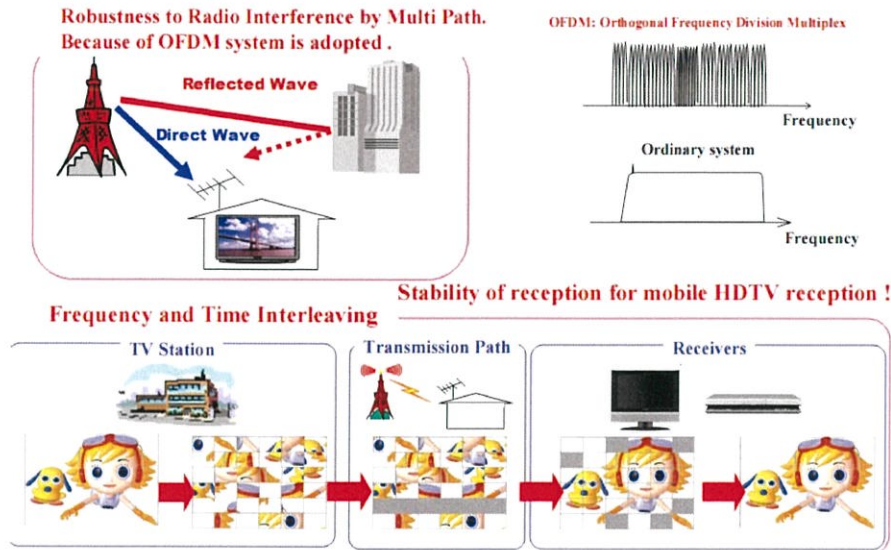
การแพร่คลื่นระบบดิจิทัลสามารถทำเป็นระบบตอบสนอง,รับและส่งข้อมูลระหว่างสถานีกับผู้ชมรายการได้ เป็นบริการเสริมสำหรับการจัดรายการโทรทัศน์ที่ผู้รับชมสามารถเลือกข้อมูลสำหรับตอบโต้กับรายการโทรทัศน์ได้ผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณอื่น ๆ ที่ติดตั้งเสริมขึ้นมา

2.6.4 Data Broadcasting

การให้บริการข้อมูลที่ส่งไปพร้อมสัญญาณภาพ (Video) ในระบบดิจิทัลสามารถใส่รายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ไปพร้อมสัญญาณ Video เพื่อให้ผู้รับบริการเลือกเปิดดู หรือใช้ค้นหาข้อมูลเสริมอื่น หรือเปิดดูรายการโทรทัศน์ เป็นการให้บริการข้อมูลที่หลากหลายผ่านช่องรายการโทรทัศน์

2.6.5 Mobile Reception

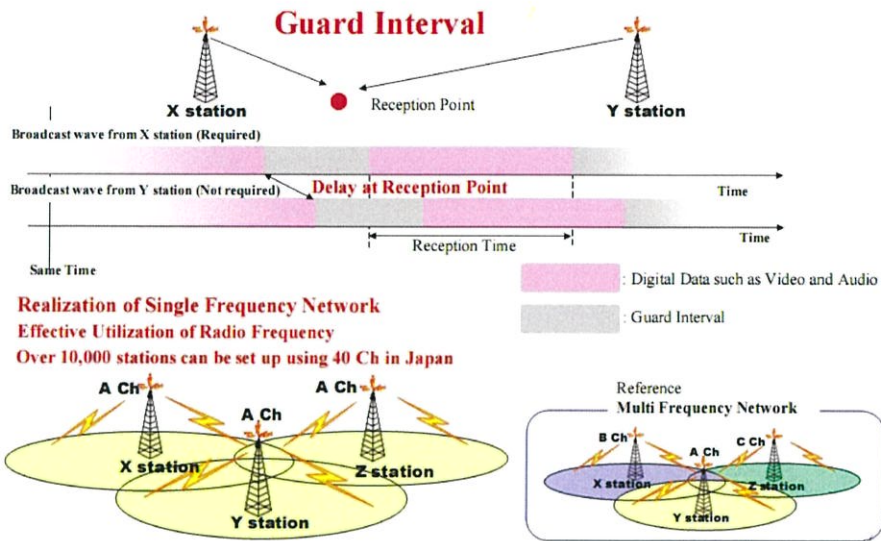
การแพร่กระจายคลื่นด้วยระบบดิจิทัลรองรับการส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์พกพาประเภทต่าง ๆ ได้ โดยผู้รับบริการสามารถรับสัญญาณภาพและเสียงด้วยโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ทุกสถานที่และทุกเวลา ที่มีสัญญาณส่งไปถึง



รูปที่ 2.15 Robustness against Multi-Path [4]

2.6.6 Robustness against Multi-Path

สัญญาณดิจิทัลมีความคงทนต่อความผิดพลาดเมื่อระบบ Error (Robustness) เมื่อเกิดการปะทะหรือสอดแทรกจากสัญญาณเดียวกันสะท้อนมาจากหลาย ๆ ทิศทาง (Multi-Path) โดยใช้กรรมวิธีการผสมคลื่นแบบ QPSK ทำให้สัญญาณมีอัตราส่วนของสัญญาณรบกวนต่ำ และสร้างคลื่นพาหะย่อยด้วยกระบวนการ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) ในแต่ละสัญญาณพาหะย่อยจะถูกทำให้รูปร่างมีความตั้งฉากซึ่งกันและกันกับสัญญาณพาหะย่อยอื่น ๆ ดังรูปที่ 2.15 ด้วยวิธีการจัดการสัญญาณในลักษณะนี้ทำให้แม้แต่สัญญาณพาหะย่อยที่อยู่ใกล้กันซ้อนทับกันก็ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน และเสริมกระบวนการสลับข้อมูลอีก 2 ลักษณะคือการสลับข้อมูลทางด้านแกนเวลาและทางด้านความถี่ของสัญญาณ (Frequency and Time Interleaving) เพื่อป้องกันการผิดพลาดจากการรบกวนแถบสัญญาณข้อมูล(รายการภาพและเสียง) และข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความผิดพลาดจะถูกส่งไปพร้อมกับสัญญาณพาหะย่อยที่แยกจากกันด้วย ดังนั้นการแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูลในแต่ละสัญญาณพาหะย่อย จะใช้วิธีการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดที่ปลายทาง เรียกกระบวนการนี้ว่า FEC (Forward Error detection and Correction)



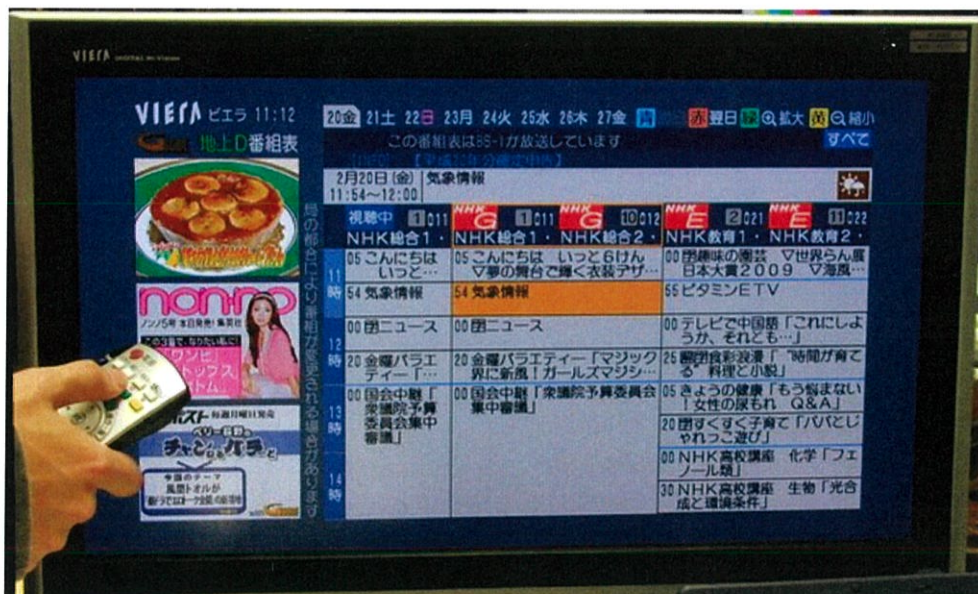
รูปที่ 2.16 Guard Interval [4]

2.6.7 Guard Interval

ป้องกันการสอดแทรกรบกวนของสัญญาณเงาและสัญญาณสะท้อน ดังรูปที่ 2.16

2.6.8 Single Frequency Network (SFN)

รายการเดียวกันออกอากาศความถี่เดียวกัน อยู่ในสถานที่ใกล้เคียงกัน สามารถออกอากาศได้โดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน

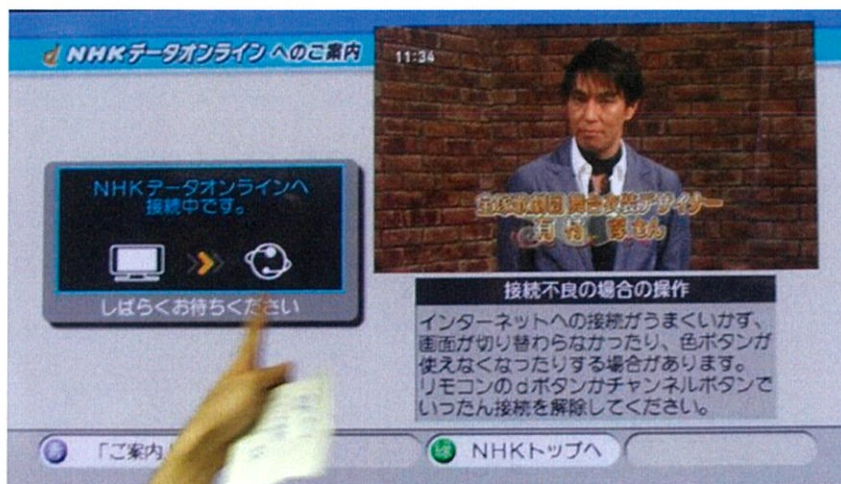


รูปที่ 2.17 EPG (Electronic Program Guide) [4]

2.6.9 EPG (Electronic Program Guide)

ถือเป็นการบริการ Data Boardcasting ประเภทหนึ่ง เป็นบริการข้อมูลส่งไปพร้อมกับสัญญาณภาพ เป็นเสมือนแผนผังของรายการต่าง ๆ ที่เป็นข้อความบอกถึงรายละเอียดต่าง ๆ ทำให้ผู้รับบริการสามารถเปิดเลือกชมรายละเอียดการออกอากาศ อาทิ ค้นหาผังรายการ, เวลาเริ่มและเวลาจบของรายการ, ข้อมูลสั้นๆประกอบรายการ, ตรวจสอบสภาพภูมิอากาศ, พยากรณ์อากาศ, ค้นหารายการท้องถิ่น, บอกรายละเอียดบริการเสริมอื่น ๆ ดังรูปที่ 2.17 ในประเทศญี่ปุ่นจะแสดงรายการโทรทัศน์ล่วงหน้าได้ 8 วัน ผู้ชมสามารถใช้รีโมทกดปุ่มเลือกค้นหารายการที่กำหนดไว้ หรือเลือกแสดงข้อมูลต่าง ๆ ได้สะดวกด้วยตนเองและสามารถตั้งเวลาเพื่อบันทึกรายการ ตามที่ผังรายการกำหนดไว้ได้ โดยผ่านตัวรีโมทควบคุมผ่าน Set Top Box (STB) ที่เชื่อมต่อกับ Recorder ได้โดยตรง (หากต่ออุปกรณ์บันทึกร่วมกับ STB)

บริการ EPG (Electronic Program Guide) มี 2 ลักษณะ คือ Present Program และ Following Program ใช้โปรแกรมภาษา BML (Broadcast Markup Language)



รูปที่ 2.18 Data Online [4]

2.6.10 Data Online

เป็นบริการเสริมเช่นเดียวกับ Data Broadcasting ดังรูปที่ 2.18 สามารถเปิดเชื่อมต่อข้อมูลเข้ากับเครือข่ายระบบอินเทอร์เน็ตและบริการออนไลน์ ได้พร้อมๆกับเลือกชมรายการโทรทัศน์ ค้นหาและเชื่อมต่อข้อมูลได้ตลอดเวลาแบบ Real Time คล้าย ๆ โปรแกรม WAP ผ่านระบบมือถือ โดยต้องต่อสาย Network ผ่าน ADSL หรือ IP Internet อื่น ๆ เช่น เปิด Email, ค้นหาข้อมูล หรือใช้สำหรับผู้รับบริการสามารถทำธุรกรรมต่างๆผ่านรายการโทรทัศน์ได้หลากหลาย เช่นอาจทำเป็นระบบ E-Commerce มีการสั่งซื้อสินค้าผ่านรายการโทรทัศน์ได้นั่นเอง (ขึ้นอยู่กับว่าสถานีโทรทัศน์ทำขึ้นมาให้บริการ)



รูปที่ 2.19 Closed Captioning [4]

2.6.11 Closed Captioning

บริการนี้เกิดขึ้นก็เพื่อวัตถุประสงค์ในการช่วยเหลือคนหูหนวกหรือผู้มีปัญหาทางการได้ยิน ไม่ให้มีอุปสรรคในการรับชมรายการ ดังรูปที่ 2.19 อนึ่งคุณสมบัติ Closed captioning นี้จะคล้ายคลึงกับ Captioning ที่มีในเครื่องรับทีวีแอนะล็อกชนิดสนับสนุนฟังก์ชัน Teletext โดยลักษณะของบริการ Closed captioning โดยทั่วไปจะเป็นกรอบสี่เหลี่ยมสีดำปรากฏอยู่ด้านล่างของจอภาพ ภายในแสดงข้อความที่ตัวละครกำลังพูดอยู่ในขณะนั้น



รูปที่ 2.20 Multi-view [4]

2.6.12 Multi-view

เป็นบริการเสริมอย่างหนึ่งที่ทำให้บรรณารักษ์ในการรับชมรายการมีมากขึ้น ด้วย Multi-view จะทำให้ผู้รับชมรายการหลักสามารถเลือกดูภาพจากมุมกล้องอื่น ๆ นอกเหนือจากที่ปรากฏอยู่บนหน้าจอในเวลานั้นได้ รวมถึงการได้รับข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับรายการ ขณะนั้นเพิ่มเติม ประเภทของรายการหลักที่จะได้ประโยชน์จาก Multi-view อย่างชัดเจนก็คือรายการกีฬา เช่น รายการแข่งขันเทนนิส, แข่งรถยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้การส่ง multi-view จะใช้ช่องสัญญาณเพิ่มเติมสำหรับส่งผ่านบริการไปยังผู้ชมปลายทาง อาทิเช่น ใช้ 1 ช่อง เป็นช่องหลักออกอากาศรายการกีฬาพร้อมกับอีก 2 ช่องเพิ่มเติมเป็นบริการ Multi-view โดยช่องหนึ่งใช้ส่งข้อคิดเห็นเพิ่มเติมต่อเกมการแข่งขัน (Comment) ขณะที่ช่องที่สองจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถิติการเล่นในเกม (Detail)

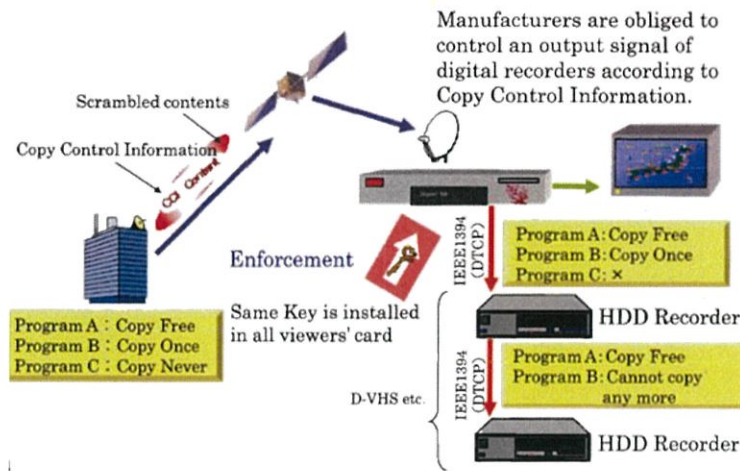


รูปที่ 2.21 Emergency Warning [4]

2.6.13 Emergency Warning

ระบบเตือนภัยแผ่นดินไหว, สึนามิ, อุทกภัย เป็นการแจ้งข่าวเตือนภัย เมื่อเกิดภัยพิบัติ จะแจ้งข่าวการเกิดเหตุทันทีโดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 2.21 เป็นระบบ EWBS (Emergency Warning Broadcasting System) เริ่มดำเนินการตั้งแต่ 1 ก.ย. 1985 ในญี่ปุ่น ปัจจุบันมีการศึกษาการเตือนภัยผ่านโทรศัพท์ แต่มีข้อเสียคือสายไม่ว่าง เนื่องจากการใช้งานฉุกเฉิน หรือต้องแจ้งที่ละเครื่องทำให้เสียเวลา แต่กรณีแจ้งผ่านสถานีโทรทัศน์ สามารถทำได้พร้อมกัน เพราะมีผู้รับชมโทรทัศน์อยู่จำนวนมาก สามารถแจ้งเตือนภัยได้ทันที และสามารถแจ้งข่าวและประเมินความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นแบ่งเป็นแต่ละเขตได้ทันที

ระบบเตือนภัยจะถูกเชื่อมกับศูนย์ตรวจสอบแผ่นดินไหวตลอดเวลา หากมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น ข้อมูลจะถูกส่งมาที่สถานีโทรทัศน์และระบบแจ้งเตือนภัยจะทำการตัดภาพโทรทัศน์ แสดงข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหว และแสดงข้อมูลต่าง ๆ แจ้งเตือน ได้ทันทีเป็นอัตโนมัติบนหน้าจอโทรทัศน์



รูปที่ 2.22 Contents Protection [4]

2.6.14 Contents Protection

ปกป้องลิขสิทธิ์ของสัญญาณที่แพร่ภาพได้ด้วยการเข้ารหัสสัญญาณ Scramble ได้ หรือทำระบบป้องกันการบันทึกภาพ Copyright Protection (DRM) หรือการสมัครสมาชิกโดยออกบัตร B-CAS เพื่อควบคุมการใช้งานผ่านตัวเครื่อง STB

2.6.15 Hierarchical Transmission

การส่งสัญญาณแบบมีลำดับชั้น, สามารถจัดลำดับการนำเข้าของข้อมูลหรือรายการ โดยสามารถเลือกเข้ารหัสสัญญาณที่ต้องการในการส่งสัญญาณ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของผู้รับบริการ ที่มีผลกระทบต่อสัญญาณที่ส่งออกไป ว่าสภาพแวดล้อมเป็นเมืองใหญ่มีตึกสูง หรือภายในอาคารชั้นใต้ดิน, ขานเมืองเป็นที่โล่ง หรือบริเวณที่มีภูเขา หรือการส่งสัญญาณให้กับยานพาหนะความเร็วสูง ฯลฯ สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันนี้เองทำให้สภาพสัญญาณที่ต้องการส่งมีการปรับเปลี่ยนไปตามลักษณะภูมิประเทศ จะให้รายการใดมีความทนทานต่อการรบกวนมากแต่ได้คุณภาพน้อย หรือต้องการให้สัญญาณมีคุณภาพมากแต่มีความทนทานต่ำ ก็สามารถทำได้ตามลักษณะภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมนั้น ๆ

2.7 พารามิเตอร์ในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คุณภาพของช่องสัญญาณ DVB-T2 ที่ได้จากการวัดด้วยอุปกรณ์ BROADCAST ANALYZER รุ่น ROVER HD PROTAB มีดังต่อไปนี้

2.7.1 กำลังงาน

ในการวัดกำลังงานของสัญญาณนั้นต้องทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้กับเครื่องมือวัดว่ามีค่า 50 หรือ 75 โอห์ม โดยกำลังส่งใช้หน่วยการวัดเป็นวัตต์ (Watt) แต่ระดับการส่งสัญญาณที่ส่งออกมา นั้นจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเครื่องรับสัญญาณจึงใช้หน่วยวัดเป็น dBm และ dBμV ซึ่ง dBm หมายถึง ค่า dB (เดซิเบล) เทียบกับมาตรฐานหน่วยวัตต์มิลลิวัตต์ เช่น กำลังส่ง 20 mW เท่ากับ 13 dBm และ dBμV

