



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวัดและการจำลองอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน  
ของระบบการส่งผ่านโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง

Modulation Error Ratio Measurement and Modeling of DVB-T2 System

นางสาวพิมพ์นิธิ ธรรมมุลตรี

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวัดและการจำลองอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน  
ของระบบการส่งผ่านโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง

Modulation Error Ratio Measurement and Modeling of DVB-T2 System

นางสาวพิมพ์นิธิ ธรรมมุสตรี

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การวัดและการจำลองอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันของระบบการส่งผ่าน  
โทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง

ชื่อ-สกุล นักศึกษา พิมพนิธิ ธรรมมุลตรี

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร. สถาพร พรหมวงศ์  
ผศ.ดร. พิชญ์ สุพรรณกุล

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน บัณฑิต รักวีรธรรม

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบการออกอากาศโครงข่ายสัญญาณโทรทัศน์ในประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชัน (MER) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับมาตรฐานการออกอากาศ ดังนั้น รายงานนี้จึงได้วัดและจำลอง MER ของโทรทัศน์ภาพพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง โดยทำการวัดในตึกปฏิบัติการที่บริษัท อสมท. จำกัด (มหาชน) ได้วัด MER ที่มีแบบรูปไพลอต อัตราการเข้ารหัส และชนิดการมอดูเลชันที่แตกต่างกัน นอกจากนั้น ยังทำแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MER กับอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (CNR) โดยใช้สมการการถดถอยเชิงเส้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละชนิดการมอดูเลชันได้แสดงไว้ในสรุปผลการวิจัย

คำสำคัญ : DVB-T2, อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชัน

**Co-operative Title:** Modulation Error Ratio Measurement and Modeling of DVB-T2 System

**Student Intern Name:** Pimniti Thummultri

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

**Advisor Name:** Dr. Sathaporn Promwong  
Asst.Prof.Dr. Pichaya Supanakoon

**Mentor Name:** Mr. Bundit Ruckveratham

**Company:** MCOT Public Company Limited ( MCOT )

## ABSTRACT

In the present, the television broadcast system in Thailand changes from analog to digital. The modulation error ratio (MER) is important parameter for broadcast. Therefore, this report measures and models the MER of second-generation digital terrestrial television (DVB-T2). The measurement is done in laboratory building in MCOT Public Company Limited. The MER is measured with different pilot pattern, code rate and modulation type. Moreover, the relation between MER and carrier to noise ratio (CNR) is modelled using linear regression. The optimum parameters in each modulation type are shown in research conclusion.

**Keywords :** DVB-T2, Modulation Error Ratio (MER)

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์จากบริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) ที่ได้มอบโอกาสในการเข้ามาทำ สหกิจศึกษา ให้ความรู้และประสบการณ์การทำงานต่าง ๆ จนทำให้โครงการและรายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ไปได้ และขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้จัดทำโครงการ สหกิจศึกษาขึ้นนี้มา และเปิดโอกาสให้ได้ ไปทำการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ ผศ.ดร. พิชญ์ สุพรรณกุล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และเป็น อาจารย์นิเทศในการมาทำสหกิจศึกษาครั้งนี้ ตลอด 4 เดือนที่ได้เข้ามาทำสหกิจนั้น หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือเมื่อเกิดปัญหาตลอดการทำโครงการ โครงการในครั้งนี้นคงไม่สามารถ สำเร็จลุล่วงไปได้ และขอของพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่เป็นกรรมการคุมสอบสหกิจ ศึกษาทุกท่าน ที่ให้การชี้แนะให้รายงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณสุธี สุวรรณประภา ผู้จัดการส่วนควบคุมสัญญาณโทรทัศน์ และ คุณบัณฑิต รักวีร ธรรม วิศวกรอาวุโส ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงาน จัดหาอุปกรณ์ และคำแนะนำที่ดี ๆ เสมอมา อีกทั้งยังเป็น ผู้นิเทศโครงการนี้ และขอบคุณพี่ ๆ ในบริษัท อสมท (มหาชน) จำกัด ทุก ๆ ท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาเป็น อย่างดี ตลอดช่วงเวลา 4 เดือนที่ได้เข้ามาทำสหกิจในบริษัทนี้

พิมพ์นิธิ ธรรมมุลตรี

ผู้จัดทำ

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	II
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 .....	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เทคโนโลยีการแพร่ภาพโทรทัศน์ .....	4
2.2 โทรทัศน์แอนะล็อก (Analog Television) .....	4
2.3 โทรทัศน์ดิจิทัล (Digital Television) .....	4
2.4 มาตรฐานสากลของเทคโนโลยีระบบโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน .....	6
2.5 แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล .....	11
2.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการเปลี่ยนมาใช้คลื่นสัญญาณแบบดิจิทัล .....	14
2.7 การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลในประเทศไทย .....	17
บทที่ 3 การวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2 .....	21
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	21
3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่ารูปแบบการส่งสัญญาณ DVB-T2 .....	21
3.3 พารามิเตอร์ในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2.....	24
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้.....	27
3.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์.....	30
3.6 ขั้นตอนการตั้งค่ารูปแบบการส่งสัญญาณ DVB-T2 .....	31

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 ขั้นตอนการวัดสัญญาณ DVB-T2 และการจัดเก็บข้อมูล .....	35
บทที่ 4 ผลการวัดและการวิเคราะห์ .....	38
4.1 กราฟแสดงค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate .....	38
4.2 กราฟแสดงค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern .....	41
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER และค่า CNR ที่วัดได้ .....	45
4.4 ตารางสรุปผลการที่ได้จากการวัด .....	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	47
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	48
เอกสารอ้างอิง .....	49
ภาคผนวก ก .....	50
ภาคผนวก ข .....	57

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์และรายละเอียดทางเทคนิค สำหรับ DVB-T และ DVB-T2.....	7
2.2 ช่องความถี่วิทยุในจังหวัดกรุงเทพมหานคร.....	12
2.3 พารามิเตอร์หลักของระบบ.....	12
2.4 ประเภทของสถานีที่ให้บริการ.....	13
3.1 ตารางแสดงแบบรูปโพลอตที่ใช้งานได้ในแต่ละรูปแบบของ FFT size และ Guard interval.....	24
4.1 ตารางสรุปผลที่ได้จากการวัด.....	46
ก.1 ตารางกำหนดช่องความถี่วิทยุ.....	51
ก.2 ตารางการจัดกลุ่มช่องความถี่วิทยุ.....	51
ก.3 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม.....	52
ก.4 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม (ต่อ).....	53
ก.5 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม (ต่อ).....	54
ก.6 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม (ต่อ).....	55
ก.7 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม (ต่อ).....	56
ข.1 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 64-QAM, PP2.....	58
ข.2 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 64-QAM, PP3.....	59
ข.3 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 64-QAM, PP8.....	60
ข.4 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 256-QAM, PP2.....	61
ข.5 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 256-QAM, PP3.....	62
ข.6 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 256-QAM, PP8.....	63