หมายถึง ค่า dB (เดซิเบล) เทียบกับมาตรฐานหน่วยวัด Voltage ($\text{dB}\mu\text{V}$ แรงดันไฟฟ้าเทียบกับหนึ่งไมโครโวลต์ นิยมใช้กับระบบโทรทัศน์ โดย $60 \text{ dB}\mu\text{V} = 0 \text{ dBmV}$)

ส่วน $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ คือความแรงของสนามไฟฟ้าเทียบกับหนึ่งไมโครโวลต์ต่อเมตร นิยมใช้กับการระบุค่าความแรงของสัญญาณที่ปลายสัญญาณการรับการออกอากาศ (สัญญาณที่วัดได้จากเสาอากาศของสายอากาศคือ $\text{dB}\mu\text{V}$)

2.7.2 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio)

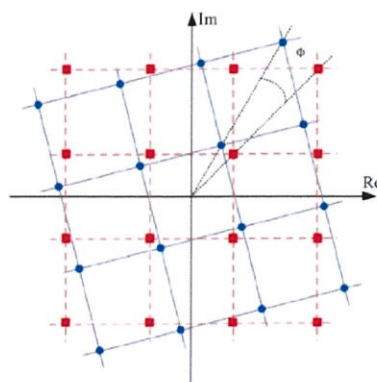
C/N (บางครั้งเรียก CNR) คือ อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน เป็นการวัดผลกระทบของสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณที่รับเข้ามา C/N เป็นอัตราส่วนที่สำคัญของการตรวจวัดช่องสัญญาณดิจิทัลทีวี เพราะเป็นขอบของการตรวจจับสัญญาณ โดยค่าอัตราส่วน C/N จะเปลี่ยนตาม Channel type (Gaussian, Ricean, Rayleigh) อัตราส่วน C/N จะใช้ในการรับสัญญาณโดยขอบของการตรวจจับสัญญาณ (cliff edge) จะต้องชัดเจน มิฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของการแพร่กระจายคลื่น หรือการรบกวนจากการใช้ช่องความถี่เดียวกัน จะทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณได้ ทำให้ผู้รับชมเกิดความรำคาญได้ สมการสำหรับแสดงค่า C/N แสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$C / N [\text{dB}] = 10 \log_{10} \left(\frac{C}{N} \right) \quad (1)$$

เมื่อ C คือกำลังของคลื่นพาห์ที่รับได้ และ N คือกำลังของสัญญาณรบกวนที่รับได้

2.7.3 อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (Modulation Error Ratio)

อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (Modulation Error Ratio ; MER) ใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ไม่ว่าจะเป็นการวัดจากจุดแซมปิงที่เครื่องส่ง หรือแม้กระทั่งวัดจากการรับสัญญาณที่ออกอากาศ สำหรับรูปแบบการส่งที่ใช้ในแบบ QAM (Quadrature Amplitude Modulation) โดยสัญญาณที่ทำการตรวจวัดจะอยู่ในรูปแบบของ Constellation Points ดังรูปที่ 2.24 ซึ่งสามารถทำการตรวจวัดอย่างอื่นได้อีกเช่น เช่น สัญญาณรบกวน, ความผิดพลาดทางเฟส, ความผิดพลาดทางความถี่ และการผิดเพี้ยนต่างๆ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)



รูปที่ 2.23 Rotates Constellation [5]

$$\text{MER}[\text{dB}] = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_e} \right) \quad (2)$$

เมื่อ P_s คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของสัญญาณที่รับได้ในอุดมคติจากเครื่องส่ง และ P_e คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของสัญญาณที่มีเวกเตอร์ผิดพลาดที่รับได้

2.7.4 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Ratio (BER))

BER คืออัตราส่วนระหว่างบิตข้อมูลผิดพลาดเทียบกับจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดในช่วงเวลาที่วัด ถ้าหากบิตข้อมูลที่เครื่องรับรับได้มีความผิดพลาดมีมากจนเกินไปจะทำให้ไม่สามารถแสดงผลภาพและเสียงได้ ซึ่งค่า BER นี้ มักจะได้รับผลกระทบจาก Carrier-to-Noise Ratio และ Modulation Error Ratio โดยค่า BER มักจะมีราวที่ 2 จุดในการรับสัญญาณ คือก่อนที่จะเข้าบล็อกการถอดรหัสแบบ LDPC (Low Density Parity-Check) ซึ่งจะเรียกว่าค่า bBER และอีกจุดคือหลังจากผ่านบล็อก LDPC ที่ทำหน้าที่แก้ไขบิตที่ผิดพลาดแล้ว จะเรียกว่าค่า aBER หรือ LBER โดยค่า bBER มักจะต้องมีค่าน้อยกว่า 2×10^{-2} และหลังจากผ่าน บล็อก LDPC จะมีค่า aBER ประมาณ 2×10^{-7} จึงจะทำให้สามารถรับสัญญาณภาพโทรทัศน์ได้โดยที่ไม่มีภาพ สะดุดหรือขาดหาย

2.8 การหา QUASI ERROR FREE (QEF)

QEF เป็นจุดที่ใช้ประเมิน Power หรือ C/N ต่ำที่สุดสำหรับเครื่องรับยังสามารถทำการรับภาพได้ ใช้สำหรับการวิเคราะห์ว่าเครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้เท่าไรหรือสามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้มากเพียงใด ก่อนที่เครื่องรับจะไม่สามารถทำการรับภาพได้ มีอยู่ 2 วิธีในการหาจุด QEF

1. ลดสัญญาณอินพุตลง ตัวอย่างเช่น ใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ วิธีการนี้จะเหลือเพียงสัญญาณรบกวนภายในซึ่งอยู่ภายในตัวเครื่องรับ ข้อเสียของวิธีการนี้คือ สัญญาณรบกวนจากภายนอกไม่สามารถควบคุมได้
2. เพิ่มขนาดของสัญญาณรบกวนเข้าไป ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้ได้จากการใส่เข้าไปภายหลังด้วยอุปกรณ์สร้างสัญญาณรบกวน วิธีการนี้สัญญาณรบกวนภายในจะมีขนาดน้อยกว่าสัญญาณรบกวนที่ป้อนจากภายนอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสัญญาณรบกวนภายนอกที่ป้อนเข้าไปมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนภายในมาก

บทที่ 3

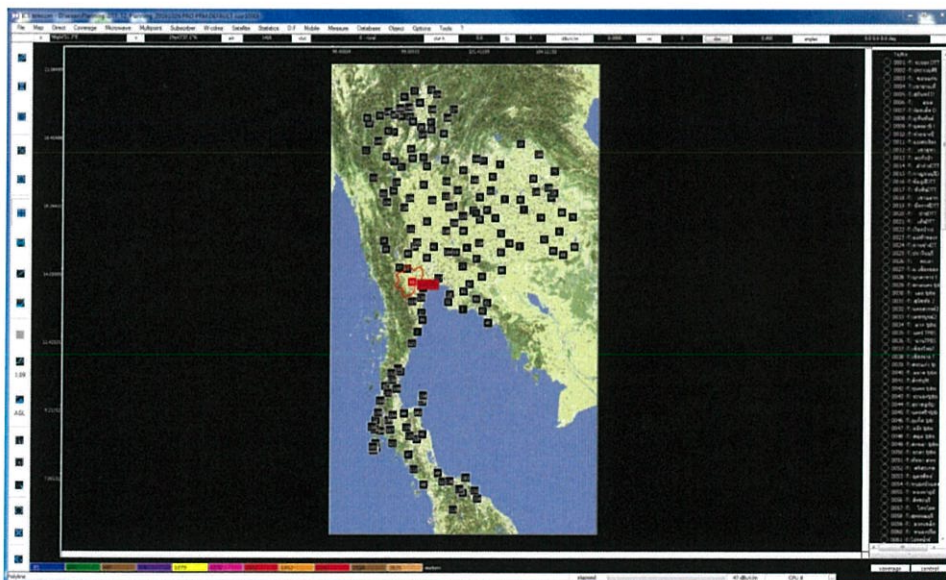
ขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณ DVB-T2

3.1 ขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณ

- 1) ใช้โปรแกรม ICS Telecom จำลองพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (coverage) ในจังหวัดกรุงเทพมหานครและอำเภอจอมบึง เพื่อที่จะกำหนดจุดที่ต้องไปทำการวัดสัญญาณ
- 2) กำหนดสถานที่ที่จะทำการวัดสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม Google Earth Pro
- 3) เตรียมสถานที่และอุปกรณ์การวัด
- 4) ติดตั้งอุปกรณ์ที่จะใช้ทำการวัดสัญญาณ
- 5) ทำการวัดสัญญาณและบันทึกผล
- 6) นำผลที่ได้ไปทำการพล็อตกราฟ
- 7) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้และสรุปผลการวัดสัญญาณ

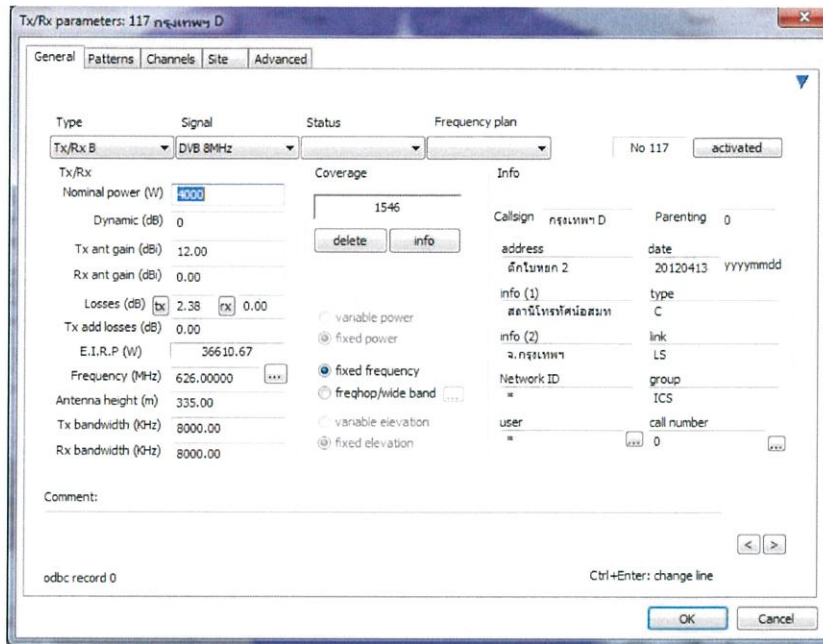
3.2. ขั้นตอนการกำหนดสถานที่วัดสัญญาณ DVB-T2

- 1) เปิดโปรแกรม ICS Telecom ดังรูปที่ 3.1



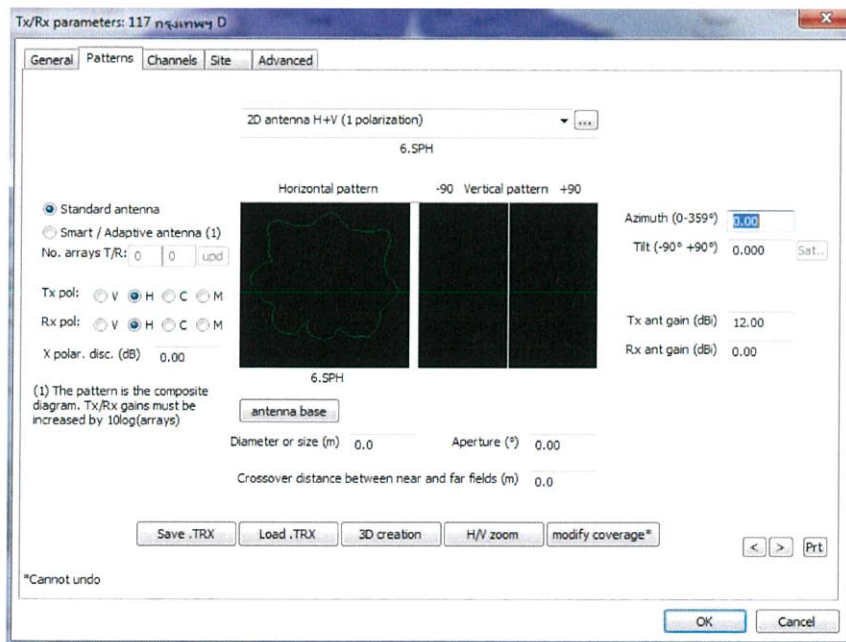
รูปที่ 3.1 โปรแกรม ICS Telecom

- 2) เลือกตำแหน่งสถานที่ที่ต้องการจะวัด โดยในที่นี้จะทำการเลือกสถานที่ที่ 117 กรุงเทพฯ
- 3) คลิกที่สถานีกรุงเทพฯ > Continue > Parameters > General เพื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ Nominal power (W) ให้เป็น 4000, Tx ant gain (dB) ให้เป็น 12.00, Frequency (MHz) ให้เป็น 625.00000 และ Antenna height (m) ให้เป็น 335.00 ดังรูปที่ 3.2



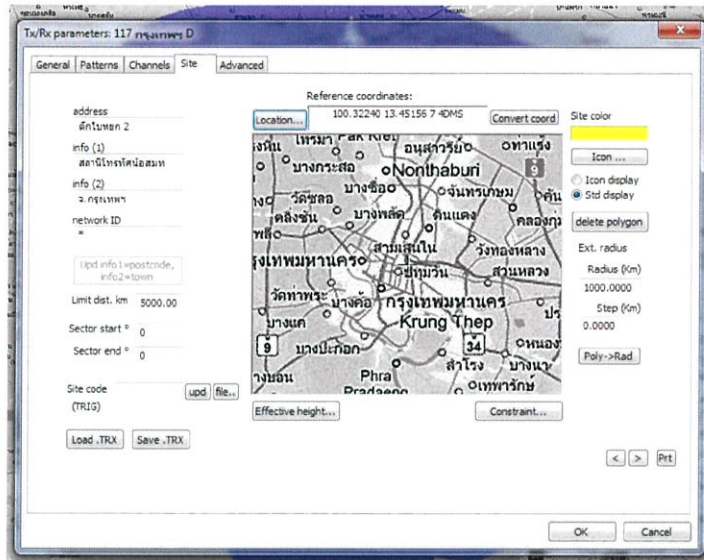
รูปที่ 3.2 การตั้งค่า parameters ใน General

4) คลิกที่ pattern ทำการเลือก 2D antenna H+V (1 polarization) และ Tx ant gain (dB) ให้เป็น 12.00 ดังรูปที่ 3.3



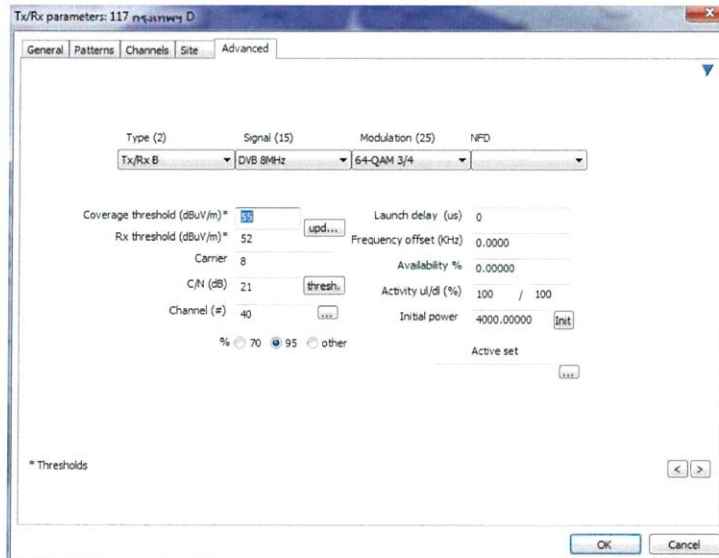
รูปที่ 3.3 การตั้งค่า parameters ใน patterns

5) คลิกที่ Site เพื่อตั้งค่า radius (km) ให้เป็น 1000.0000 ดังรูปที่ 3.4



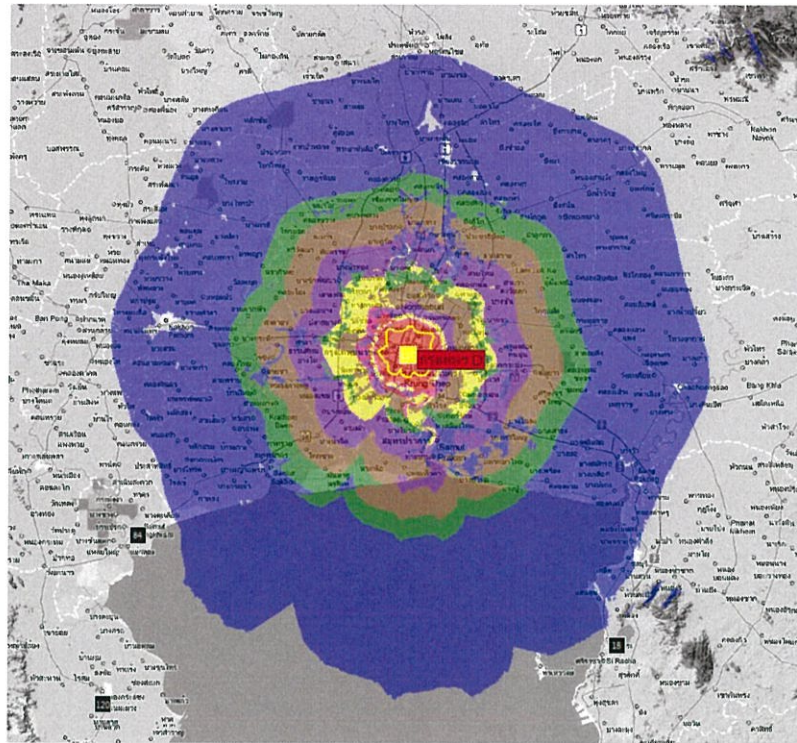
รูปที่ 3.4 การตั้งค่า parameters ใน Site

6) คลิกที่ Advanced เพื่อตั้งค่า Channel ให้เป็น 40 ดังรูปที่ 3.5



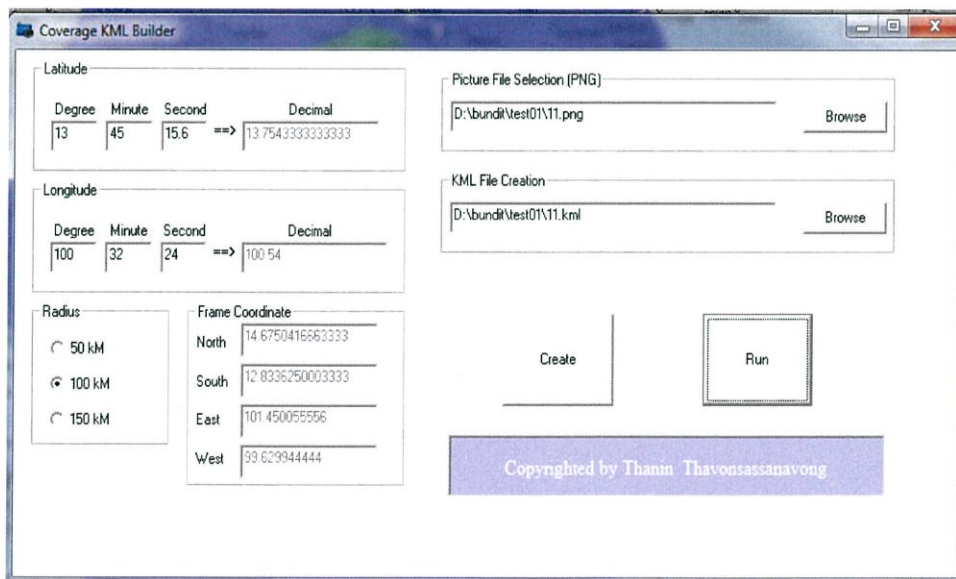
รูปที่ 3.5 การตั้งค่า parameters ใน Advanced