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย .....	2
2.1 โครงข่ายความถี่เดี่ยว (Single Frequency Network) .....	6
2.2 Rotated Constellation.....	8
2.3 การเข้ารหัสของฝั่งส่งและการถอดรหัสของฝั่งรับ.....	9
2.4 ตัวอย่างสัญญาณ OFDM และคลื่นพาห်ย่อย .....	10
2.5 ส่วนประกอบของ Transport Stream .....	11
2.6 โครงสร้างของ Transport Stream.....	11
2.7 พื้นที่ครอบคลุมของเขตบริการ 39 สถานีหลัก และ 132 สถานีเสริม.....	14
2.8 การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น.....	15
2.9 สัญญาณมีคุณภาพที่ดีและไม่มีการรบกวน.....	15
2.10 รูปแบบสัญญาณเป็นมาตรฐานเดียวกัน .....	16
2.11 ขนาดของการมองภาพที่ให้มุมมองภาพที่ดีขึ้น.....	17
2.12 โทรทัศน์ความละเอียดสูง .....	18
2.13 บริการช่องสัญญาณที่หลากหลาย.....	18
2.14 ระบบการตอบสนองของโทรทัศน์.....	19
2.15 การให้บริการข้อมูลที่ออกอากาศ .....	19
2.16 การรับส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์พกพา.....	20
3.1 โครงสร้างการมอดูเลตสัญญาณ QPSK.....	21
3.2 สัญญาณ Sine Wave ที่มีมเฟสต่าง ๆ.....	22
3.3 การมอดูเลตแบบต่าง ๆ ของเทคโนโลยี DVB-T และ DVB-T2.....	22
3.4 ตัวอย่างการวางตำแหน่งของไพลอตแต่ละชนิด .....	23
3.5 อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน.....	25
3.6 บล็อกไดอะแกรมอัตราความผิดพลาดบิต .....	26
3.7 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ.....	27
3.8 เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน .....	28
3.9 โปรแกรม DekTec StreamXpress.....	28
3.10 สายอากาศเทียม 50 โอห์ม.....	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 เครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer .....	29
3.12 อุปกรณ์รวมสัญญาณแบบสองทาง .....	29
3.13 สาย LAN .....	29
3.14 สาย Coaxial Cable RG-214.....	30
3.15 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์.....	30
3.16 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ.....	31
3.17 โปรแกรม DekTec StreamXpress.....	31
3.18 หน้าหลักการตั้งค่าเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter .....	32
3.19 หน้าต่างการตั้งค่า Tx Configuration.....	32
3.20 หน้าต่างการตั้งค่า Network .....	33
3.21 หน้าต่างการตั้งค่า Input.....	33
3.22 หน้าต่างการตั้งค่า T2 Base Frame Settings .....	34
3.23 หน้าต่างการตั้งค่า PLP Base Management .....	35
3.24 หน้าจอเริ่มต้นของเครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer.....	35
3.25 พารามิเตอร์โดยรวมของสัญญาณที่วัดได้ .....	36
3.26 สเปกตรัมของสัญญาณที่วัดได้ .....	36
3.27 หน้าต่าง TV SPECIAL FUNCTIONS MENU .....	37
3.28 หน้าต่าง DRIVE TEST บันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ .....	37
4.1 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 64-QAM, PP2 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate.....	38
4.2 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 64-QAM, PP3 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate.....	39
4.3 ค้ออัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 64-QAM, PP8 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate.....	39
4.4 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 256-QAM, PP2 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate.....	40

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 256-QAM, PP3 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate .....	40
4.6 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 256-QAM, PP8 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate .....	41
4.7 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 3/5 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern .....	42
4.8 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 2/3 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern .....	42
4.9 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 3/4 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern .....	43
4.10 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 4/5 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern .....	44
4.11 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 5/6 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern .....	44
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันและอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน .....	45

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีระบบการออกอากาศภาคพื้นดินที่เปลี่ยนจากระบบแอนะล็อกเป็นดิจิทัล โดยทางคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้กำหนดใช้มาตรฐานการกระจายเสียงและการแพร่ภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง หรือ DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial) ทางบริษัททอสมท. ต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้เป็นไปตามที่กสทช. ได้กำหนดไว้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจวัดช่องสัญญาณและวิเคราะห์อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สัญญาณที่ออกอากาศมีคุณภาพตามมาตรฐานของกสทช. ซึ่งจากการที่ประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้ระบบการออกอากาศภาคพื้นดินแบบดิจิทัล ภาพที่รับได้จะเป็นแบบวิสภาพ กล่าวคือถ้าสัญญาณที่รับมามีประสิทธิภาพดีพอ เครื่องรับจะสามารถรับภาพได้ แต่หากสัญญาณที่รับมาไม่มีประสิทธิภาพ เครื่องรับจะไม่สามารถรับภาพได้เลย ฉะนั้นในการออกอากาศจริงจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมให้สัญญาณมีคุณภาพสูงกว่าค่าที่ต่ำที่สุดที่เครื่องรับจะสามารถรับได้เสมอ เพื่อที่หากสัญญาณถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก ผู้ชมจะได้ไม่เกิดปัญหาในการรับชม

ดังนั้น การวิเคราะห์สัญญาณการรับในการออกอากาศจึงมีความจำเป็นอย่างมาก งานวิจัยชิ้นนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับสัญญาณ DVB-T2 ซึ่งได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ซอฟต์แวร์ในการทดสอบการรับสัญญาณ และพิจารณาจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่าต่ำสุดของ CNR ที่ทำให้เครื่องรับยังสามารถรับสัญญาณ DVB-T2 ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งได้แก่ Modulation, Pilot Pattern, Code Rate และขนาดของสัญญาณรบกวน (Noise) เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของการออกแบบโครงข่าย DVB-T2 และสามารถเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งานจริงได้อย่างถูกต้อง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการกระจายเสียงและการแพร่ภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2)

1.2.2 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญ อุปกรณ์ วิธีการวัดและการเก็บค่าที่วัดได้จากเครื่องรับ

1.2.3 สามารถวัดช่องสัญญาณและเก็บค่า MER จากการวัดสัญญาณที่ระดับต่ำสุดได้อย่างถูกต้อง

1.2.4 สามารถนำค่าที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกันได้อย่างถูกต้อง

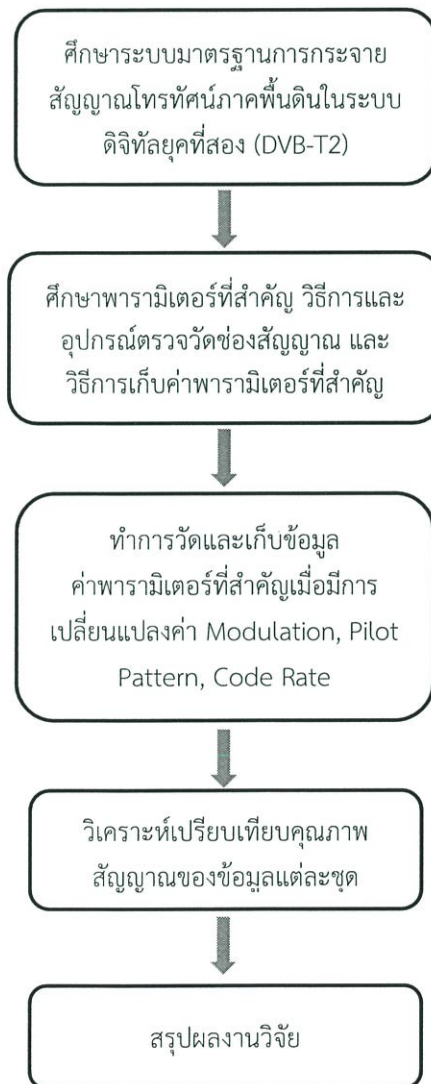
### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเทคโนโลยีการกระจายเสียงและการแพร่ภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง (DVB-T2)

1.3.2 วัดและเก็บค่าที่วัดได้จากเครื่องรับ เมื่อทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ Modulation, Pilot Pattern และ Code Rate ที่ทำให้ได้ค่า MER ที่ต่ำสุด

1.3.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณจากข้อมูลที่วัดมาได้

โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้อาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาพื้นฐานในการทดสอบการรับสัญญาณที่วัดในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการรับสัญญาณ DVB-T2 รวมไปถึงเป็นแนวทางในการออกแบบโครงข่าย DVB-T2 ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และอาจใช้ข้อมูลการวัดในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งานจริงในแต่ละสถานการณ์ได้ต่อไปในภายภาคหน้าได้

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เทคโนโลยีการแพร่ภาพโทรทัศน์ [7]

การแพร่ภาพโทรทัศน์ เป็นวิธีการรับส่งข้อมูลข่าวสารทั้งข้อมูลภาพและเสียง โดยแบ่งการทำงานออกเป็นสองประเภท ได้แก่ การแพร่ภาพโทรทัศน์แบบแอนะล็อก (Analog) และแบบดิจิทัล (Digital) หลักการแพร่ภาพเบื้องต้นเกิดจากเครื่องส่งจะส่งสัญญาณภาพและเสียง พร้อมกับผสมสัญญาณรวมกับคลื่นวิทยุแล้วกระจายสู่อากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้น เครื่องรับจะทำการแยกสัญญาณ ทำให้เป็นภาพปรากฏที่หน้าจอเครื่องรับ โดยหลักการของการแพร่ภาพ ประกอบด้วย การสแกนภาพ การส่งสัญญาณโทรทัศน์แอนะล็อกในระบบต่าง ๆ เช่น ระบบเอ็นทีเอสซี (NTSC) ระบบ PAL (Phase Alternation at Line) และระบบซีแคม (SECAM) เป็นต้น ซึ่งการแพร่ภาพในแต่ละประเภทนี้สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในหลายช่องทาง เช่น การส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิล การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมและการส่งสัญญาณแพร่ภาพภาคพื้นดินด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งอาจจะมาจากการถ่ายทอดสดหรือจากการบันทึกเทปไว้

การแพร่ภาพโทรทัศน์ (Television Broadcasting) หากจะเอาความหมายของคำว่า Broadcast แล้ว จะหมายถึงการส่งสัญญาณออกรอบตัว หลักการเบื้องต้นของการแพร่ภาพโทรทัศน์คือการกระจายทั้งภาพและเสียงออกไปในรูปสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับได้ทั้งภาพและเสียงอย่างต่อเนื่อง แต่แล้วภาพที่ต่อเนื่องได้นั้นมาจากการส่งภาพหนึ่งที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยหลาย ๆ ภาพต่อเนื่องกันในช่วงเวลาสั้น ๆ เหมือนหลักการของภาพยนตร์นั่นเอง เราได้หลักการอยู่อย่างหนึ่งว่าภาพนิ่งเหล่านั้นถูกนำมาลำดับตั้งแต่ 16 ภาพต่อวินาทีขึ้นไปสายตาของคนเราจะเห็นเป็นภาพต่อเนื่องหรือเคลื่อนที่ได้ เพราะการทำงานของประสาทตามีลักษณะพิเศษที่เรียกว่า Persistence of Vision เป็นความรู้สึกเห็นติดตาชั่วขณะจึงจะจางหายไปจากระบบประสาท

#### 2.2 โทรทัศน์แอนะล็อก (Analog Television) [7]

โทรทัศน์แอนะล็อก (Analog Television) เป็นโทรทัศน์ที่มีระบบการรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงในรูปสัญญาณแอนะล็อกแบบ AM และ FM โดยมีการส่งเป็นสัญญาณแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการผสมคลื่นแบบ Vestigial Sideband (VSB) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1 ระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์แอนะล็อกมีหลายระบบด้วยกัน ได้แก่ ระบบเอ็นทีเอสซี (NTSC), ระบบพาล (PAL) และระบบซีแคม (SECAM)

#### 2.3 โทรทัศน์ดิจิทัล (Digital Television) [7]

เป็นเวลาหลายสิบปีที่กิจการโทรทัศน์แอนะล็อกให้บริการสู่ผู้ชมทั้งที่ผ่านดาวเทียม เคเบิลทีวีและจากสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน มีความพยายามลดจำนวนมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ ตั้งแต่ยุคโทรทัศน์ขาว-ดำ ที่มีจำนวนเส้นสแกน ต่างถึง 4 ระบบคือ 405, 525, 625 และ 819 เส้น เหลือเพียง 2 ระบบคือ 525 และ 625 เส้น แต่มีระบบโทรทัศน์สี 3 ระบบ คือ NTSC, PAL และ SECAM เมื่อเทคโนโลยีได้รับการพัฒนาไปสู่โทรทัศน์ยุคดิจิทัล จึงคาดหวังกันว่าน่าจะมีมาตรฐานโทรทัศน์ดิจิทัลเพียงมาตรฐานเดียว อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติประเทศหรือกลุ่มประเทศที่เป็นผู้นำทางเทคโนโลยีต่างก็พัฒนามาตรฐานระบบโทรทัศน์ดิจิทัลที่เป็นของตนเอง

ขึ้นมาใช้งาน แต่ก็มีข้อสังเกตว่า โดยพื้นฐานแล้วมาตรฐานของแต่ละระบบ ต่างก็ใช้สัญญาณภาพที่เป็นดิจิทัล และใช้การบีบอัดแบบ MPEG-2 เหมือนกัน

โทรทัศน์ดิจิทัล (Digital Television หรือ DTV) คือระบบการแพร่สัญญาณภาพเคลื่อนไหวและสัญญาณเสียงไปสู่เครื่องรับโทรทัศน์ด้วยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งแตกต่างกับการใช้สัญญาณแอนะล็อกในระบบโทรทัศน์แอนะล็อก โดยทั่วไป DTV ใช้สัญญาณดิจิทัลที่ถูกบีบอัดและ เข้ารหัส MPEG-2 การรับชมจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ถอดรหัส ซึ่งอาจมีมาพร้อมกับตัวเครื่องรับโทรทัศน์เลยหากเป็นโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อรองรับระบบดิจิทัล หรือจะเป็นอุปกรณ์ถอดรหัสที่แยกอยู่โดด ๆ ในอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณที่เรียกว่า STB (Set Top Box) ซึ่งใช้ถอดรหัสสัญญาณและป้อนให้กับเครื่องรับโทรทัศน์แอนะล็อกที่มีใช้งานทั่วไป หากเป็นการรับชมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ก็มีการ์ดรับสัญญาณที่สามารถถอดรหัสได้ ในระบบโทรทัศน์ดิจิทัล สัญญาณภาพและเสียงที่รับได้มีคุณภาพสูงกว่าระบบโทรทัศน์แอนะล็อก เนื่องจากเทคโนโลยีดิจิทัลมีขีดความสามารถในการขจัดปัญหาของ สัญญาณรบกวน ได้ดีกว่าแอนะล็อก มีภาพเสียงชัดเจน ไม่มีภาพเงา