7) หลังจากตั้งค่าต่าง ๆ ใน Parameter เสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเริ่มจำลองพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (coverage) ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ด้วยวิธีการดังนี้ คลิกที่สถานีกรุงเทพฯ > คลิก coverage calculator จะได้ผลการจำลองออกมา ดังรูปที่ 3.6



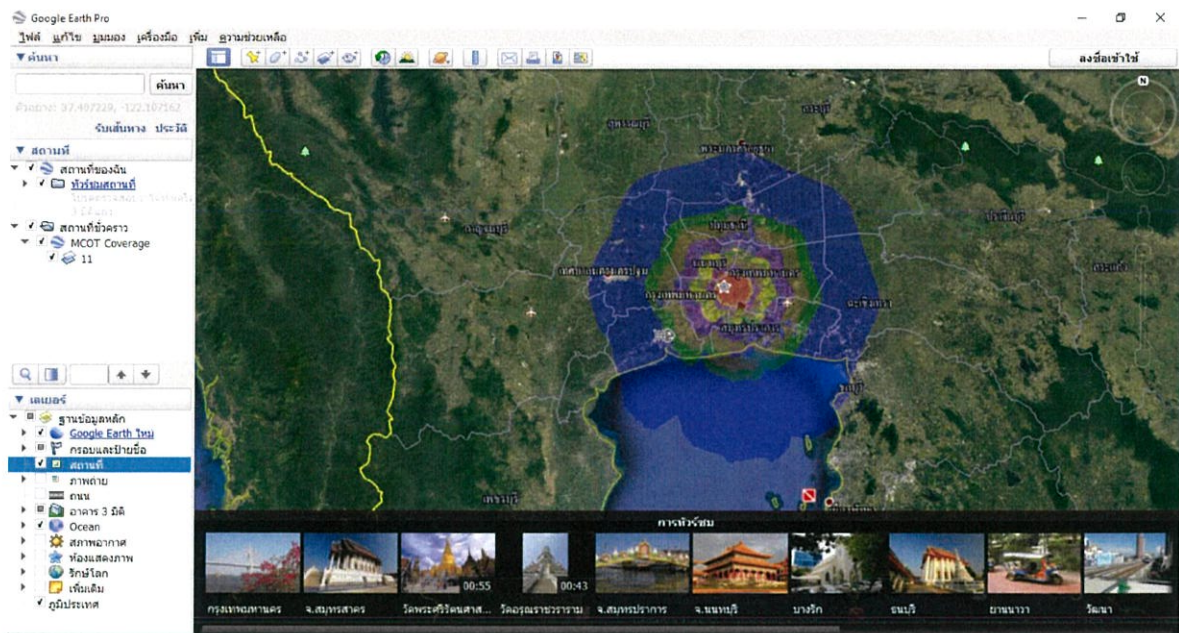
รูปที่ 3.6 พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (coverage) ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

8) ใช้โปรแกรม Coverage KML Builder เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลที่ทำการจำลองในโปรแกรม ICS Telecom เข้ากับแผนที่ ในโปรแกรม Google Earth Pro ดังรูปที่ 3.7



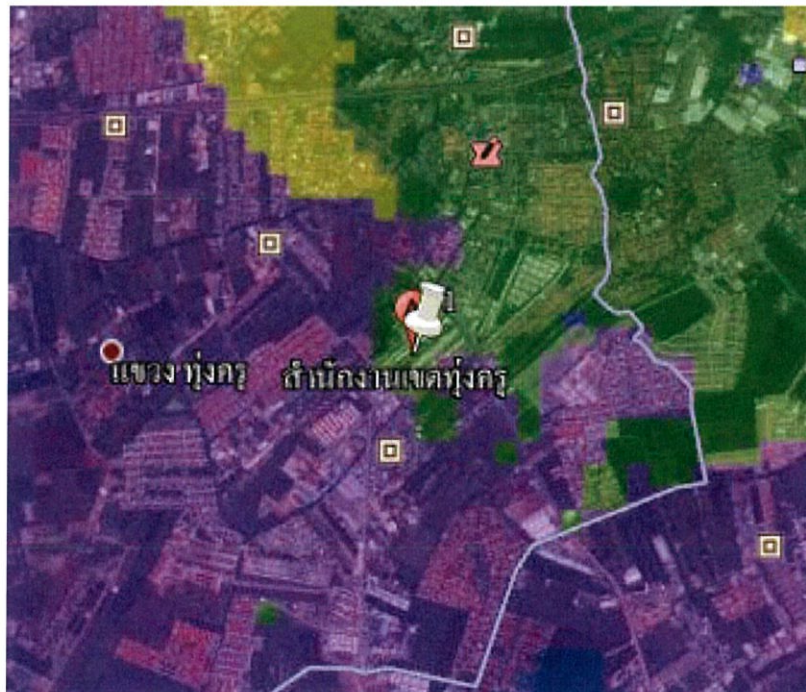
รูปที่ 3.7 โปรแกรม Coverage KML Builder

9) เปิดโปรแกรม google Earth Pro ขึ้นมา ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 โปรแกรม google Earth Pro

10) กำหนดจุดที่ต้องการจะวัด โดยเลือกที่ สถานที่ชั่วคราว > MCOT Coverage คลิกขวา จากนั้นเลือก เพิ่ม > เครื่องหมายตำแหน่ง เลือกสถานที่ จากนั้นกด OK จะได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กำหนดสถานที่ใน Google earth

11) เลือกสถานที่อื่น ๆ ด้วยวิธีการในข้อที่ 10. จนครบตามจำนวนที่ต้องการ 21 จุดทั่ว
 กรุงเทพฯ ดังรูปที่ 3.10



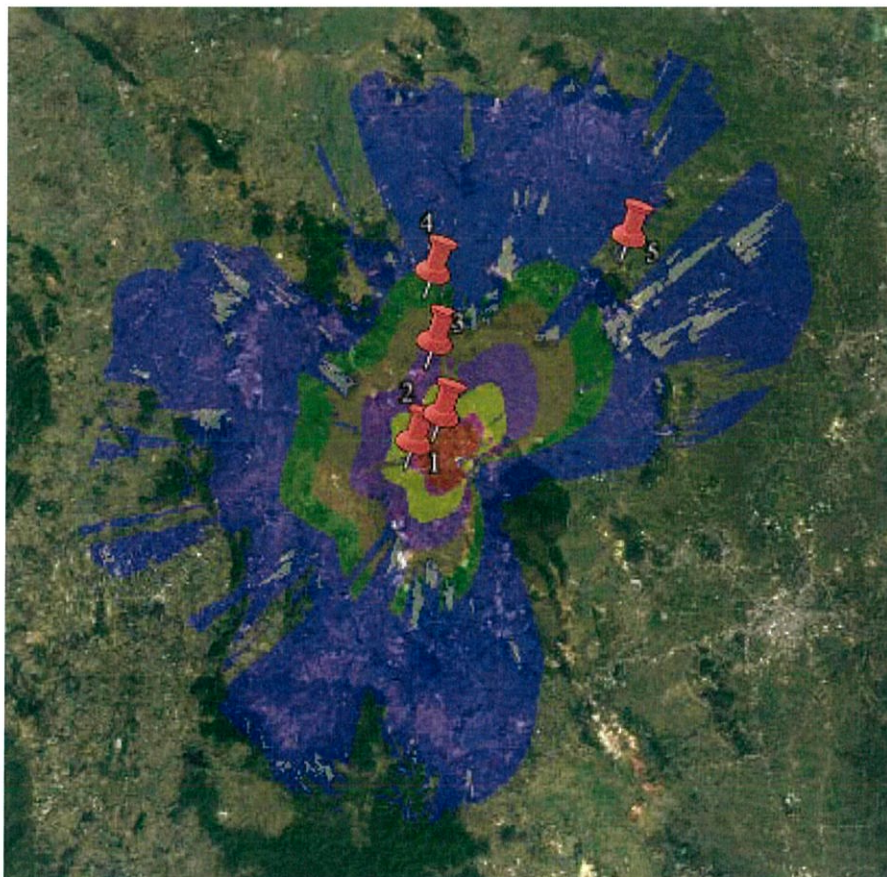
รูปที่ 3.10 จุดวัดสัญญาณ 21 ตำแหน่งทั่วกรุงเทพมหานคร

โดยแต่ละจุดที่จะทำการวัดคือ

1. สำนักงานเขตบางรัก
2. สำนักงานเขตห้วยขวาง
3. สำนักงานเขตวัฒนา
4. สำนักงานเขตสาทร
5. สำนักงานเขตบางพลัด
6. สำนักงานเขตยานนาวา
7. สำนักงานเขตธนบุรี
8. สำนักงานเขตคลองเตย
9. สำนักงานเขตจตุจักร
10. สำนักงานเขตบางนา
11. สำนักงานเขตภาษีเจริญ
12. สำนักงานเขตป้อมปราบ
13. สำนักงานเขตบางเขน

14. สำนักงานเขตทุ่งครุ
15. สำนักงานเขตประเวศ
16. สำนักงานเขตดอนเมือง
17. สำนักงานเขตทวีวัฒนา
18. สำนักงานเขตคลองสามวา
19. สำนักงานเขตบางบอน
20. สำนักงานเขตลาดกระบัง
21. สำนักงานเขตหนองจอก

12) จำลองพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศในสถานีเสริมจอมบึง (coverage) ด้วยวิธีการดังข้อที่ 1. ถึง 11. แต่เปลี่ยนสถานที่และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง คลิกที่สถานีจอมบึง > continue > parameters > General เพื่อทำการตั้งค่า Nominal power (W) ให้เป็น 810 , Tx ant gain (dB) ให้เป็น 10.16 , Frequency (MHz) ให้เป็น 634.00000 และ Antenna height (m) ให้เป็น 70 จะได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 จุดวัดสัญญาณ 5 ตำแหน่งในอำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี

โดยแต่ละจุดที่จะไปวัดคือ

1. สำนักงานขนส่งจังหวัดราชบุรี สาขาอำเภอจอมบึง
2. มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง
3. โรงเรียนบ้านพุแค
4. ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์หนองขวาง
5. องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขวาง

3.3 โมเดลการวัดสัญญาณ DVB-T2

- 1) สถานที่วัดกำหนดไว้ตามตำแหน่งใน Google Earth Pro
- 2) ตั้งเสารับสัญญาณสูง 6 เมตร ตามที่กำหนดไว้ใน Google Earth Pro
- 3) หันสายอากาศรับเข้าหาสายอากาศส่ง ดังรูปที่ 3.12 เพื่อทำการรับสัญญาณ จากนั้นทำการเก็บข้อมูล
- 4) ปรับค่า Attenuation เพื่อหาค่า MER ก่อนที่จะรับภาพไม่ได้ จากนั้นทำการเก็บข้อมูล
- 5) ความสูงเสาส่งสัญญาณกรุงเทพ (ตึกใบหยก2) 335 เมตร มีพิกัด Longitude 100.540270 และ Latitude 13.754300 ใช้กำลังส่ง 4 กิโลวัตต์ สายอากาศมีกำลังขยาย 12 dBd และความสูงสถานีเสริมจอมบึง 70 เมตร มีพิกัด Longitude 99.613249 Latitude 33.627402 ใช้กำลังส่ง 810 วัตต์ สายอากาศมีกำลังขยาย 10.14 dBd



รูปที่ 3.12 ภาพรวมการรับ-ส่งสัญญาณ DVB-T2

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ

- 1) เครื่องวัดสัญญาณ BROADCAST ANALYZERS ของ ROVER HD PROTAB ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดสัญญาณ BROADCAST ANALYZERS ของ ROVER HD PROTAB

- 2) สายอากาศไดโพลสำหรับความถี่ย่าน UHF ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 สายอากาศไดโพลสำหรับความถี่ย่าน UHF

3) สาย Coaxial cable RG-214 ดังรูปที่ 3.15



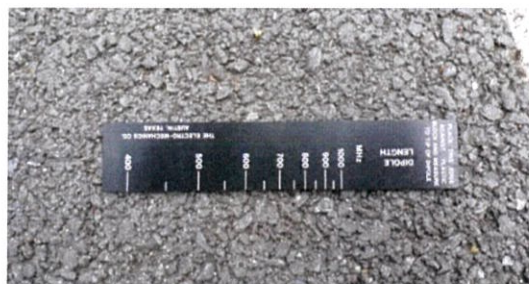
รูปที่ 3.15 สาย Coaxial cable RG-214

4) เสาสำหรับตั้งสายอากาศ สูง 6 เมตร ดังรูปที่ 3.16



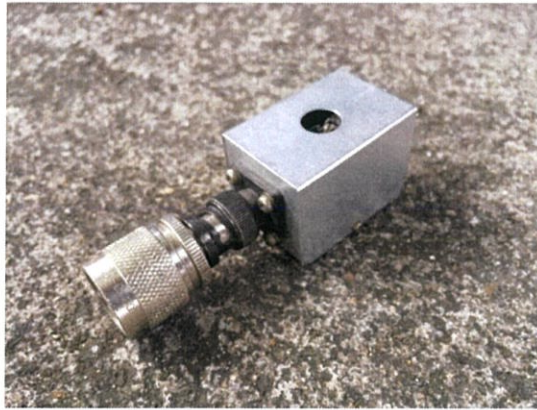
รูปที่ 3.16 เสาสำหรับตั้งสายอากาศ สูง 6 เมตร

5) ไม้บรรทัดสำหรับปรับความยาวของสายอากาศให้เหมาะสมกับความถี่ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ไม้บรรทัดสำหรับปรับความยาวของสายอากาศ

6) Attenuation สำหรับลดทอนสัญญาณ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 Attenuation

7) อุปกรณ์สำหรับยึดสายอากาศ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 อุปกรณ์สำหรับยึดสายอากาศ

3.5 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์

1) กำหนดพื้นที่ที่ต้องการวัด โดยเลือกบริเวณที่เป็นที่โล่งเป็นหลัก จากนั้นตั้งเสาขึ้นมาตรงจุดที่เลือกไว้ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 เลือกบริเวณที่จะทำการตั้งเสา

2) ประกอบสายอากาศไดโพลกับเสาตั้ง จากนั้นต่อสายอากาศไดโพลเข้ากับสาย Coaxial Cable RG-214 ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 สายอากาศไดโพลที่ประกอบกับเสาตั้งและสาย Coaxial Cable RG-214

3) ต่อสาย Coaxial Cable RG-214 เข้ากับเครื่องวัด BROADCAST ANALYZERS ดังรูปที่

3.22



รูปที่ 3.22 เครื่องวัด BROADCAST ANALYZERS ที่ต่อเข้ากับสาย Coaxial cable RG-214

4) ใช้ไม้บรรทัดสำหรับปรับความยาวของสายอากาศ เพื่อทำการปรับความยาวของสายอากาศไดโพลให้ตรงกับความถี่ของสัญญาณในแต่ละ mux ที่จะทำการวัด ดังรูปที่ 3.23



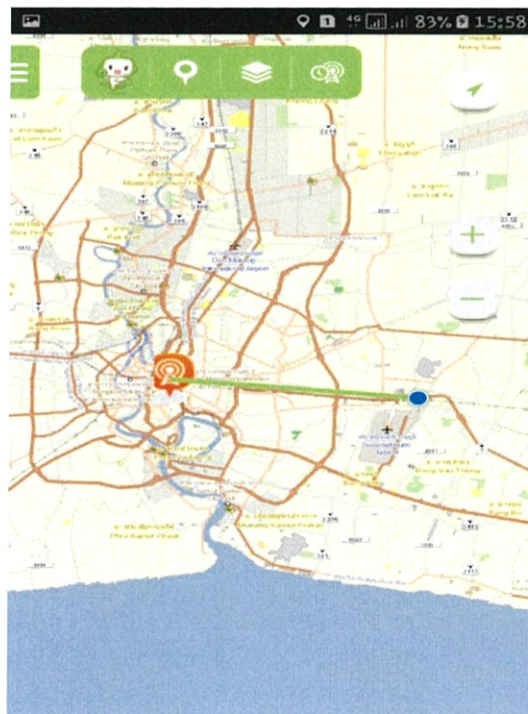
รูปที่ 3.23 ปรับความยาวของสายอากาศไดโพลให้ตรงกับความถี่ของสัญญาณในแต่ละ mux

5) ปรับความยาวของเสาตั้งให้มีความสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ปรับความยาวของเสาตั้งให้มีความสูง 6 เมตร

6) ใช้แอปพลิเคชัน DTV Service Area ค้นหาทิศทางของตึกใบหยก ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แอปพลิเคชัน DTV Service Area

7) หมุนสายอากาศเข้าหาตึกใบหยก เพื่อรับสัญญาณ

3.6 วิธีการวัดสัญญาณ DVB-T2

1) เปิดเครื่องวัดสัญญาณ BROADCAST ANALYZERS ดังรูปที่ 2.25 จากนั้นเลือกไปที่ TV เลือกให้ MODULAT เป็น DVBT2 และตั้งค่าช่องสัญญาณ ตาม MUX ที่ต้องการจะวัด ก็จะสามารถใช้รับภาพที่ออกอากาศได้ และยังสามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในเวลานั้นได้ ดังรูปที่ 3.26

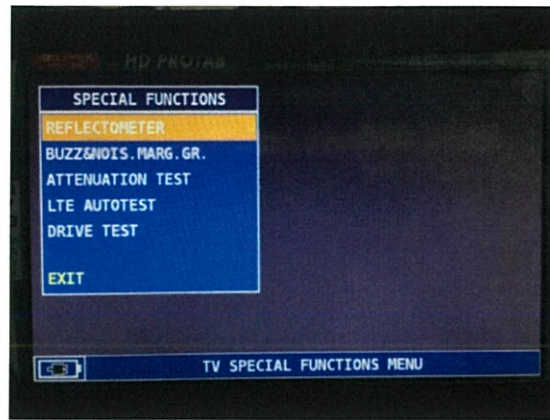


รูปที่ 3.26 หน้าจอเริ่มต้นของเครื่องวัดสัญญาณ BROADCAST ANALYZERS



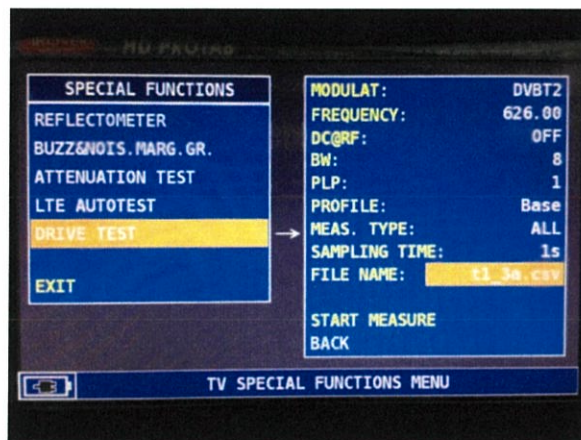
รูปที่ 3.27 ภาพและพารามิเตอร์ที่อ่านได้จาก BROADCAST ANALYZERS

2) หลังจากรับภาพได้แล้ว ก็จะทำกรเก็บข้อมูลโดยการกดที่ SPECIAL FUNCTIONS จะได้ดังรูปที่ 3.27

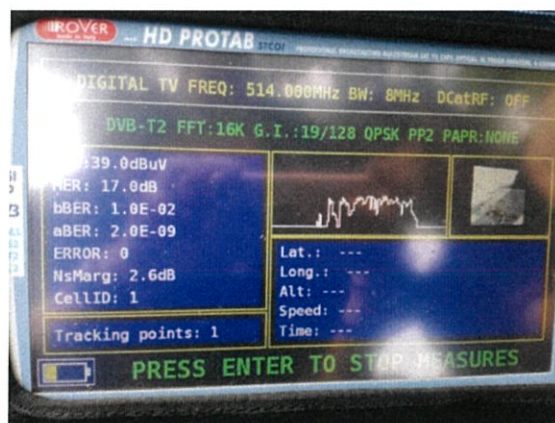


รูปที่ 3.28 หน้า SPECIAL FUNCTIONS

3) กดที่คำสั่ง DRIVE TEST จะได้ดังรูปที่ 2.31 แล้วปรับ MODULAT เป็น DVBT2 ตั้งชื่อไฟล์ที่ FILE NAME จากนั้นกด START MEASURE แล้วกด Enter เพื่อทำการบันทึกค่า ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ปรับค่าต่าง ๆ ใน DRIVE TEST