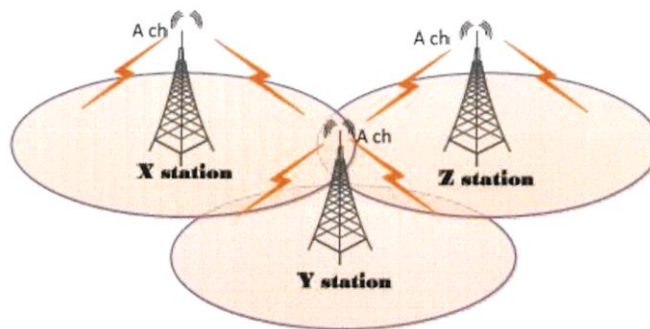
การเปลี่ยนแปลงไปสู่ DTV นับว่าเป็นการปฏิวัติวงการโทรทัศน์ยิ่งกว่าตอนเปลี่ยนจากโทรทัศน์ขาว - ดำไปเป็นโทรทัศน์สี ก่อให้เกิดธุรกิจและโอกาสใหม่ ๆ ในวงการวิทยุกระจายเสียงและแพร่ภาพโทรทัศน์ รวมถึงผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ DTV ได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีทั้งการให้บริการผ่านระบบสื่อสาร ดาวเทียม ผ่านเคเบิล ผ่านบรอดแบนด์ และผ่านสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดินเป็นต้น

มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลผ่านดาวเทียมแบบ DVB-S (Digital Video Broadcasting Satellite) เป็นต้นแบบของมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ดิจิทัลระบบอื่น ๆ ทั้งในเรื่องของวิธีการมอดูเลตแบบ QPSK, วิธีการบีบอัดและเข้ารหัส ข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 และวิธีการแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (Forward Error Correction) ซึ่งมาตรฐาน DVB-S เริ่มถูกนำมาใช้งานในปี ค.ศ. 1995 และได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็ว มีการใช้งานกันอย่าง แพร่หลายทั่วโลก สำหรับลักษณะของการส่งข้อมูลผ่านทางช่องสัญญาณของมาตรฐาน DVB-S แบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ MCPC (Multi Channel per Carrier) ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณโทรทัศน์หลายช่องในรูปของสัญญาณดิจิทัลบนคลื่นพาห์เดียว และ SCPC (Single Channel per Carrier) ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณโทรทัศน์หนึ่งช่องในรูปของสัญญาณดิจิทัลบนคลื่นพาห์เดียวมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเคเบิล แบบ DVB-C (Digital Video Broadcasting-cable) ใช้วิธีการบีบอัดและเข้ารหัสข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-S แต่จะใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบ QAM แทน ตัวอย่างเช่น การมอดูเลตสัญญาณแบบ 16QAM, 64QAM, 128QAM และ 256QAM พร้อมทั้งมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) ก่อนการมอดูเลตและส่งสัญญาณการส่งสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน (Digital Terrestrial Television Broadcasting หรือ DTTB) ใช้วิธีการ บีบอัดและเข้ารหัส ข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-S และ DVB-C ระบบ DTTB ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ แทนที่ระบบโทรทัศน์แอนะล็อก โดยระบบใหม่นี้ มีข้อดีคือ มีจำนวนช่องรายการมากกว่า และมีคุณภาพของภาพและเสียง ที่ดีกว่าโทรทัศน์แอนะล็อกสำหรับ การรับสัญญาณสามารถทำได้ โดยใช้สายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์แบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งจะประหยัดกว่าการใช้งานรับสัญญาณดาวเทียมหรือการสมัครเป็นสมาชิกเคเบิลทีวี

## 2.4 มาตรฐานสากลของเทคโนโลยีระบบโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน [3]

### 2.4.1 มาตรฐาน DVB-T

ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล DVB-T ถูกพัฒนาขึ้นในทวีปยุโรป ในปี ค.ศ. 1998 เพื่อทดแทนระบบ PAL & SECAM 625 เส้น 50 Hz โดยองค์การ Digital Video Broadcasting Project (DVB) ซึ่งเป็นความร่วมมือกันระหว่าง สถานีวิทยุโทรทัศน์ และบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมวิทยุโทรทัศน์มาตรฐาน DVB ถูกกำกับดูแลโดยคณะกรรมการร่วม (JTC) ของ European Telecommunication Standards Institute (ETSI), European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) และ European Broadcasting Union (EBU) โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน DVB-T ถูกออกแบบเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่เขตบริการได้ดีทั้งในบริเวณที่ไม่มีคลื่นวิทยุรบกวน และในบริเวณที่มีคลื่นวิทยุรบกวน โดยเครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ดีไม่ว่าเครื่องรับสัญญาณ จะอยู่กับที่หรือกำลังเคลื่อนที่อยู่ก็ตาม หากรับสัญญาณ ในเขตบริการที่ไม่มีคลื่นรบกวน จะสามารถรับสัญญาณได้ดีแม้ขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ที่สูงถึง 170 กิโลเมตรต่อชั่วโมงก็ตาม ระบบถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากคลื่นวิทยุที่สะท้อนจากภูเขาอาคาร หรือสิ่งก่อสร้าง และสามารถรับ สัญญาณเดียวกันที่ส่งออกมาจากสถานีส่งหลาย ๆ สถานีพร้อมกันได้ ซึ่งโครงข่ายแบบนี้เรียกว่า โครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network หรือ SFN) นอกจากนี้ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล DVB-T ยังสามารถใช้แถบคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่



รูปที่ 2.1 โครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network) [3]

สัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์ดิจิทัล DVB-T ถูกเข้ารหัสและบีบอัดแบบ 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 จึงมีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากคลื่นวิทยุแบบพหุวิถี (Multipath) ได้ดี

ด้วยคุณสมบัติทางเทคนิคของระบบ DVB-T ที่สามารถเลือกตัวแปรต่าง ๆ ได้ระบบจึงมีความยืดหยุ่นมากกว่า คือ

- 1) สามารถเลือกการมอดูเลตแบบ QPSK, 16QAM หรือ 64QAM ได้
- 2) สามารถเลือกอัตราการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (Forward Error Correction) ได้ 5 อัตราคือ 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 และ 7/8
- 3) สามารถเลือกช่วงป้องกัน (Guard Interval) ได้ 4 แบบคือ 1/4, 1/8, 1/16 และ 1/32
- 4) สามารถเลือกจำนวนคลื่นพาห้ได้ 2 แบบ คือ 2K หรือ 8K