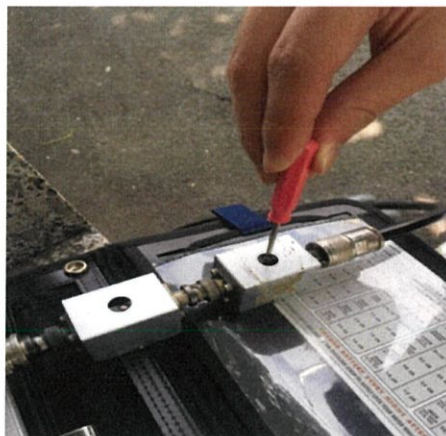
รูปที่ 3.30 การบันทึกค่าใน BROADCAST ANALYZERS

4) ทำการหาค่าที่ต่ำสุดที่ยังสามารถรับชมภาพได้ โดยการต่อ Attenuation เข้ากับเครื่อง BROADCAST ANALYZERS เพื่อทำการลดทอนสัญญาณที่เครื่องรับ รับมาได้ ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ต่อ Attenuation เข้ากับเครื่อง BROADCAST ANALYZERS

5) ปรับค่าการลดทอนบน Attenuation จนกว่าการรับภาพจะเริ่มขัดข้อง ดังรูปที่ 3.32 จากนั้นทำการบันทึกค่าตามวิธีการดังข้อที่ 2 ถึง 4



รูปที่ 3.32 ปรับค่าการลดทอนบน Attenuation

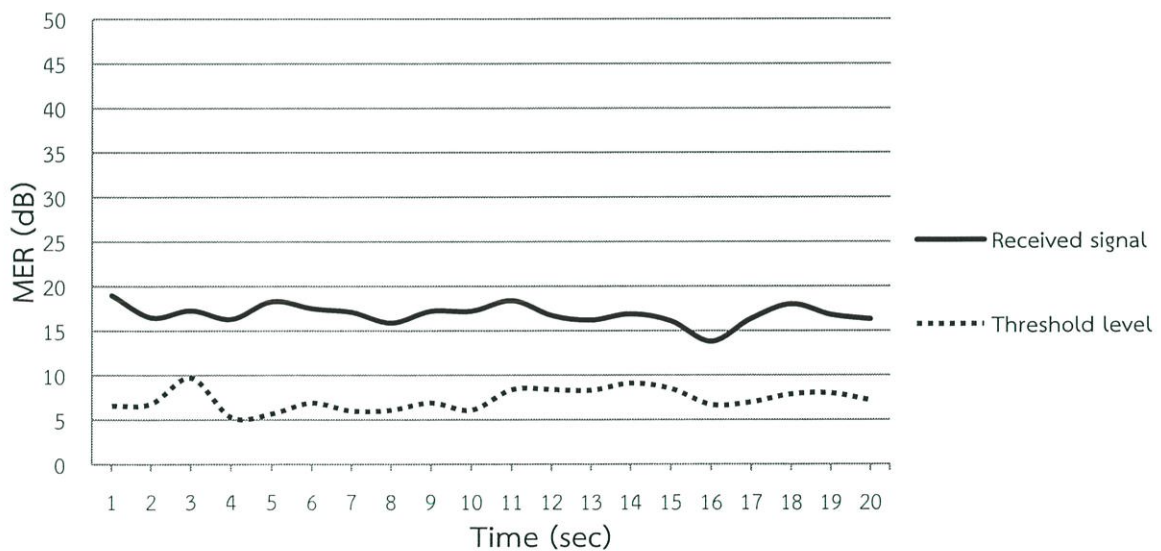
บทที่ 4 ผลการวัดสัญญาณ DVB-T2

4.1 ผลการวัดสัญญาณ DVB-T2 ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

ค่า MER ของสัญญาณที่วัดได้เทียบกับเวลา ใน MUX ที่ 3 ช่องสัญญาณที่ 40 ช่อง MCOT ความถี่ 626 MHz ตามจุดต่าง ๆ ทั่วกรุงเทพฯ ทั้งหมด 21 เขต โดยค่าที่นำมาพล็อตกราฟ จะเป็นค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริง พล็อตด้วยกราฟเส้นทึบ และค่า MER ของสัญญาณที่ผ่านการลดทอนด้วย Attenuation จนค่า MER เป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้ พล็อตด้วยกราฟเส้นประ แสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.21

1) สำนักงานเขตบางรัก

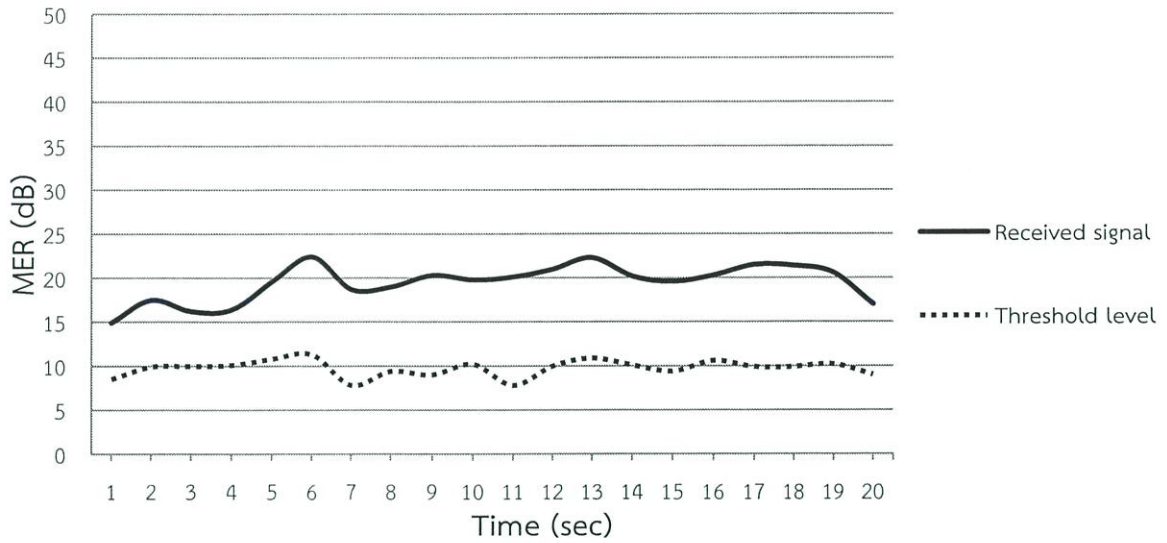
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 16.24 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.33 dB



รูปที่ 4.1 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางรัก

2) สำนักงานเขตห้วยขวาง

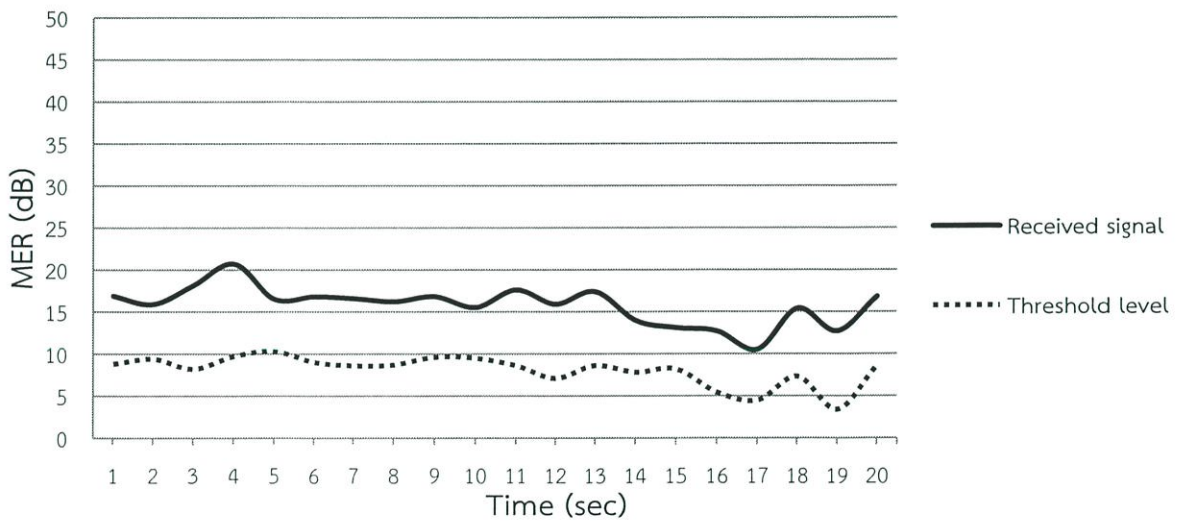
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 19.44 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.83 dB



รูปที่ 4.2 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตห้วยขวาง

3) สำนักงานเขตวัฒนา

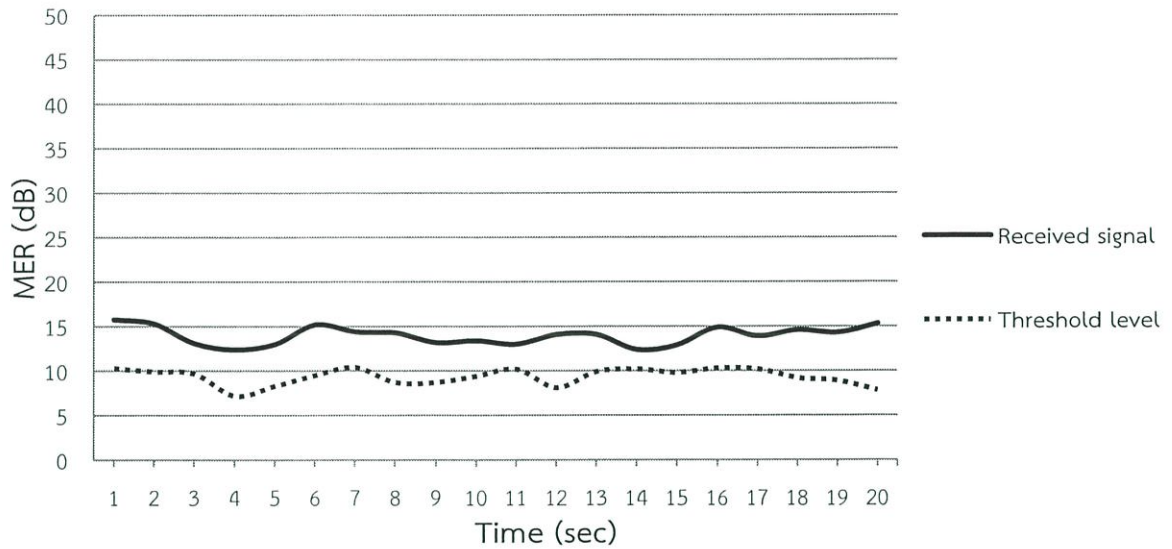
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 15.75 dB และ
 หาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.83 dB



รูปที่ 4.3 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตวัฒนา

4) สำนักงานเขตสาทร

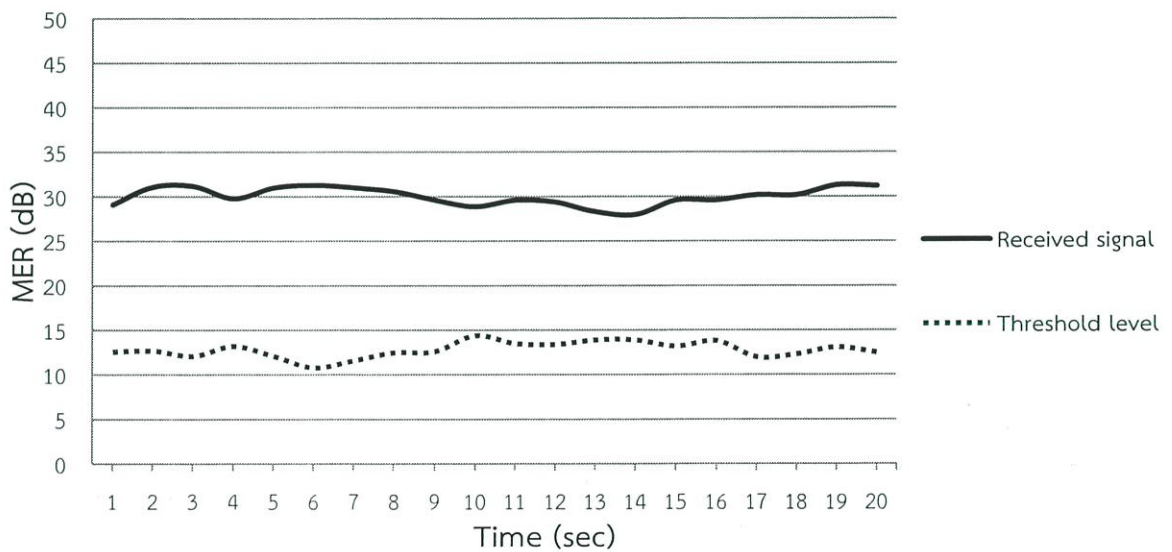
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.82 dB และ
 หาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.33 dB



รูปที่ 4.4 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตสาทร

5) สำนักงานเขตบางพลัด

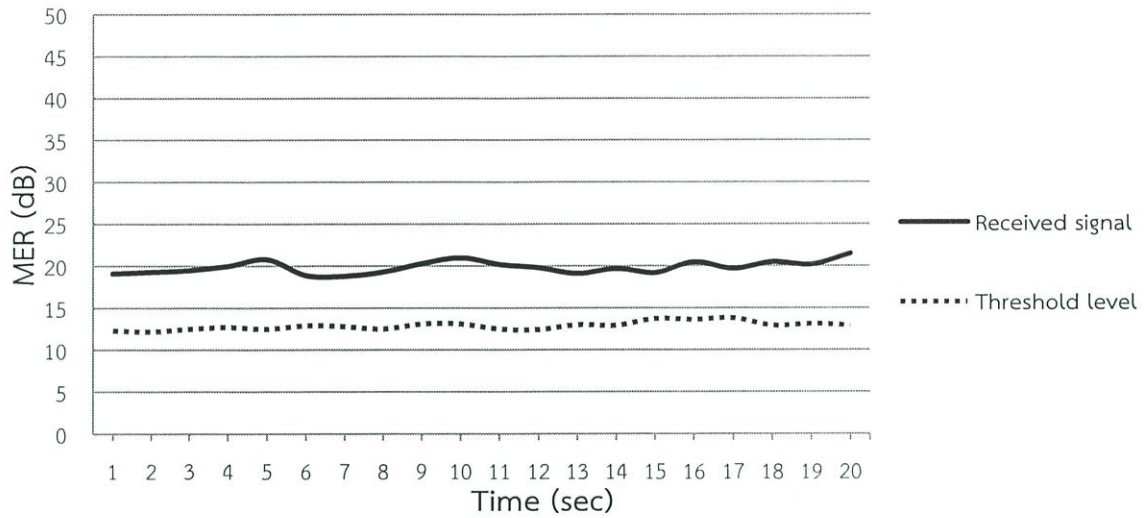
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 30.10 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.81 dB



รูปที่ 4.5 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางพลัด

6. สำนักงานเขตยานนาวา

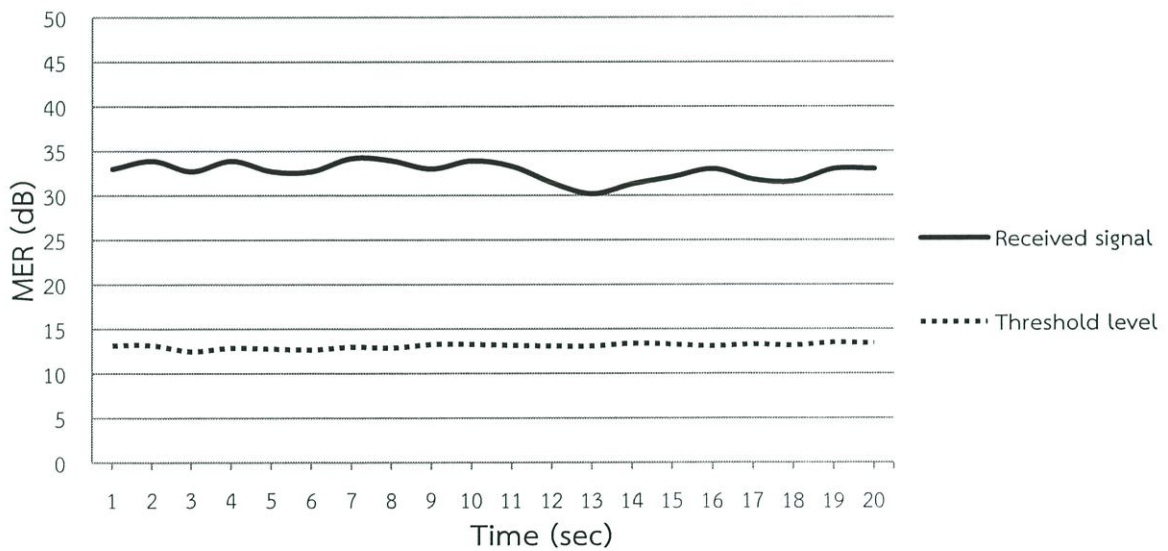
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 18.60 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.87 dB



รูปที่ 4.6 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตยานนาวา

7) สำนักงานเขตธนบุรี

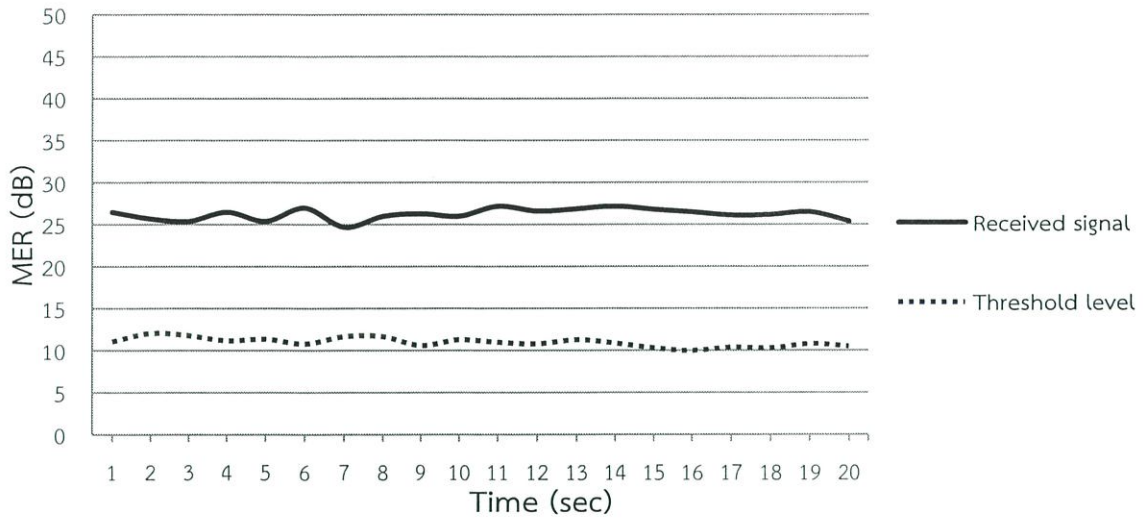
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 32.79 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.12 dB