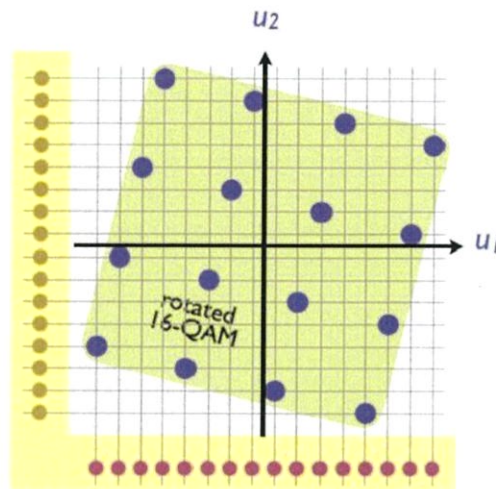
#### 2.4.2 มาตรฐาน DVB-T2

มาตรฐาน DVB-T2 หรือ Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial เป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจากมาตรฐาน DVB-T โดยนาเทคนิคการมอดูเลตและการเข้ารหัสแบบใหม่มาใช้ เพื่อให้การใช้สเปกตรัมในการส่งสัญญาณประเภทเสียง วิดีโอและข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับหลักการทางานั้น DVB-T2 ใช้การมอดูเลชันแบบ OFDM (orthogonal frequency division multiplex) เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-T สำหรับการแก้ไขข้อมูลผิดพลาดนั้น DVB-T2 ใช้วิธีการเข้ารหัสแบบที่ใช้กับมาตรฐาน DVB-S2 ได้แก่การเข้ารหัสแบบ LDPC (Low Density Parity Check) ซึ่งใช้ร่วมกับการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) ทำให้สัญญาณที่ถูกเข้ารหัสทนทานต่อสัญญาณแทรกสอด (Interference) และสัญญาณรบกวนที่มีระดับสูงได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถเลือกจำนวนคลื่นพาห้และขนาดของช่วงป้องกัน (Guard Interval) ได้หลากหลายมากขึ้นเมื่อเทียบกับมาตรฐาน DVB-T และหากเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับช่องสัญญาณจะทำให้การส่งมีประสิทธิภาพ โดยการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์และรายละเอียดทางเทคนิคระหว่าง DVT-T และ DVB-T2 แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์และรายละเอียดทางเทคนิค สำหรับ DVB-T และ DVB-T2 [3]

	DVB-T	DVB-T2
FEC	Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LPDC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT size	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots	2.6% of total	0.35% of total

นอกจากนี้มาตรฐาน DVB-T2 ยังใช้เทคนิคแบบใหม่ที่มีชื่อว่า Rotated Constellation ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ทำให้สัญญาณมีความทนทานมากขึ้นในช่องสัญญาณบางประเภท และ DVB-T2 ยังได้ใช้ Alamouti Code ในการปรับปรุงให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ในโครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Networks : SFN) มากยิ่งขึ้น



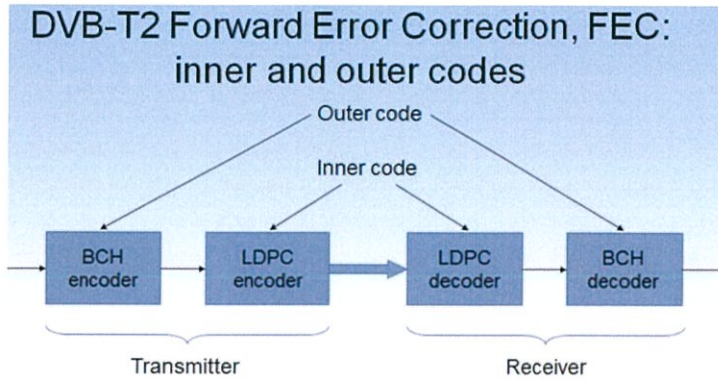
รูปที่ 2.2 Rotated Constellation [5]

และนอกจากนี้ ยังสามารถสรุปคุณสมบัติของเทคโนโลยี DVB-T2 ต่าง ๆ ได้ ดังนี้

1) Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM) [6]

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

COFDM เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจาก OFDM มีข้อแตกต่างจาก OFDM คือ COFDM จะมีการส่งสัญญาณตรวจสอบความผิดพลาดเข้าไปด้วย เพื่อให้การส่งสัญญาณมีความทนทานต่อการลดทอนและการรบกวนในระหว่างการส่ง สำหรับ DVB-T2 นั้นทางฝั่งส่ง (Transmitter) จะเข้ารหัส 2 ชั้น การเข้ารหัสชั้นที่ 1 คือการเข้ารหัสภายนอก (Outer code) จะเป็นการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) การเข้ารหัสชั้นที่ 2 คือการเข้ารหัสภายใน (Inner code) เป็นการเข้ารหัสแบบ LDPC (Low Density Parity Check) ดังรูปที่ 2.3

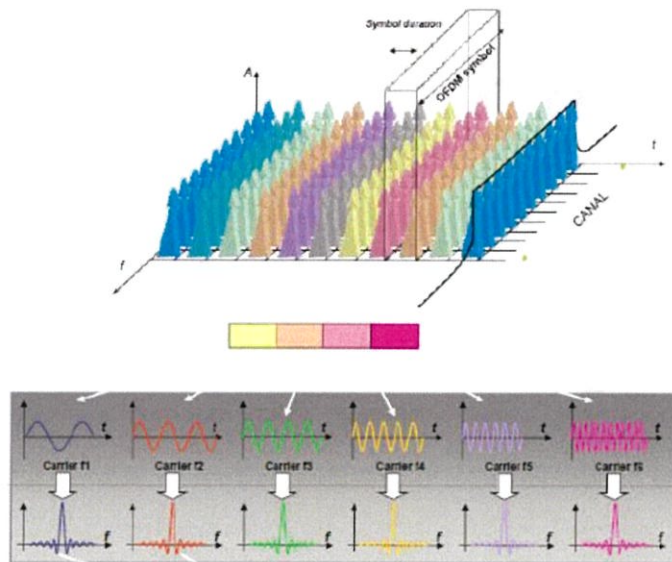


รูปที่ 2.3 การเข้ารหัสของฝั่งส่งและการถอดรหัสของฝั่งรับ [6]

รูปด้านบนแสดงบล็อกไดอะแกรมลำดับการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาด FEC (Forward Error Correction) ฝั่งส่ง (Transmitter) และการถอดรหัสของฝั่งรับ (Receiver) สำหรับการเข้ารหัสภายใน เราสามารถเลือกปรับค่าพารามิเตอร์ในขั้นนี้ได้ตามความเหมาะสมโดยอัตราการเข้ารหัสแบบ LDPC มีอยู่ 6 โหมด คือ  $1/2$ ,  $3/5$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $4/5$  และ  $5/6$

หลักการทำงานของ OFDM จะคล้ายกับการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplex หรือ FDM) นั่นคือทั้ง OFDM และ FDM เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณหลาย ๆ สัญญาณ หรือการแบ่งช่องสัญญาณด้วยความถี่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ FDM เป็นเพียงการแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณนั้นไม่มีการรบกวนกัน แต่การที่จะทำให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มารบกวนกันนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการมีแถบป้องกัน (Guard band) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ระหว่างช่องสัญญาณแต่ละช่อง โดยที่เราไม่สามารถใช้งานช่วงความถี่นี้ได้ จึงกลายเป็นความสูญเสียไป

ดังนั้นเพื่อให้การทำมัลติเพล็กซ์ในเชิงความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงมีการเสนอแนวคิดเพื่อที่จะลดช่วงของแถบป้องกัน โดยแนวคิดหนึ่งที่น่าสนใจคือการทำให้แต่ละช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกันและไม่สามารถที่จะส่งผลกระทบต่อกันและกันได้ ซึ่งการทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อิสระต่อกันสามารถทำได้ โดยให้แต่ละสัญญาณตั้งฉาก (Orthogonal) ต่อกัน เมื่อสัญญาณสองสัญญาณตั้งฉากต่อกัน ค่าผลคูณของเวกเตอร์ของสัญญาณทางคณิตศาสตร์ก็จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือเป็นอิสระต่อกัน โดยทั่วไปแล้วการใช้งาน OFDM ซึ่งเป็นลักษณะของการสื่อสารหลายคลื่นพาหะ (Multi-carrier Communication) สามารถช่วยในเรื่องของสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ได้ดี โดยจะทำการกระจายสัญญาณออกเป็นหลาย ๆ ส่วนและส่งเข้าไปในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสัญญาณ OFDM และคลื่นพหุย่อย [6]