รูปที่ 4.7 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตธนบุรี

8) สำนักงานเขตคลองเตย

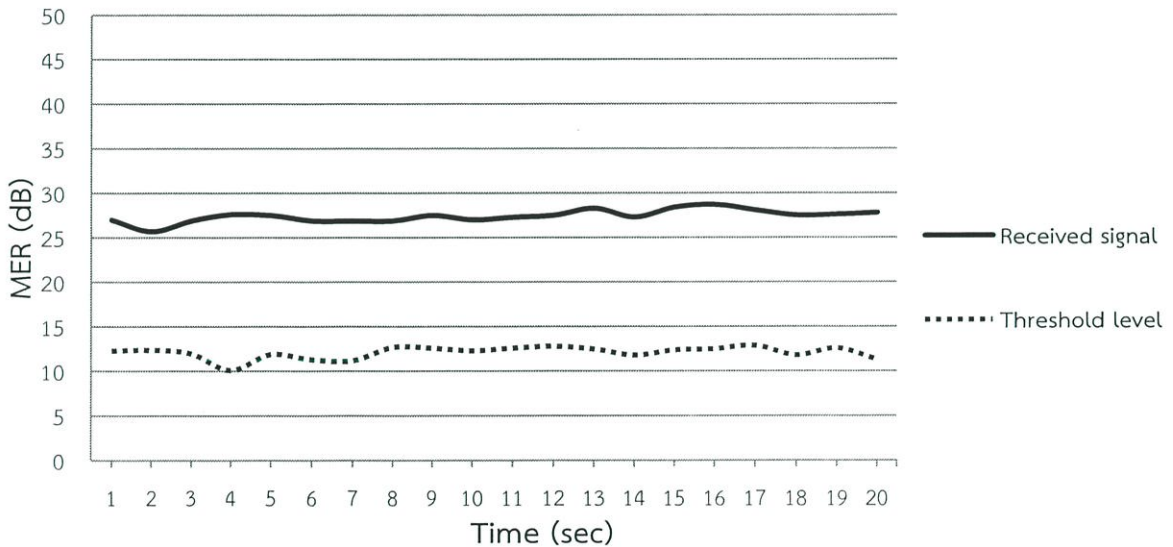
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 26.24 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11.00 dB



รูปที่ 4.8 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตคลองเตย

9) สำนักงานเขตจตุจักร

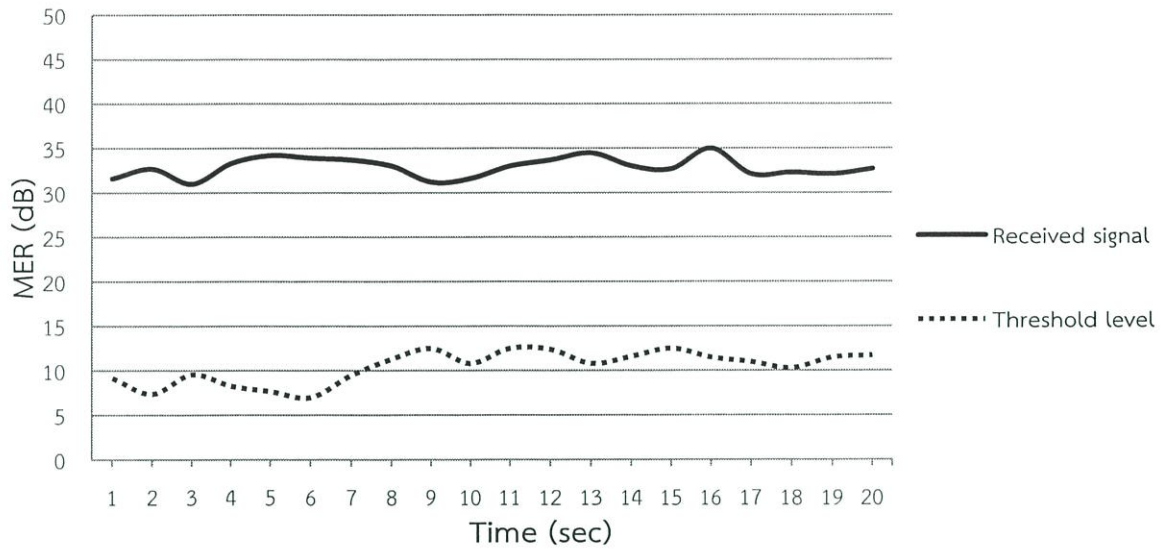
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 27.42 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.08 dB



รูปที่ 4.9 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตจตุจักร

10) สำนักงานเขตบางนา

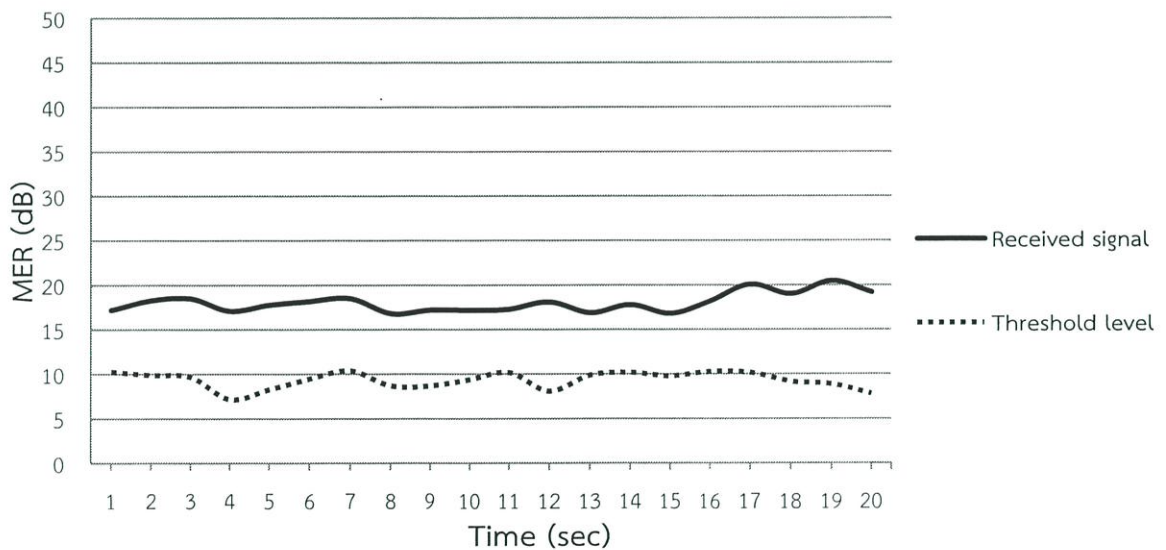
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 32.89 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.20 dB



รูปที่ 4.10 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางนา

11) สำนักงานเขตภาษีเจริญ

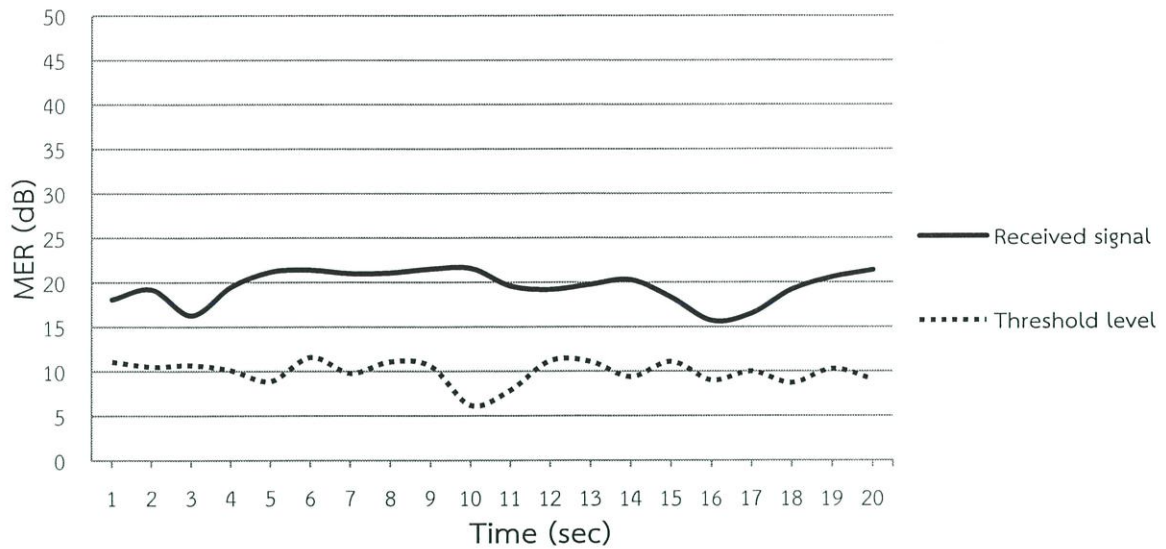
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 18.03 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.34 dB



รูปที่ 4.11 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตภาษีเจริญ

12) สำนักงานเขตบึงกุ่ม

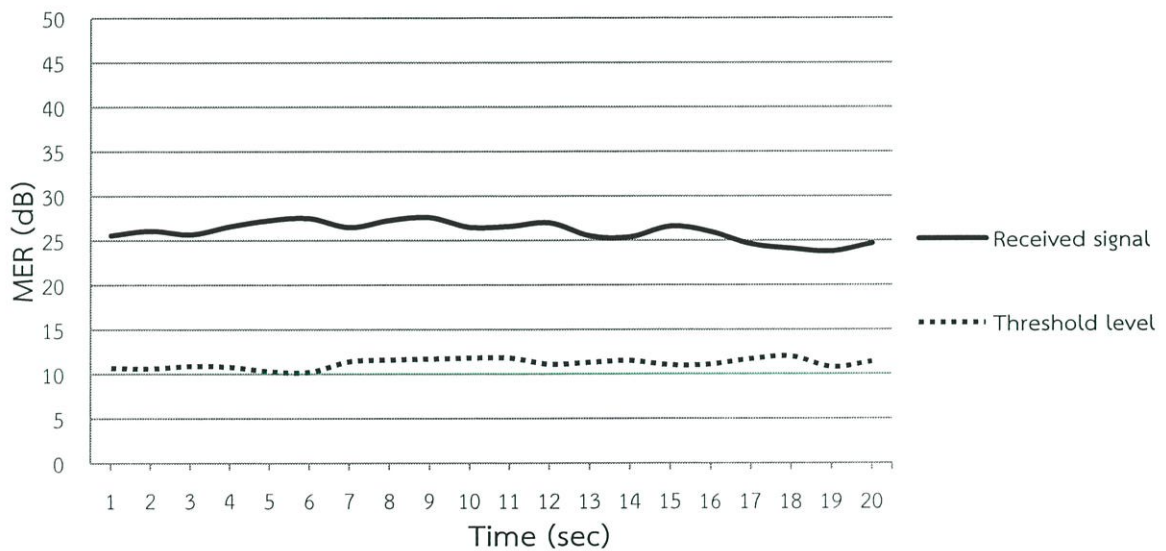
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 19.57 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.92 dB



รูปที่ 4.12 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบึงกุ่ม

13) สำนักงานเขตบางเขน

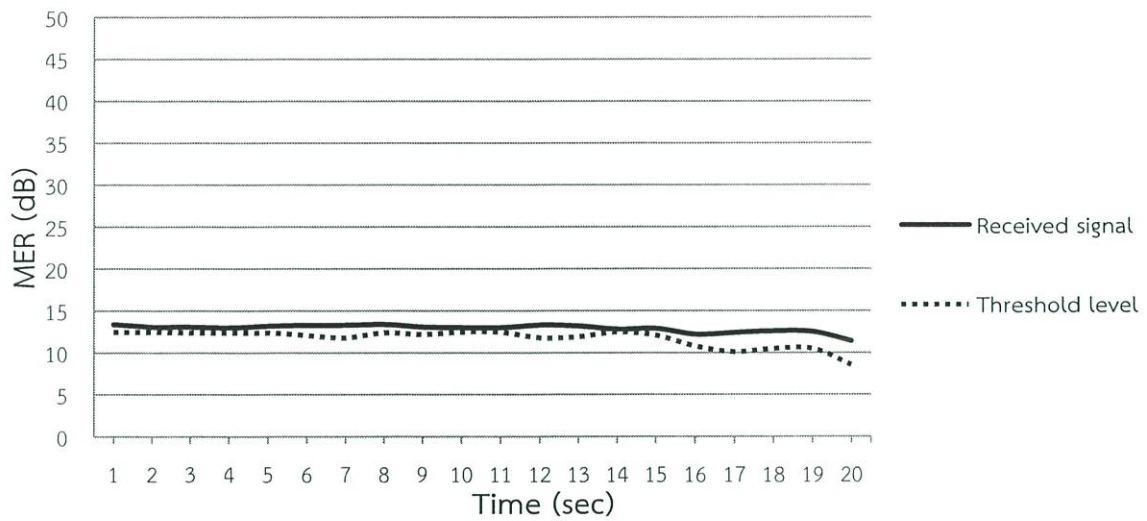
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 26.05 dB และค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11.18 dB



รูปที่ 4.13 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางเขน

14) สำนักงานเขตทุ่งครุ

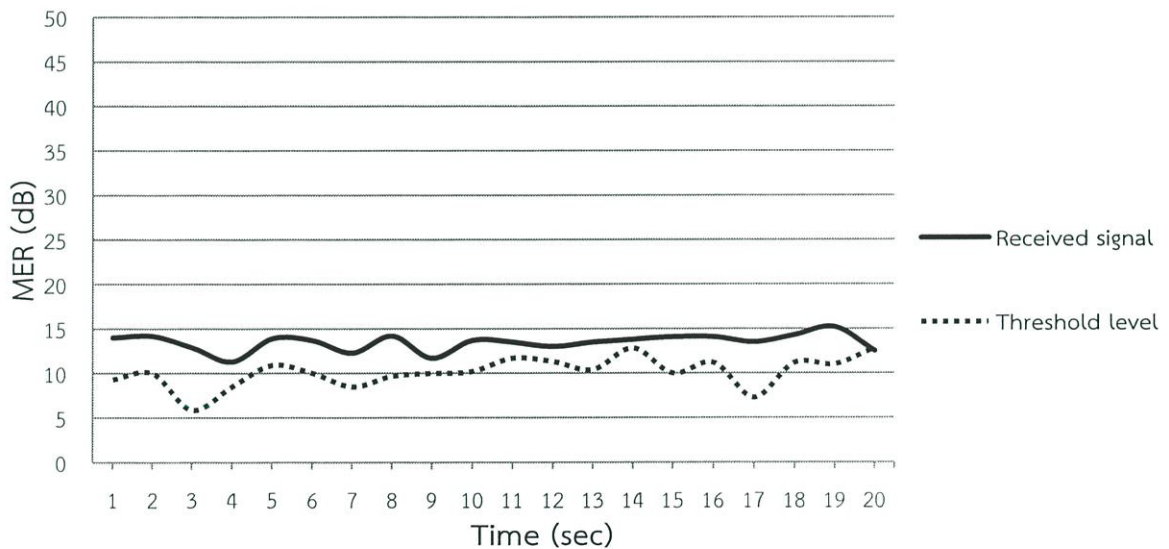
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.59 dB และค่า MER ที่เป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11.55 dB



รูปที่ 4.14 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตทุ่งครุ

15) สำนักงานเขตประเวศ

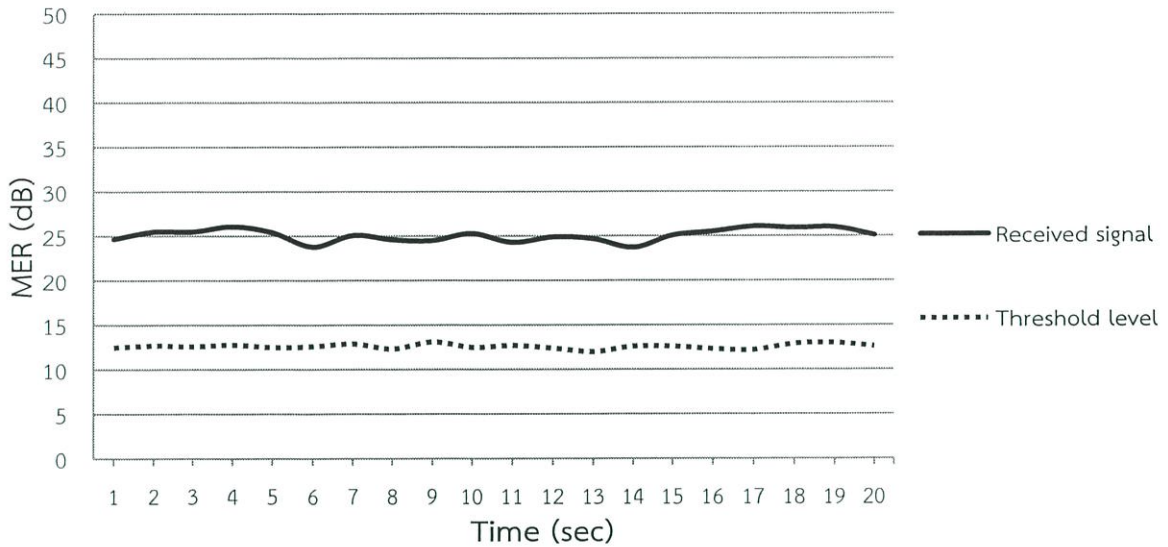
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.37 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.13 dB



รูปที่ 4.15 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตประเวศ

16) สำนักงานเขตดอนเมือง

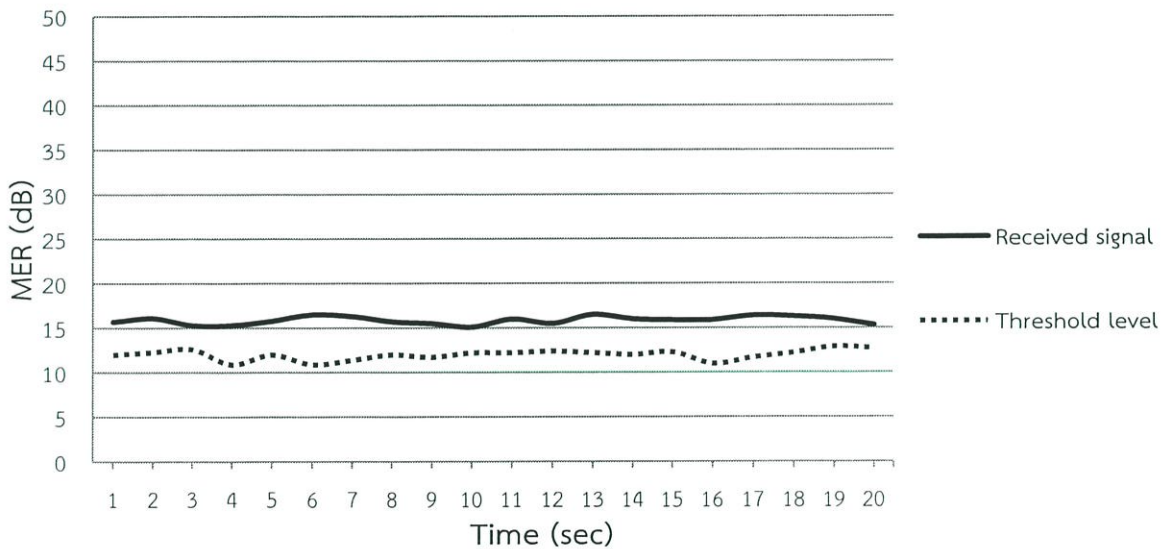
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.09 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.59 dB



รูปที่ 4.16 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตดอนเมือง

17) สำนักงานเขตทวีวัฒนา

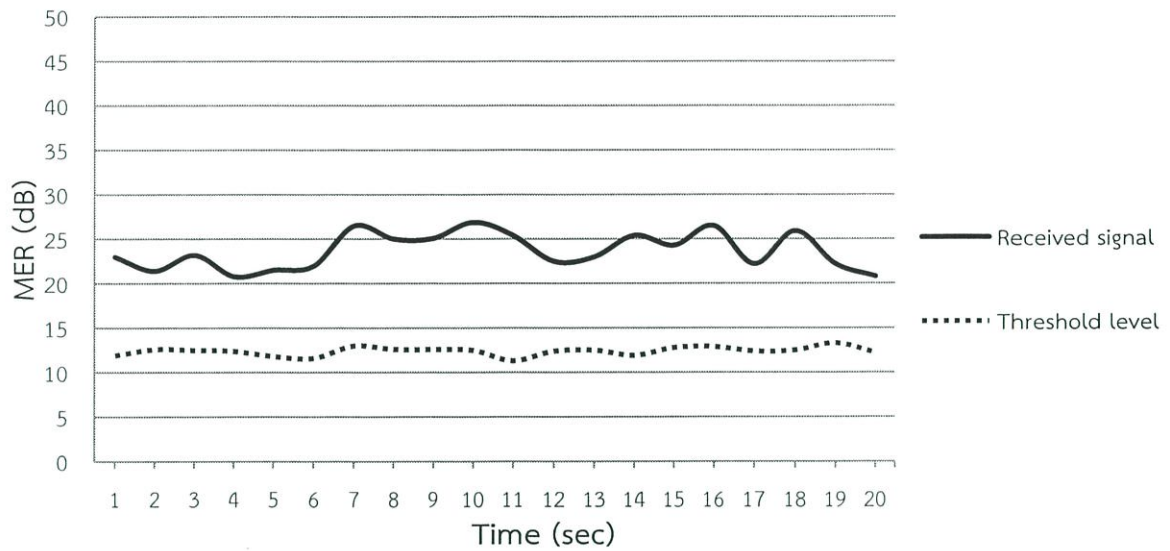
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 15.85 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.00 dB