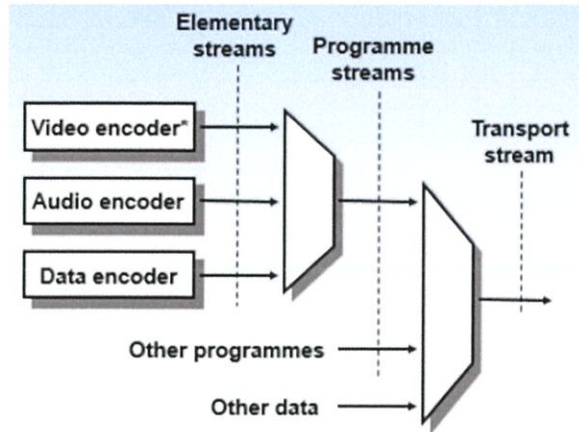
## 2) การบีบอัดสัญญาณ [6]

การบีบอัดสัญญาณ MPEG-2 ซึ่งใช้งานในการส่งโทรทัศน์ DVB-T และ ISDB-T หรือการส่งโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม DVB-S และ ISDB-S ส่วนเทคโนโลยีใหม่ในการบีบอัดสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล คือ MPEG-4 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า MPEG-2 ปัจจุบันนิยมใช้งานในการบีบอัดสัญญาณโทรทัศน์ความชัดเจสูง HDTV ในการส่งโทรทัศน์ DVB-T2 หรือ DVB-S2

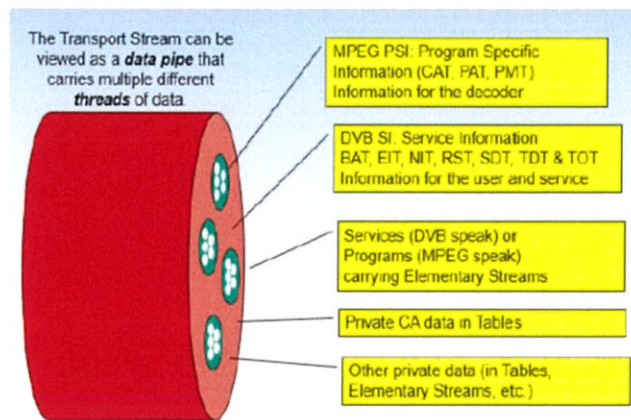
โดยอัตราบิตของสัญญาณภาพ (Bit Rate) แต่ละช่องจะมีค่าแบ่งเป็นช่องสัญญาณแบบมาตรฐาน (SD) อยู่ที่ 1.28-1.6 Mbps และช่องสัญญาณแบบความคมชัดสูง (HD) อยู่ที่ 5.92-7.2 Mbps ใน 1 MUX (Multiplexer) ซึ่งสามารถออกอากาศได้ทั้งหมด 8 ช่องรายการ โดยแบ่งเป็นช่องสัญญาณแบบมาตรฐาน (SD) จำนวน 6 ช่อง และช่องสัญญาณแบบความคมชัดสูง (HD) จำนวน 2 ช่อง

## 3) Transport Stream (TS) [6]

เทคนิคการส่งสัญญาณในที่ให้บริการส่งสัญญาณโทรทัศน์หลาย ๆ รูปแบบ เช่น ส่งโทรทัศน์มาตรฐาน SD (MPEG-2) ส่งโทรทัศน์ความชัดเจสูง SDTV และส่งสัญญาณโทรทัศน์ในลักษณะข้อมูล IP (MPE) พร้อมกันโดยการใช้เทคนิครวมสัญญาณ (Multiplex) ของมาตรฐาน DVB-T2 สามารถส่งสัญญาณได้พร้อมกันในหนึ่งช่องสัญญาณโทรทัศน์ที่เดิมใช้ส่งโทรทัศน์ระบบอนาล็อกได้เพียงหนึ่งช่องรายการโทรทัศน์ มีความสำคัญต่อการกระจายเสียงโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล เพราะเป็นพื้นฐานในการส่งภาพและเสียง สำหรับมาตรฐาน DVB-T2 นั้นใช้มาตรฐาน MPEG-2 ในการส่ง TS ซึ่งประกอบไปด้วย TS ย่อย ๆ คือ Programme Stream หลายสาย แต่ละสายประกอบไปด้วย Elementary Stream ที่ยังมีส่วนประกอบย่อยไปอีกคือ Video Encoder, Audio Encoder, และ Data Encoder ซึ่ง TS นี้สามารถเปรียบเทียบกับท่อส่งข้อมูลที่ภายในประกอบด้วยสายข้อมูลหลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของ Transport Stream [6]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ Transport Stream [6]

## 2.5 แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล [2]

แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลนี้ จะเป็นตัวกำหนดช่องความถี่วิทยุและเงื่อนไขการใช้งานความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลซึ่งอาศัยระบบ Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2) บนย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) สำหรับสถานีหลัก (Main station) และสถานีเสริม (Additional station) ทั้งช่วงก่อนและหลังการยุติการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ในระบบแอนะล็อก โดยมีความสอดคล้องกับนโยบายด้านการวางแผนความถี่ในประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่องแผนการเปลี่ยนระบบการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์เป็นระบบดิจิทัล โดยมีข้อกำหนดต่าง ๆ ดังนี้

### 2.5.1 ช่องความถี่วิทยุ

- 1) กำหนดความถี่วิทยุ 510 – 790 เมกะเฮิร์ตซ์
- 2) กำหนดความกว้างแถบคลื่นความถี่ (Bandwidth) 8 เมกะเฮิร์ตซ์
- 3) กำหนดช่องความถี่วิทยุ เป็นดังตารางที่ 2.4
- 4) กำหนดช่องความถี่วิทยุในกรุงเทพมหานคร เป็นดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ช่องความถี่วิทยุในจังหวัดกรุงเทพมหานคร [2]

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

### 2.5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศ

กำหนดให้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกอากาศสำหรับโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (ระบบ DVB-T2) สำหรับการรับสัญญาณทั้งแบบอยู่กับที่ (Fixed Reception) และแบบพกพาภายในอาคาร (Portable Indoor Reception) เป็นดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 พารามิเตอร์หลักของระบบ [2]

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ขนาดของ FFT (FFT Size)	16k Extended
สัดส่วนช่วงเวลารักษา (Guard Interval)	19/128
การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation)	64-QAM
อัตราการใช้รหัส (Code Rate)	3/5
แบบรูปสัญญาณนำร่อง (Pilot Pattern)	PP2 หรือ PP3

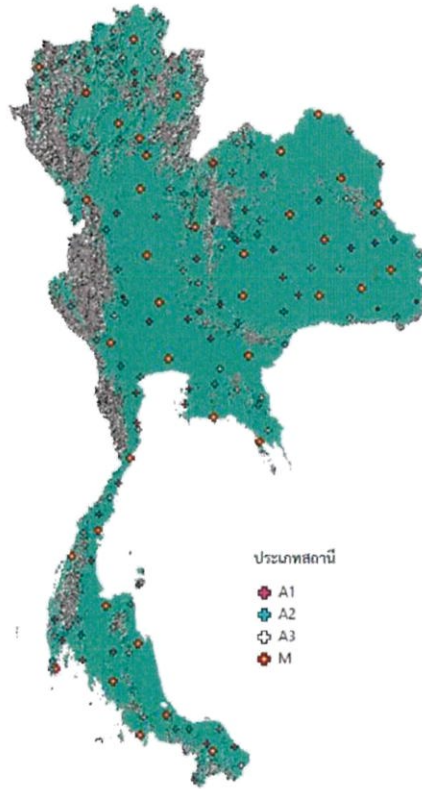
### 2.5.3 จำนวนเขตบริการและจำนวนสถานี

กำหนดให้มีเขตบริการจำนวน 39 เขตบริการ ซึ่งการแบ่งเขตบริการคำนึงถึงข้อจำกัดทางเทคนิคเป็นหลักรวมทั้งคำนึงถึงระยะห่างจากสถานีหลักตลอดจนลักษณะทางสังคมและวัฒนธรรมด้วย โดยแต่ละเขตบริการประกอบไปด้วย 1 สถานีหลัก และสถานีเสริมอีกจำนวนหนึ่ง รวมทั้งสิ้นจาก 39 เขตบริการ ซึ่งจะมี 39 สถานีหลัก และ 132 สถานีเสริม ทั่วประเทศไทย ในการจัดทำแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์

แบ่งประเภทของสถานีเป็นดังตารางที่ 2.4 โดยจากผลการวิเคราะห์คำนวณโดยอาศัยซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation Model) สามารถแสดงพื้นที่ครอบคลุมของเขตบริการภายหลังการติดตั้ง 39 สถานีหลัก และ 132 สถานีเสริม โดยอาศัยคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคมสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลและตั้งสมมติฐานของการรับสัญญาณแบบอยู่กับที่ ได้ดังรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.4 ประเภทของสถานีที่ให้บริการ [2]

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



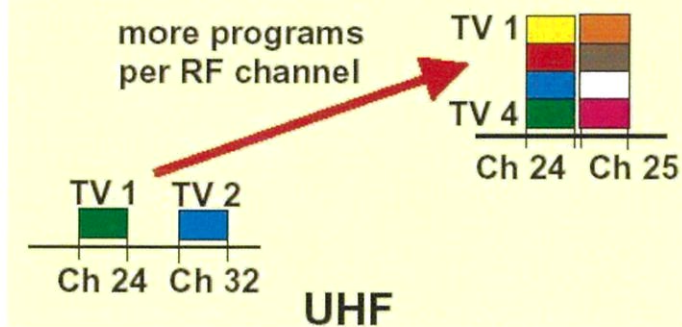
รูปที่ 2.7 พื้นที่ครอบคลุมของเขตบริการ 39 สถานีหลัก และ 132 สถานีเสริม [2]

## 2.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการเปลี่ยนมาใช้คลื่นสัญญาณแบบดิจิทัล [5]

การแพร่กระจายคลื่นแบบแอนะล็อกมีขีดจำกัดในการส่งสัญญาณ ซึ่งใช้ความกว้างช่องสัญญาณมาก คลื่นสัญญาณถูกรบกวนได้ง่าย สัญญาณภาพมีคุณภาพต่ำ ไม่สามารถประยุกต์ไปใช้งานร่วมกับสื่อผสมอื่น ๆ ได้ จึงต้องคิดค้นการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลขึ้นมาใหม่เพื่อเพิ่มขีดความสามารถและกระโดดข้ามข้อจำกัดเหล่านี้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

ประโยชน์จากการเปลี่ยนมาใช้ในการแพร่คลื่นแบบดิจิทัลนี้ เกิดจากข้อจำกัดที่สำคัญ 4 ประการ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เองที่นำไปสู่เป้าหมายการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาไปสู่ระบบการแพร่กระจายคลื่นระบบดิจิทัล และทำให้ผู้รับบริการได้รับผลประโยชน์นี้ได้โดยตรง คือ

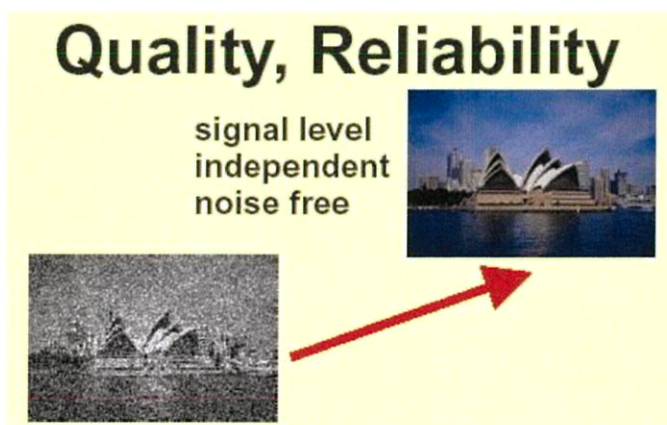
# Bandwidth Efficiency



รูปที่ 2.8 การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้น [5]

## 2.6.1 Bandwidth Efficiency ( จัดสรรช่องสัญญาณความถี่มีประสิทธิภาพ )

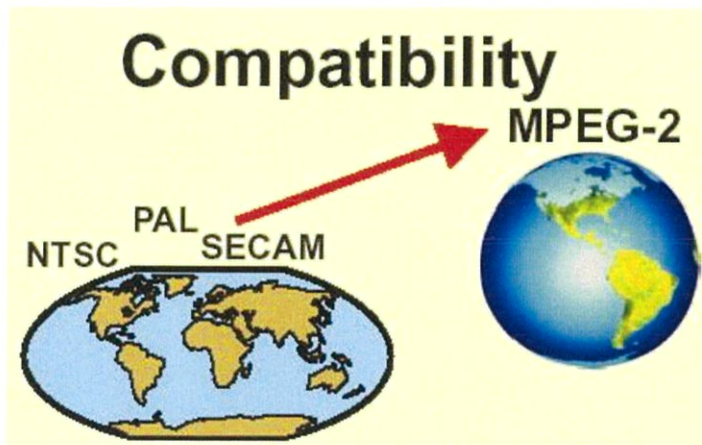
จากรูปที่ 2.8 การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากเดิมเป็นระบบอนาล็อกใช้ช่องสัญญาณหนึ่งช่องต่อหนึ่งรายการและวางช่องสัญญาณคลื่นความถี่ติดกัน หรือสถานีส่งๆ ใกล้เคียงกัน ไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่อยู่ติดกันได้ แต่ในระบบดิจิทัลสามารถที่จะใช้ช่องสัญญาณความถี่ติดกัน ทำให้ใช้ช่องสัญญาณได้เต็มที่ครบทุก ๆ ช่อง และสามารถออกอากาศในพื้นที่ใกล้เคียงกันได้โดยไม่รบกวนกัน และในหนึ่งช่องสัญญาณสามารถออกอากาศได้หลาย ๆ รายการไปพร้อม ๆ กัน (Multi Channel) ทำให้ส่งรายการได้มากขึ้นกว่าเดิม เช่น จากระบบอนาล็อกใช้ช่องสัญญาณ CH21 ถึง CH69 (48 ช่อง) ใช้ออกอากาศหนึ่งช่องต่อหนึ่งรายการโทรทัศน์ซึ่งเท่ากับ 48 รายการเท่านั้น หากเปลี่ยนเป็นระบบดิจิทัล ช่องหนึ่งสามารถส่งได้ 4 รายการ ทำให้สามารถออกอากาศรายการโทรทัศน์ได้  $4 \times 48$  จะเท่ากับ 192 รายการ (เป็นการยกตัวอย่างเปรียบเทียบให้เห็นเท่านั้น)