รูปที่ 4.17 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตทวีวัฒนา

18) สำนักงานเขตคลองสามวา

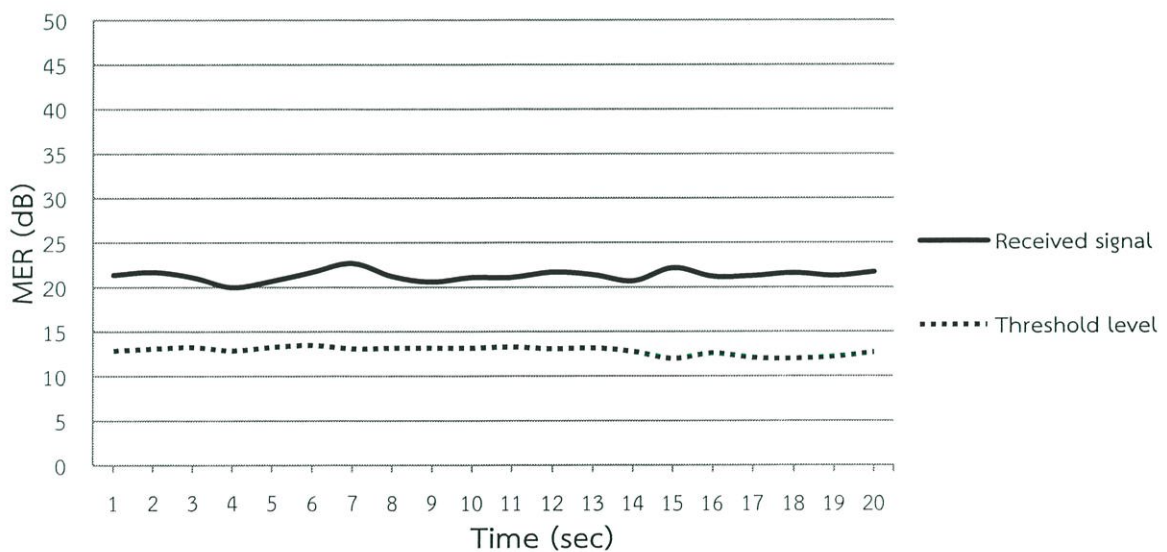
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 23.68 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.38 dB



รูปที่ 4.18 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตคลองสามวา

19) สำนักงานเขตบางบอน

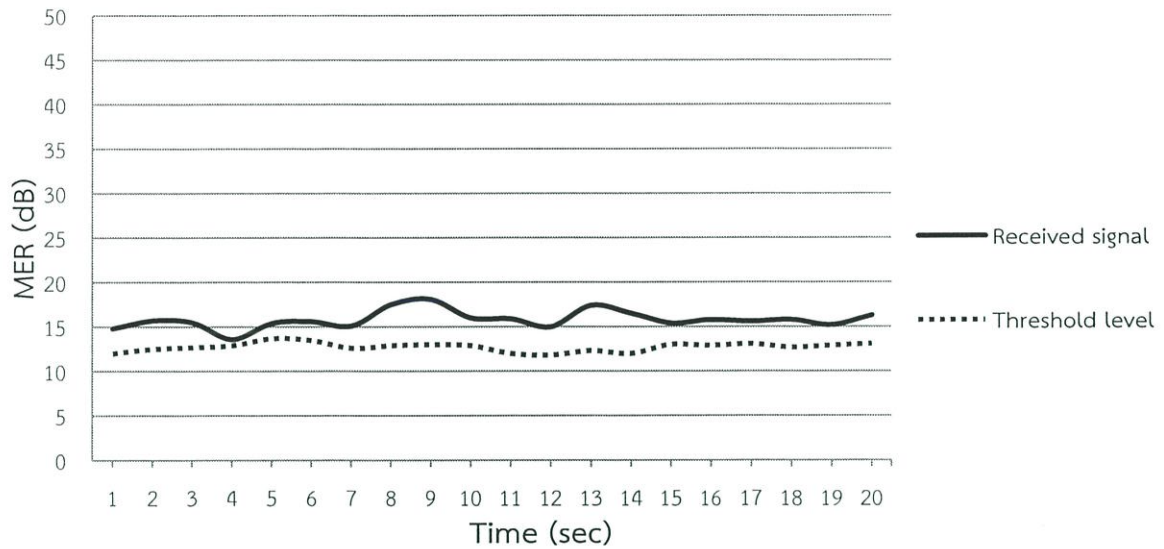
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 21.32 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.88 dB



รูปที่ 4.19 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตบางบอน

20) สำนักงานเขตลาดกระบัง

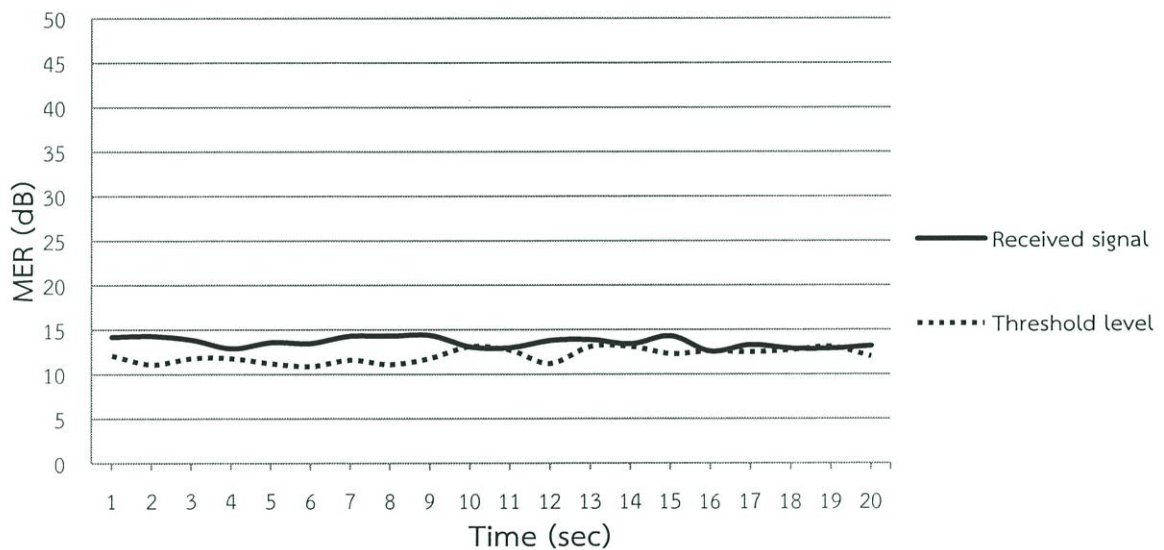
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 15.06 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.72 dB



รูปที่ 4.20 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตลาดกระบัง

21) สำนักงานเขตหนองจอก

พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.42 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.09 dB



รูปที่ 4.21 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานเขตหนองจอก

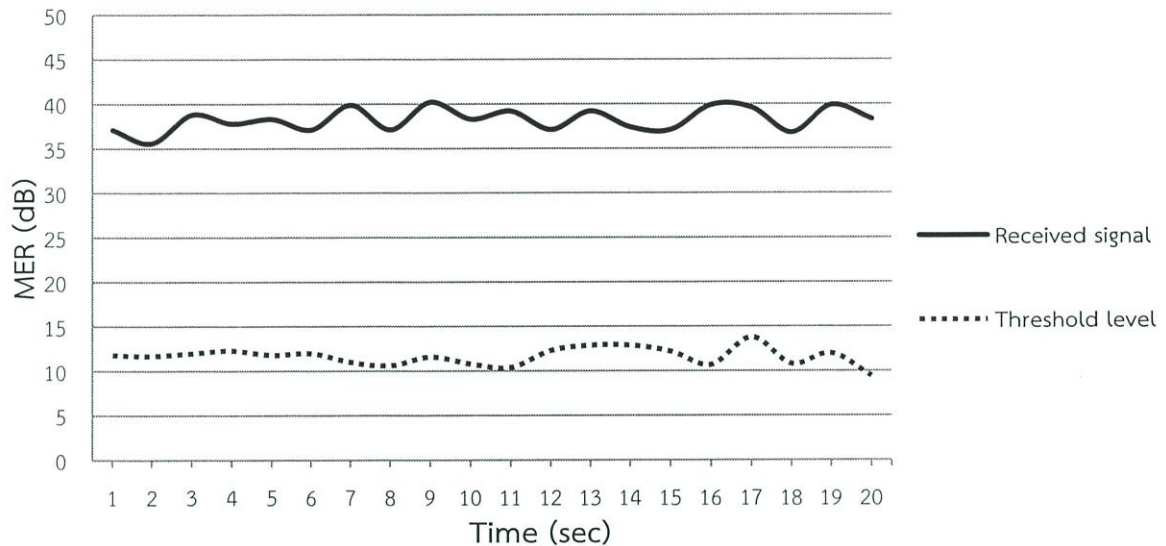
4.2 ผลการวัดสัญญาณ DVB-T2 ในอำเภอมบขี

ค่า MER ของสัญญาณที่วัดได้เทียบกับเวลา ใน MUX ที่ 3 ช่องสัญญาณที่ 41 ช่อง MCOT ความถี่ 634 MHz ตามสถานที่ต่างๆทั่วอำเภอมบขี ทั้งหมด 5 สถานที่ โดยค่าที่นำมาพล็อตกราฟ จะเป็นค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริง พล็อตด้วยกราฟเส้นทึบ กับค่า MER ของสัญญาณที่ผ่านการลดทอนด้วย

Attenuation จนค่า MER เป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้ พล็อตด้วยกราฟเส้นประ แสดงดังรูปที่ 4.22 – 4.26

1) สำนักงานขนส่งจังหวัดราชบุรี สาขาอำเภอจอมบึง

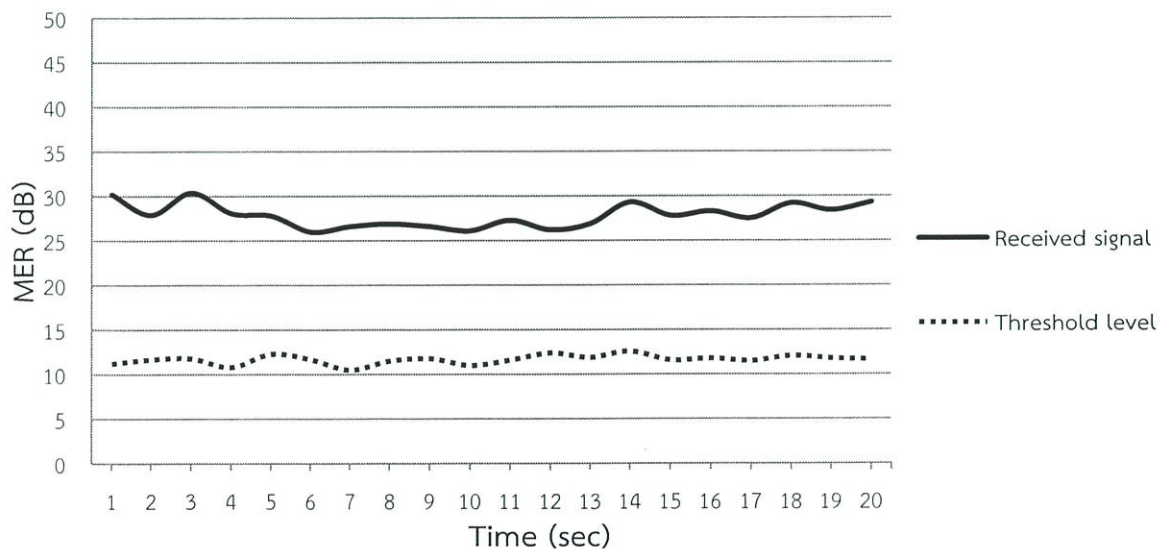
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 38.23 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11.65 dB



รูปที่ 4.22 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่สำนักงานขนส่งจังหวัดราชบุรี สาขาอำเภอจอมบึง

2) มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

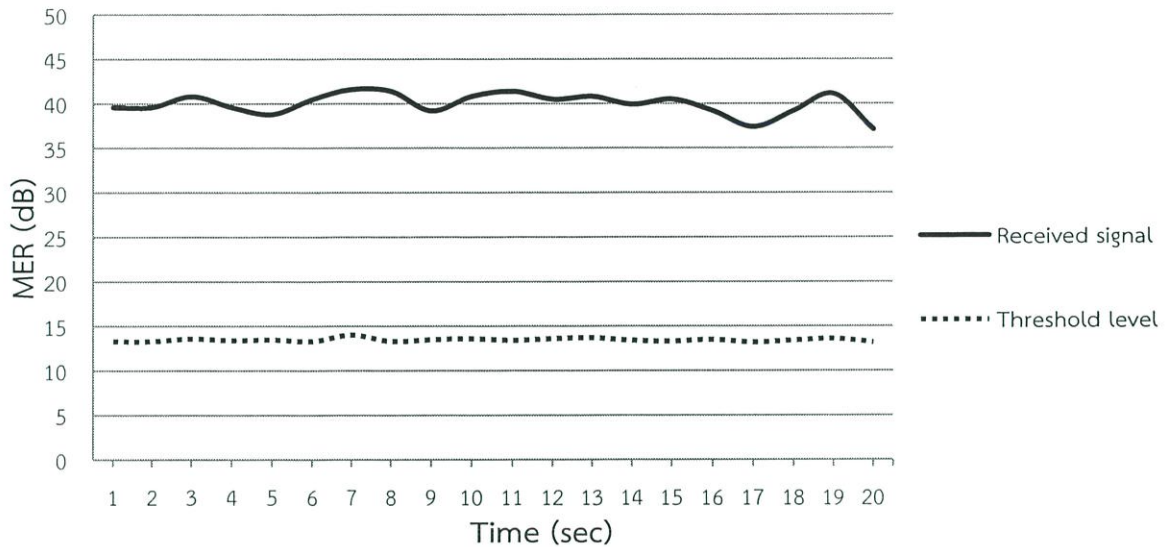
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 27.69 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11.66 dB



รูปที่ 4.23 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

3) โรงเรียนบ้านพุแค

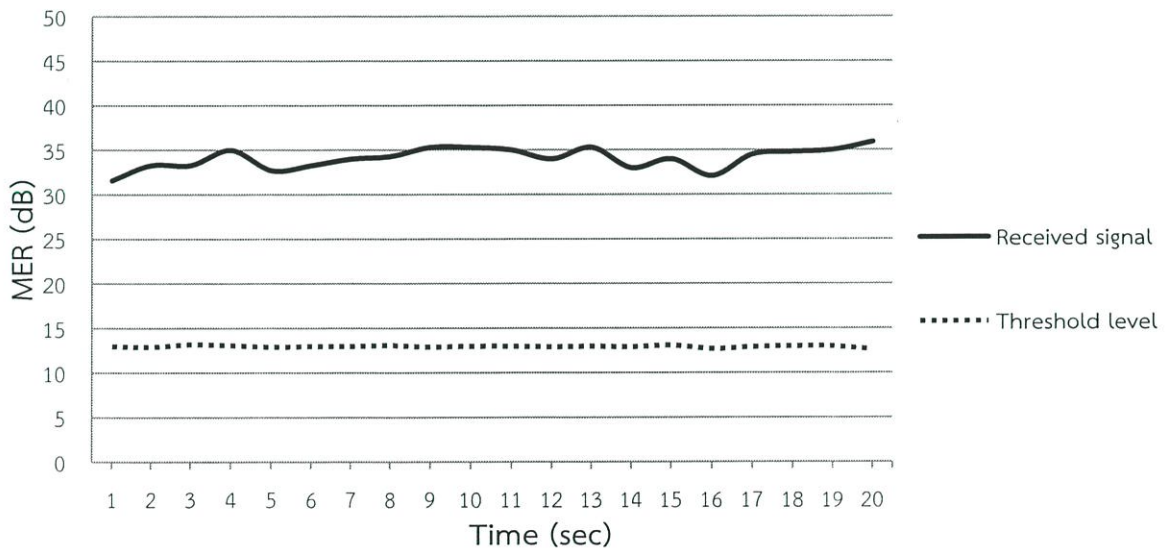
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 39.95 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.45 dB



รูปที่ 4.24 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่โรงเรียนบ้านพุแค

4) ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์หนองกวาง

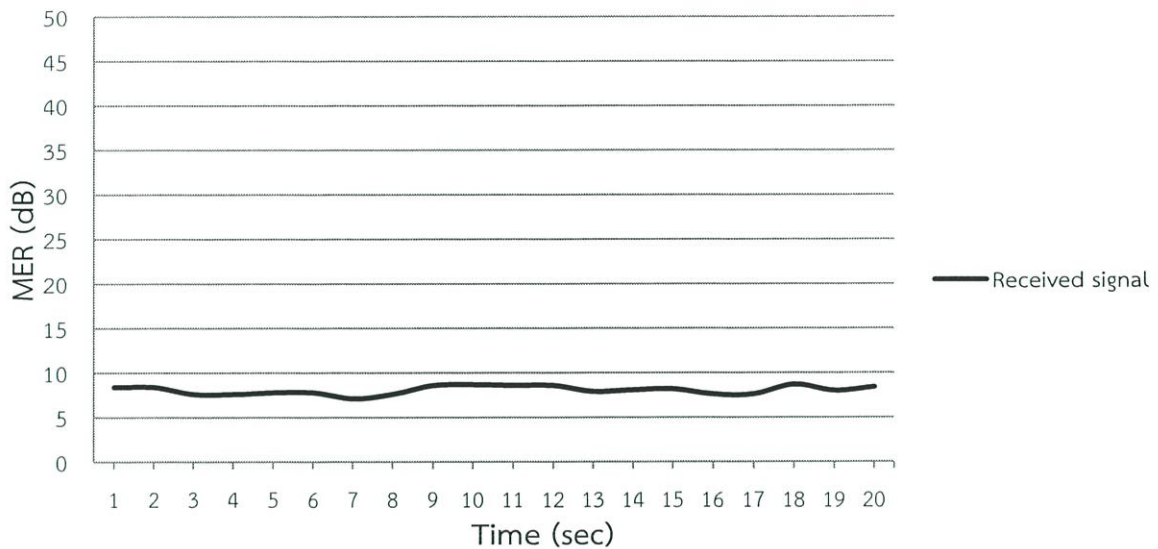
พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 34.08 dB และหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.96 dB



รูปที่ 4.25 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์หนองกวาง

5) องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขาว

พบว่าสามารถหาค่า MER ของสัญญาณที่รับได้จริงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.8 dB ไม่สามารถรับภาพได้ จึงไม่สามารถหาค่า MER ที่เป็นค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดยังสามารถรับภาพได้



รูปที่ 4.26 อัตราความผิดพลาดการมอดูเลชันที่วัดได้ที่องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขาว

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณ DVB-T2

4.3.1 วิเคราะห์ข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

จากผลการวัดสัญญาณ DVB-T2 หากนำค่าสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องรับ มาคำนวณลงไปในสมการที่ (1) จะได้ความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณปกติและสนามไฟฟ้าของสัญญาณที่ถูกลดทอน และค่าสนามไฟฟ้าพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (coverage) ที่ได้จากการจำลอง รวมทั้งค่า MER และค่า C/N ที่ได้จากการวัดปกติและการวัดเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดเป็นดังตารางที่ 1 โดยในการแทนค่าลงในสมการ จะกำหนดให้ค่าอัตราขยายของสายอากาศรับมีค่าเท่ากับ 1.3 และความถี่ของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 626 MHz โดยกำหนดให้สถานที่ที่ทำการวัดสัญญาณ สามารถแทนด้วยหมายเลขต่างๆดังนี้

1. สำนักงานเขตบางรัก
2. สำนักงานเขตห้วยขวาง
3. สำนักงานเขตวัฒนา
4. สำนักงานเขตสาทร
5. สำนักงานเขตบางพลัด
6. สำนักงานเขตยานนาวา
7. สำนักงานเขตธนบุรี
8. สำนักงานเขตคลองเตย

9. สำนักงานเขตจตุจักร
10. สำนักงานเขตบางนา
11. สำนักงานเขตภาษีเจริญ
12. สำนักงานเขตบึงกุ่ม
13. สำนักงานเขตบางเขน
14. สำนักงานเขตทุ่งครุ
15. สำนักงานเขตประเวศ
16. สำนักงานเขตดอนเมือง
17. สำนักงานเขตทวีวัฒนา
18. สำนักงานเขตคลองสามวา
19. สำนักงานเขตบางบอน
20. สำนักงานเขตลาดกระบัง
21. สำนักงานเขตหนองจอก

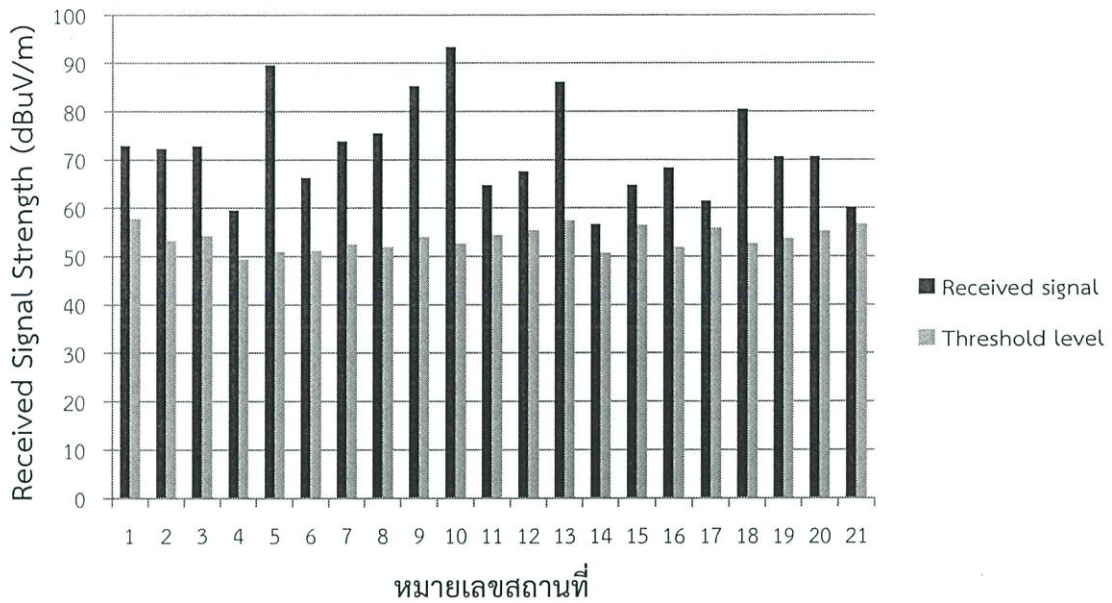
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

สถานที่	ระยะห่าง จาก เครื่องส่ง (km)	Received Signal Strength (dB μ V/m)			Attenuation (dB)	MER (dB)		C/N (dB)	
		Simulation	สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกลดทอน		สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกลดทอน	สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกลดทอน
1	3.08	88	72.97	57.83	15.14	16.24	7.33	17	7
2	4.88	88	72.38	53.23	19.15	19.44	9.83	21	9
3	5.11	88	72.93	54.23	18.7	15.75	7.83	17	8
4	5.29	88	59.66	49.43	10.23	13.82	9.33	15	11
5	5.86	88	89.66	51.03	38.63	30.1	12.81	21	14
6	6.49	88	66.34	51.23	15.11	18.6	12.89	23	13
7	6.67	88	73.87	52.53	21.34	32.79	13.12	33	13
8	6.85	88	75.54	51.93	23.61	26.24	11	25	11
9	8.39	85	85.31	54.03	31.28	27.42	12.08	31	13
10	9.71	88	93.39	52.63	40.76	32.89	10.2	36	15
11	11.94	78	64.82	54.43	10.39	18.03	10.34	16	11
12	14.33	78	67.65	55.43	12.22	19.57	9.92	20	12
13	14.47	78	86.2	57.43	28.77	26.05	11.18	27	12
14	16.23	78	56.03	50.73	5.30	12.59	11.54	15	15
15	17.13	78	64.81	56.53	8.28	13.37	10.13	13	6
16	18.24	72	68.37	51.93	16.44	25.09	12.59	26	13
17	20.27	72	61.53	55.93	5.60	15.85	12.00	16	12
18	21.25	72	80.50	52.63	27.87	23.68	12.38	24	13
19	22.87	72	70.71	53.73	16.98	21.32	12.88	21	12
20	26.61	67	70.71	55.23	15.48	15.06	12.72	17	13
21	36.63	47	60.13	56.73	3.40	13.42	12.09	13	12

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร (ต่อ)

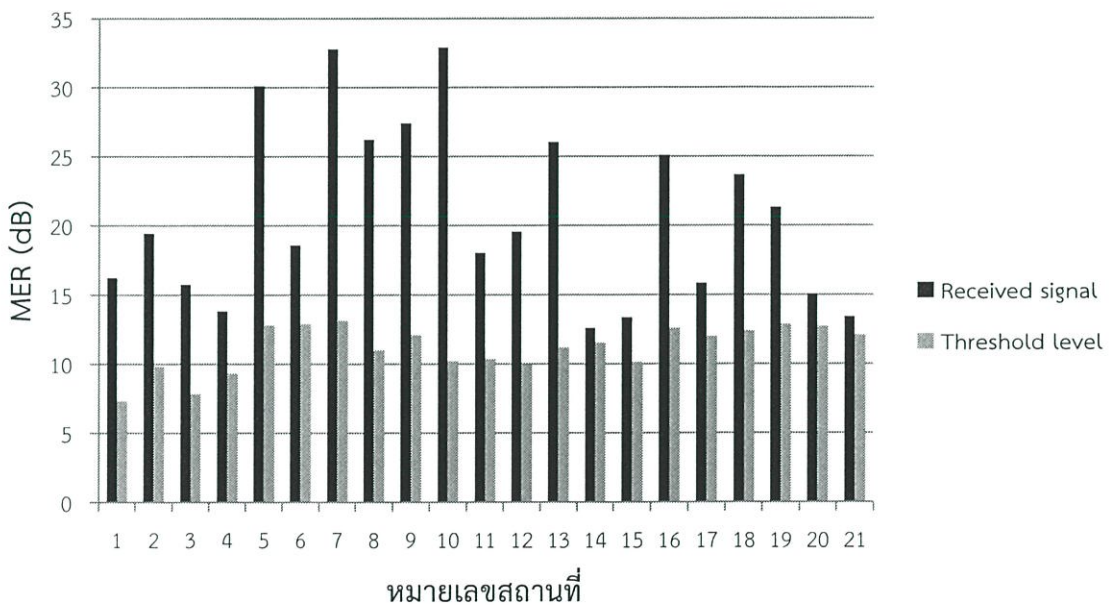
สถานที่	ระยะห่าง จากเครื่องส่ง (km)	bBER		aBER	
		สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกลดทอน	สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกลดทอน
1	3.08	7.45×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	3.11×10^{-4}
2	4.88	3.82×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	6.71×10^{-7}
3	5.11	2.98×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.86×10^{-3}
4	5.29	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	5.11×10^{-4}
5	5.86	4.12×10^{-5}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.98×10^{-3}
6	6.49	3.90×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.38×10^{-3}
7	6.67	2.93×10^{-5}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	4.33×10^{-3}
8	6.85	3.42×10^{-5}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	2.41×10^{-5}
9	8.39	1.16×10^{-4}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.59×10^{-4}
10	9.71	2.73×10^{-5}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.03×10^{-2}
11	11.94	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.05×10^{-4}
12	14.33	4.46×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	2.00×10^{-9}
13	14.47	4.46×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	2.00×10^{-9}
14	16.23	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.10×10^{-3}
15	17.13	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	9.26×10^{-9}
16	18.24	2.10×10^{-4}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	2.55×10^{-2}
17	20.27	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	2.00×10^{-9}
18	21.25	3.00×10^{-5}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.10×10^{-3}
19	22.87	1.47×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	1.54×10^{-8}
20	26.61	9.99×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	6.40×10^{-9}
21	36.63	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	2.29×10^{-9}

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณปกติและความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณที่ถูกลดทอนของแต่ละสถานที่ (กรุงเทพ) มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.27 โดยความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยกราฟเส้นทึบ และ ความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณที่ถูกลดทอน พล็อตด้วยเส้นประ



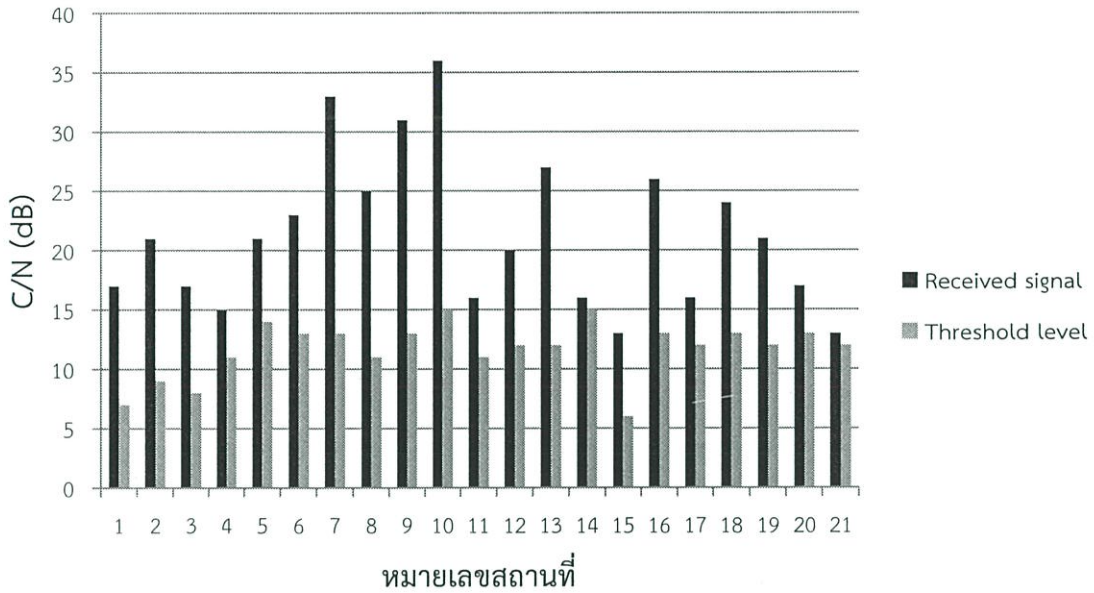
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความแรงสัญญาณในแต่ละสถานี (กรุงเทพฯ)

จากรายการที่ 4.1 สามารถนำค่า MER ของสัญญาณปกติและ MER ของสัญญาณที่ถูกลดทอนของแต่ละสถานี (กรุงเทพฯ) มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.28 โดยค่าที่นำมาพล็อตกราฟ จะเป็นค่า MER ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยกราฟเส้นทึบ และค่า MER ของสัญญาณที่ถูกลดทอน พล็อตด้วยกราฟเส้นประ



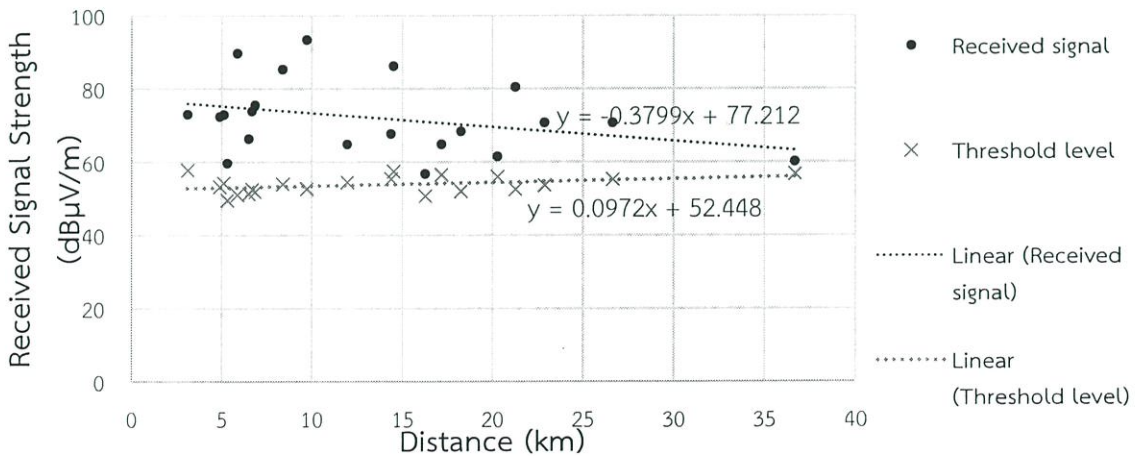
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่า MER ในแต่ละสถานี (กรุงเทพฯ)

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำค่า C/N ของสัญญาณปกติและ C/N ของสัญญาณที่ถูกกลดทอนของแต่ละสถานที่ (กรุงเทพ) มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.28 โดยค่าที่นำมาพล็อตกราฟ จะเป็นค่า C/N ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยกราฟเส้นทึบ และค่า C/N ของสัญญาณที่ถูกกลดทอน พล็อตด้วยกราฟเส้นประ



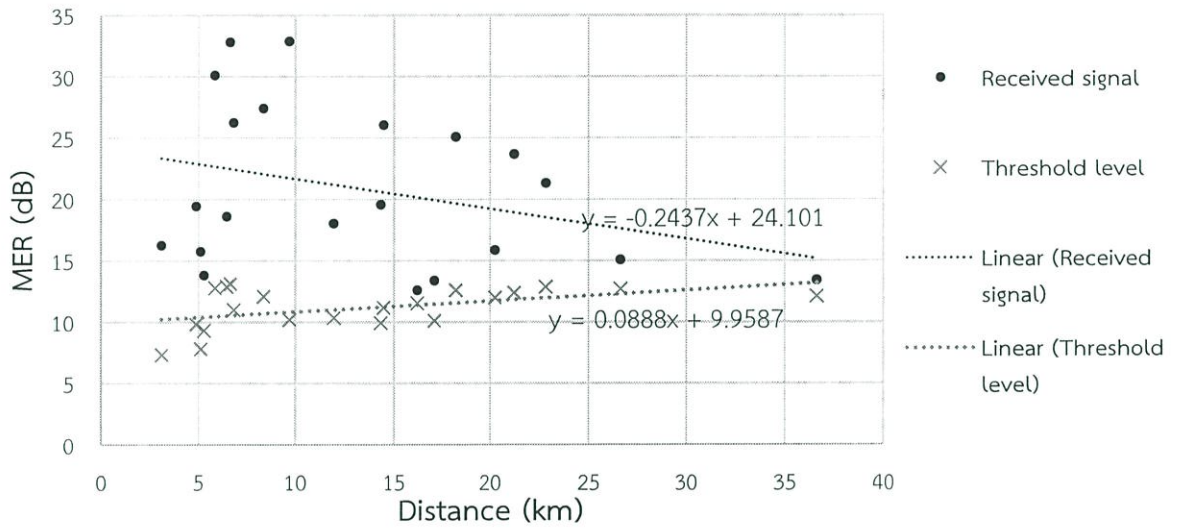
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่า C/N ในแต่ละสถานที่ (กรุงเทพ)

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณปกติและความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณที่ถูกกลดทอนของแต่ละสถานที่ (กรุงเทพ) มาพล็อตกราฟเทียบกับระยะทางจากจุดวัดที่เปลี่ยนไป เพื่อที่จะหาแนวโน้มความแรงสัญญาณที่รับได้เมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงไป ได้ดังรูปที่ 4.30 โดยความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยจุดวงกลม และ ความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณที่ถูกกลดทอน พล็อตด้วยกากบาท



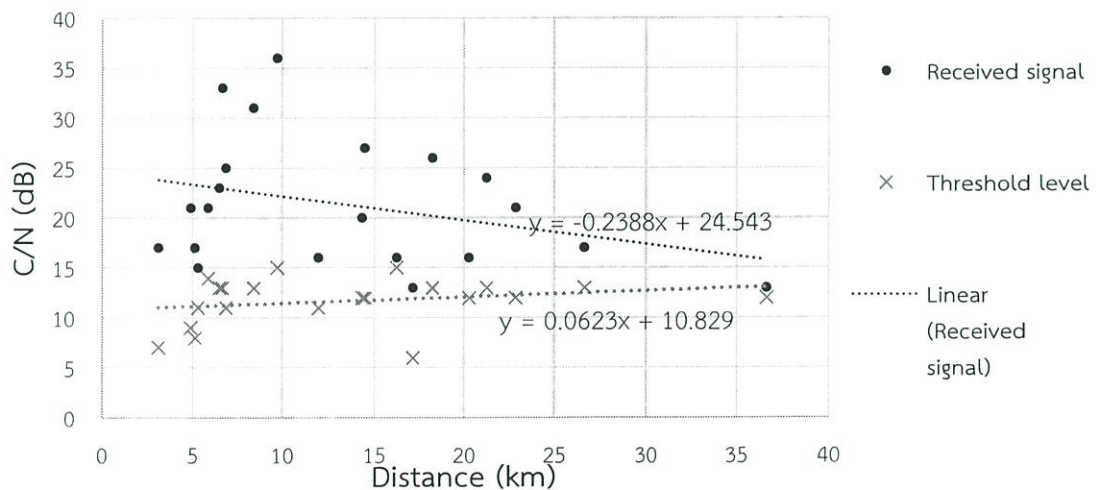
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความแรงสัญญาณเปรียบเทียบกับระยะทางที่เปลี่ยนไป

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำค่า MER ของสัญญาณปกติและค่า MER ของสัญญาณที่ถูกลดทอนของแต่ละสถานี (กรุงเทพ) มาพล็อตกราฟเทียบกับระยะทางจากจุดวัดที่เปลี่ยนไป เพื่อที่จะหาแนวโน้มค่า MER เมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงไป ได้ดังรูปที่ 4.31 โดยค่า MER ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยจุดวงกลม และ ค่า MER ของสัญญาณที่ถูกลดทอน พล็อตด้วยกากบาท



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่า MER เปรียบเทียบกับระยะทางที่เปลี่ยนไป

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำค่า C/N ของสัญญาณปกติและค่า C/N ของสัญญาณที่ถูกลดทอนของแต่ละสถานี (กรุงเทพ) มาพล็อตกราฟเทียบกับระยะทางจากจุดวัดที่เปลี่ยนไป เพื่อที่จะหาแนวโน้มค่า C/N เมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงไป ได้ดังรูปที่ 4.32 โดยค่า C/N ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยจุดวงกลม และ ค่า C/N ของสัญญาณที่ถูกลดทอน พล็อตด้วยกากบาท



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่า C/N เปรียบเทียบกับระยะทางที่เปลี่ยนไป

4.3.2 วิเคราะห์ข้อมูลในอำเภอจอมบึง

จากผลการวัดสัญญาณ DVB-T2 หากนำค่าสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องรับ มาคำนวณลงไปนสมการที่ (1) จะได้ความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณปกติและสนามไฟฟ้าของสัญญาณที่ถูกกลดทอน และค่าสนามไฟฟ้าพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ออกอากาศ (coverage) ที่ได้จากการจำลอง รวมทั้งค่า MER และค่า C/N ที่ได้จากการวัดปกติและการวัดเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดเป็นดังตารางที่ 2 โดยในการแทนค่าลงในสมการ จะกำหนดให้ค่าอัตราขยายของสายอากาศรับมีค่าเท่ากับ 1.3 และความถี่ของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 634 MHz โดยกำหนดให้สถานที่ที่ทำการวัดสัญญาณ สามารถแทนด้วยหมายเลขต่างๆดังนี้

1. สำนักงานขนส่งจังหวัดราชบุรี สาขาอำเภอจอมบึง
2. มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง
3. โรงเรียนบ้านพุแค
4. องค์การบริหารส่วนตำบลหนองกวาก
5. ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์หนองกวาก

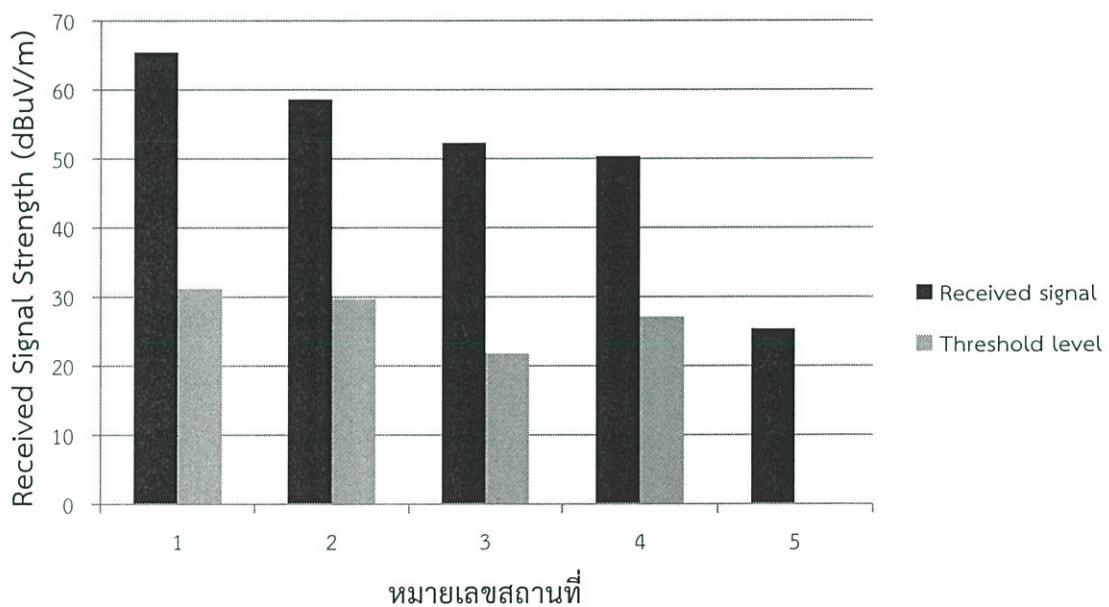
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในอำเภอจอมบึง

สถานที่	ระยะห่าง จาก เครื่องส่ง (km)	Received Signal Strength (dB μ V/m)			Attenuation (dB)	MER (dB)		C/N (dB)	
		Simulation	สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกกลดทอน		สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกกลดทอน	สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกกลดทอน
1	1.46	88	90.31	56.03	15.14	38.23	11.65	41	9
2	2.89	85	83.48	54.53	19.15	27.69	11.66	29	12
3	6.12	78	77.17	46.63	18.7	39.95	13.45	42	14
4	10.57	72	75.2	51.93	10.23	34.08	12.96	33	14
5	17.00	30	50.23	-	38.63	8.06	-	9	-

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ในอำเภอจอมบึง (ต่อ)

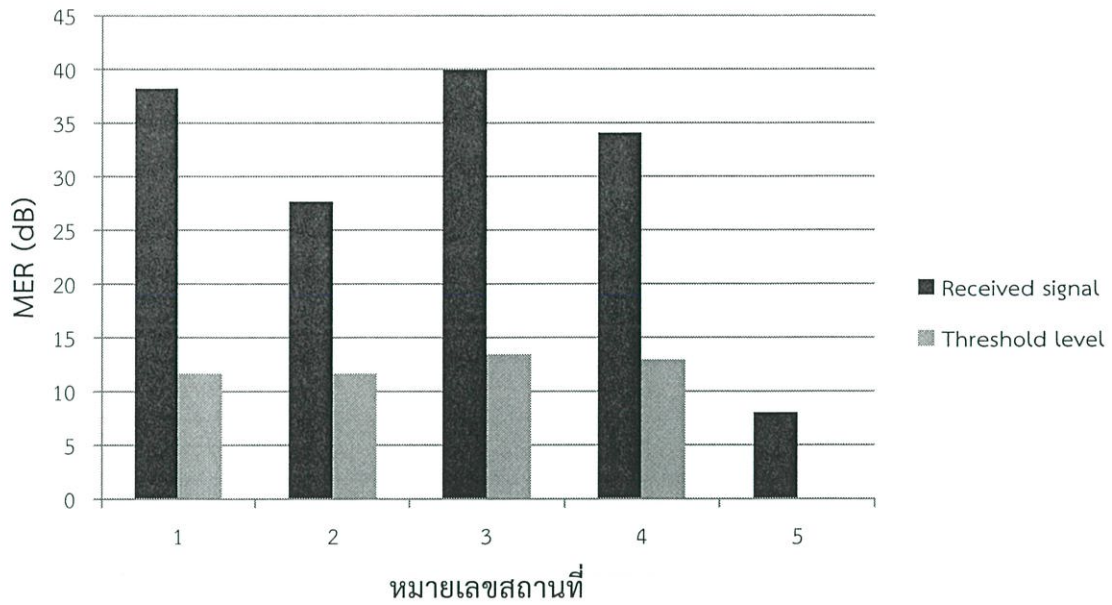
สถานที่	ระยะห่าง จากเครื่องส่ง (km)	bBER		aBER	
		สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกลดทอน	สัญญาณที่ รับได้	สัญญาณที่ ถูกลดทอน
1	1.46	3.74×10^{-5}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	7.43×10^{-9}
2	2.89	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	7.43×10^{-9}	3.96×10^{-3}
3	6.12	2.77×10^{-5}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	6.59×10^{-4}
4	10.57	2.96×10^{-5}	1.00×10^{-2}	2.00×10^{-9}	6.36×10^{-5}
5	17.00	1.00×10^{-2}	-	3.30×10^{-2}	-

จากตารางที่ 4.3 สามารถนำความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณปกติและความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณที่ถูกลดทอนของแต่ละสถานที่ (จอมบึง) มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.33 โดยความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยกราฟเส้นทึบ และ ความแรงสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณที่ถูกลดทอน พล็อตด้วยกราฟเส้นประ



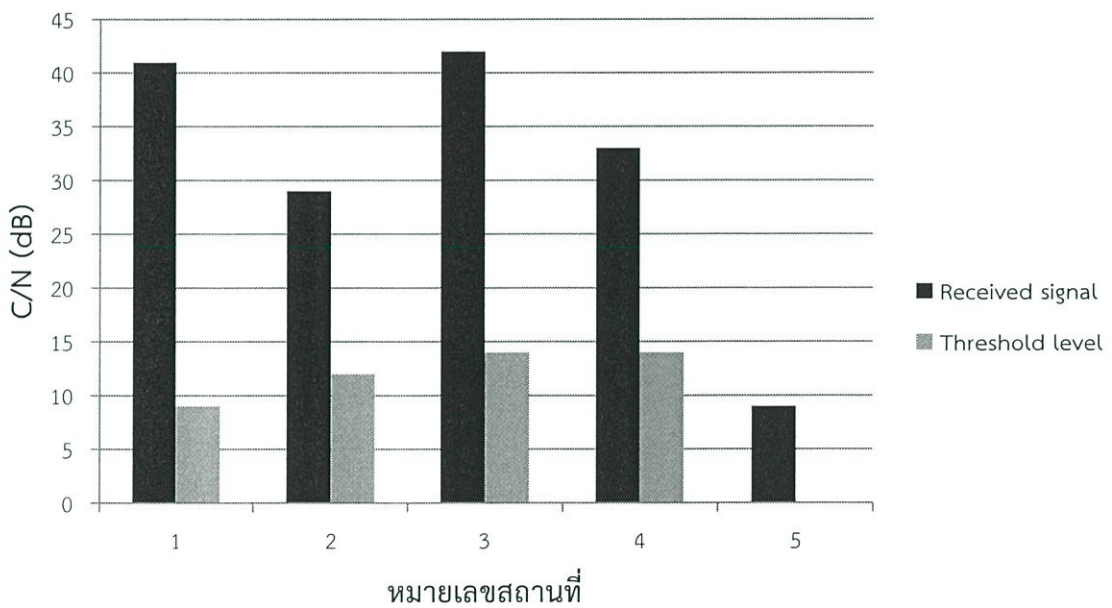
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความแรงสัญญาณในแต่ละสถานที่ (จอมบึง)

จากตารางที่ 4.3 สามารถนำค่า MER ของสัญญาณปกติและ MER ของสัญญาณที่ถูกลดทอนของแต่ละสถานที่ (จอมบึง) มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.34 โดยค่าที่นำมาพล็อตกราฟ จะเป็นค่า MER ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยกราฟเส้นทึบ และค่า MER ของสัญญาณที่ถูกลดทอน พล็อตด้วยกราฟเส้นประ



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่า MER ในแต่ละสถานี (จอมบึง)

จากตารางที่ 4.3 สามารถนำค่า C/N ของสัญญาณปกติและ C/N ของสัญญาณที่ถูกลดทอนของแต่ละสถานี (จอมบึง) มาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.35 โดยค่าที่นำมาพล็อตกราฟ จะเป็นค่า C/N ของสัญญาณปกติ พล็อตด้วยกราฟเส้นทึบ และค่า C/N ของสัญญาณที่ถูกลดทอน พล็อตด้วยกราฟเส้นประ



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่า C/N ในแต่ละสถานี (จอมบึง)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการวัดในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

จากผลการวัดช่องสัญญาณในกรุงเทพมหานคร สามารถสรุปได้ว่า ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่าในระยะทางที่ไกลออกจากเครื่องส่ง ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่วัดได้ มีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการสูญเสียที่เกิดจากอวกาศว่าง นอกจากนี้แล้ว จากการเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ได้ทำขึ้นมาในตอนแรก พบว่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่วัดได้จากการวัด มีค่าไม่ตรงกับผลที่ได้จากการจำลอง กำลังของสัญญาณที่มีค่าน้อยลงนั้น เกิดจากการสูญเสียกำลังไประหว่างออกอากาศ เนื่องจากสภาพแวดล้อมของกรุงเทพฯกบดบังด้วยตึกสูงจำนวนมาก สัญญาณจึงถูกลดทอนลงไป ระหว่างที่สะท้อนกับตึก

นอกจากผลการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าแล้ว ยังมีการเปรียบเทียบค่า MER และค่า C/N ที่รับได้จริง กับค่า MER และ C/N ที่ทำการวัดจากสัญญาณที่ถูกลดทอนด้วย Attenuation แล้ว จะเห็นว่าทั้ง 21 เขตในกรุงเทพมหานครมีค่า MER สูงพอที่จะสามารถรับภาพได้ รวมถึงค่า aBER ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบว่าในการออกอากาศ ช่องสัญญาณมีคุณภาพสูงแค่ไหน จากในตารางจะเห็นว่าค่า aBER มีค่าต่ำถึง 2.00×10^{-9} แสดงให้เห็นว่ามีอัตราส่วนระหว่างบิตข้อมูลที่ผิดพลาดเทียบกับจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดในช่วงเวลาที่วัดน้อยมาก ส่งผลให้เครื่องรับสามารถรับชมภาพได้ แต่ก็ยังมีบางพื้นที่ ที่พบว่าค่า MER และ C/N ค่อนข้างต่ำ เช่น พื้นที่เขตหนองจอก เนื่องจากหนองจอกมีระยะห่างจากเครื่องส่งมากถึง 36.63 กิโลเมตร หากมีสัญญาณรบกวนสูงในระดับนี้ จะทำให้ภาพรับไม่ได้ ในอนาคตอาจจะเพิ่มสถานีเสริมเพิ่มเพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้อย่างมีคุณภาพมากขึ้น

5.2 สรุปการวัดในอำเภอจอมบึง

จากผลการวัดความเข้มสนามไฟฟ้า พบว่าค่าสนามไฟฟ้าที่รับได้ ไม่เป็นไปตามผลการจำลอง เนื่องจากการสูญเสียจากระยะทางที่ห่างจากเครื่องส่ง แต่สัญญาณยังคงรับได้ดีเพราะมีค่า MER และค่า C/N สูง ในการวัดที่อำเภอจอมบึงนั้น ค่า aBER ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบว่าในการออกอากาศ ช่องสัญญาณมีคุณภาพสูงแค่ไหน จากในตารางจะเห็นว่าค่า aBER มีค่าต่ำถึง 2.00×10^{-9} แสดงให้เห็นว่ามีอัตราส่วนระหว่างบิตข้อมูลที่ผิดพลาดเทียบกับจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดในช่วงเวลาที่วัดน้อยมาก เครื่องรับสามารถรับชมภาพที่มีคุณภาพสูง ได้มีการทดลองวัดในจุดที่อับสัญญาณคือศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์หนองขวาง เพื่อทดสอบว่าจะสามารถรับภาพในจุดนั้นได้หรือไม่ ซึ่งก็ได้ผลออกมาว่าไม่สามารถรับภาพได้จริงๆ เนื่องจากค่า aBER มีค่ามากถึง 3.30×10^{-2} เครื่องรับไม่สามารถรับภาพได้เลย ในอนาคตอาจจะมีการตั้งสถานีเสริมขึ้นมาอีก เพื่อให้ในจุดที่อับสัญญาณ สามารถรับภาพได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองวัดสัญญาณ พบว่ามีบางพื้นที่ ที่สามารถรับภาพได้ แต่ค่า MER และค่า C/N ค่อนข้างน้อย ค่าที่วัดได้จากสัญญาณที่รับได้จริงและสัญญาณที่เป็นค่าต่ำสุดที่ยังสามารถรับชมภาพได้ มีค่าใกล้เคียงกัน พื้นที่นั้นสัญญาณจะไม่ทนต่อการถูกรบกวน ซึ่งอาจสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการเพิ่มกำลังส่ง หรืออาจมีการเพิ่มสถานีส่งขึ้น เพื่อให้การรับภาพเป็นไปอย่างมีคุณภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “โทรทัศน์ในประเทศไทย”
<https://th.wikipedia.org/wiki/โทรทัศน์ในประเทศไทย>
- [2] คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. “รายงานผลการศึกษาและจัดทำมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล”
- [3] วีระศักดิ์ เชิงเขาว์. “DVB-T2 ทางเลือกในการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลของประเทศไทย”. 18 สิงหาคม 2554
- [4] คณะเจ้าหน้าที่บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน). “เทคโนโลยีการแพร่กระจายคลื่นดิจิทัล”.
http://dtv.mcot.net/techno_one.php?dateone=1247363871
- [5] บัณฑิต รักวีรธรรม และ สถาพร พรหมวงศ์. การประเมินผลการปฏิบัติงานของ DVB-T2 สำหรับการรับสัญญาณแบบภายนอกอาคาร. เอกสารสัมมนาวิชาการระดับดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558.
- [6] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. เรื่อง แนวปฏิบัติทางเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร, 2558.
- [7] กิตติ วงศ์ถาวรวาวัฒน์. เป้าหมายและหลักการพื้นฐานที่สำคัญของการวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล
- [8] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “Field strength”
https://en.wikipedia.org/wiki/Field_strength
- [8] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “Modulation error ratio”
https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation_error_ratio
- [9] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “Constellation diagram”
https://en.wikipedia.org/wiki/Constellation_diagram
- [10] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “Carrier-to-noise ratio”
https://en.wikipedia.org/wiki/Carrier-to-noise_ratio
- [11] Iñaki 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.

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก

Page 2 of 3

EMC TEST SYSTEMS
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

รูปที่ ก.1 ข้อมูลสายอากาศไดโพลสำหรับใช้วัดช่องสัญญาณ [7]

ตารางที่ ก.1 ประเภทของสถานีและคำอธิบาย

อักษรย่อ	ประเภทสถานี	จำนวนสถานี	คำอธิบาย
M	สถานีหลัก	39	สถานีหลักตามแผนการขยายโครงข่ายภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลในปีที่ 1 และ 2 โดยเป็นสถานีซึ่งมีสถานีที่ตั้งอยู่เดิม และสถานีที่ตั้งนี้ได้รับความเห็นชอบร่วมกันระหว่างผู้ได้รับอนุญาตประกอบกิจการโทรทัศน์สำหรับการให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลทุกราย
A1	สถานีเสริมกลุ่ม A1	45	เป็นสถานีซึ่งมีสถานีที่ตั้งอยู่เดิม และสถานีที่ตั้งนี้ได้รับความเห็นชอบร่วมกันระหว่างผู้ได้รับอนุญาตประกอบกิจการโทรทัศน์สำหรับการให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลทุกราย โดยสถานีเสริมกลุ่ม A1 เป็นการติดตั้งสถานีเสริมเพื่อให้ได้พื้นที่ครอบคลุมร้อยละ 90 ของจำนวนครัวเรือนทั่วประเทศ
A2	สถานีเสริมกลุ่ม A2	38	เป็นสถานีซึ่งมีสถานีที่ตั้งอยู่เดิม และสถานีที่ตั้งนี้ได้รับความเห็นชอบร่วมกันระหว่างผู้ได้รับอนุญาตประกอบกิจการโทรทัศน์สำหรับการให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลทุกราย
A3	สถานีเสริมกลุ่ม A3	49	เป็นสถานีซึ่งอาจจะไม่มีสถานีที่ตั้งอยู่เดิม แต่เป็นสถานีอ้างอิงเพื่อการขยายโครงข่ายในอนาคต เพื่อให้ได้พื้นที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของจำนวนครัวเรือนทั่วประเทศ

ตารางที่ ก.2 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม

ลำดับ	ชื่อสถานี	ประเภท	ลองจิจูด	ละติจูด	ความสูง เสาอากาศ (เมตร)	กลุ่ม ความถี่	#1	#2	#3	#4	#5	#6	กำลังส่งออก จากศูย์จุด (กิโลวัตต์)
1.00	กรุงเทพฯ	M	100.540270	13.754300	328	Db	26	36	40	44	32 (52)	29	100.00
1.01	เขาฉกาจ	A1	100.949558	13.190653	40	De	45	59	53	56	43	48	1.00
1.02	พัททยา	A1	100.866450	12.921333	60	De	45	59	53	56	43	48	1.00
1.03	จอมบึง	A2	99.613515	13.627185	112	Dc	49	37	41	30	27	33	5.00
1.04	บ่อทอง	A2	101.439334	13.278336	72	De	45	59	53	56	43	48	5.00
1.05	สมุทรสงคราม	A2	100.003068	13.409810	73	Db	26	36	40	44	32	29	0.50
1.06	สถานีเสริม A3 #100	A3	101.532330	13.560010	70	Dd	54	50	46	38	57	34	1.00
2.00	กาญจนบุรี	M	99.420556	14.074444	124	Dc	49	37	41	30	27	33	25.00
2.01	ไทรโยค	A2	99.144000	14.118230	70	Dc	49	37	41	30	27	33	0.50
2.02	ทองผาภูมิ	A2	98.623956	14.752401	70	Dd	38	50	46	34	54	57	0.50
2.03	สถานีเสริม A3 #101	A3	98.344410	15.115130	70	Dd	38	50	46	34	54	57	1.00
2.04	สถานีเสริม A3 #064	A3	99.482219	14.583099	70	De	53	43	45	48	56	59	10.00
3.00	สิงห์บุรี	M	100.377004	14.836115	126	Da	35	51	47	39	31 (55)	28	15.00
3.01	สุพรรณบุรี	A1	100.180238	14.463391	100	Da	35	51	47	39	31	28	1.00
3.02	วังคัน (ด่านช้าง 2)	A1	99.667900	14.930610	60	Da	35	51	47	39	31 (55)	28	0.30