รูปที่ 2.9 สัญญาณมีคุณภาพที่ดีและไม่มีการรบกวน [5]

## 2.6.2 Quality และ Reliability ( สัญญาณมีคุณภาพที่ดีและไม่มีการรบกวน )

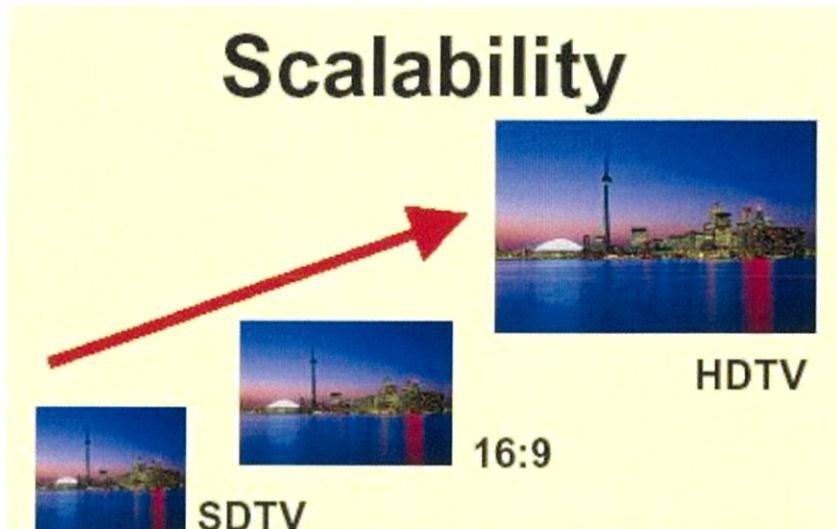
ระบบแอนะล็อกมีการผสมคลื่นแบบต่อเนื่อง (Analog) สภาวะแวดล้อมมีผลกระทบทำให้เกิดการรบกวนและลดทอนสัญญาณลง สัญญาณภาพจะถูกรบกวนและถูกซึบเข้าไปมาก ทำให้มีสัญญาณแปลกปลอมสอดแทรกเข้ามารบกวนได้ง่าย การรับชมภาพจึงไม่ชัดเจน สัญญาณภาคขาดหายและเกิดสโนว์เข้ามารบกวนได้ แต่ระบบดิจิทัลมีการผสมคลื่นแบบเข้ารหัสสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง (Digital) มีการเข้ารหัส (Encoding) , การถอดรหัส (Decoding) และมีระบบควบคุมเพื่อชดเชยสัญญาณได้ด้วย จึงทำให้สัญญาณไม่ถูกรบกวนได้ สัญญาณภาพมีความต่อเนื่อง ภาพที่รับได้มีความคมชัดมาก ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 รูปแบบสัญญาณเป็นมาตรฐานเดียวกัน [5]

## 2.6.3 Compatibility ( รูปแบบสัญญาณเป็นมาตรฐานเดียวกัน )

ระบบแอนะล็อกแบบเดิมมีสัญญาณภาพหลายมาตรฐาน คือ PAL, NTSC, SECAM ทำให้การควบคุมคุณภาพ, การตัดต่อภาพและตกแต่งภาพระหว่างมาตรฐานที่แตกต่างกันทำได้ยาก และยังทำให้คุณภาพด้อยลงเมื่อผ่านกระบวนการตัดต่อหลาย ๆ ครั้ง แต่ระบบดิจิทัลใช้มาตรฐานการเข้ารหัสภาพแบบเดียวคือ MPEG-2 ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งให้คุณสมบัติของภาพที่หลากหลาย มีกระบวนการสร้างภาพที่ซับซ้อนกว่า แต่ให้คุณภาพที่ดีมากกว่า สามารถนำไปใช้งานในสื่อผสมอื่น ๆ ที่หลากหลาย เป็นที่นิยมแพร่หลายที่สุดในขณะนี้ ทำให้การนำไปใช้งานได้ครอบคลุมทุกวงการการสื่อสารเป็นมาตรฐานเดียวกัน



รูปที่ 2.11 ขนาดของการมองภาพที่ให้มุมมองภาพที่ดีขึ้น [5]

#### 2.6.4 Scalability ( ขนาดของการมองภาพที่ให้มุมมองภาพที่ดีขึ้น )

ระบบแอนะล็อกมีขนาดของการมองภาพที่แคบ (758 x 578 - PAL อัตราส่วนภาพ 4:3) และภาพมีความละเอียดต่ำ การแสดงผลที่จอภาพไม่มีความชัดเจน ยิ่งจอภาพมีขนาดมากขึ้นยิ่งให้รายละเอียดต่ำกว่า ซึ่งเป็นแบบ SDTV ( Standard Definition Television ) ทั่วไป ยิ่งนำไปแสดงผลบนจอโทรทัศน์ที่มีหน้าจอขนาดใหญ่มาก ๆ ทำให้ภาพขาดความชัดเจน แต่ระบบดิจิทัลสามารถเลือกการเข้ารหัสสัญญาณภาพได้หลายขนาด (1080 x 720 , 1920 x 1080 ที่อัตราส่วนภาพ 16:9) ให้ความละเอียดสูง ดังรูปที่ 2.11 ทำให้การแสดงผลที่จอภาพมีความคมชัดสูงแบบ HDTV (High Definition Television) มีมุมมองภาพที่กว้างมากขึ้น (Width Screen) ภาพที่ได้ดูสมจริงและมองเห็นภาพได้กว้างขวางมากขึ้น

#### 2.7 การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลในประเทศไทย [5]

การเปลี่ยนมาใช้ระบบการแพร่สัญญาณแบบดิจิทัลยังมีประโยชน์อื่น ๆ อีกหลายด้าน โดยแบ่งเป็นแต่ละประเภท ๆ ที่จะนำมากล่าวก็เพื่อแสดงถึงลักษณะต่าง ๆ ที่สถานีโทรทัศน์สามารถพัฒนาระบบดิจิทัลนี้ไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับประเทศของเรา ซึ่งที่ญี่ปุ่นได้ทำไปแล้ว อันเกิดจากความมุ่งมั่นที่จะนำมาพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์

## HDTV

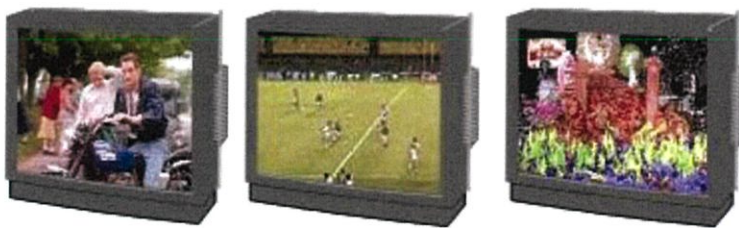


**High quality image  
and sound service**

รูปที่ 2.12 โทรทัศน์ความละเอียดสูง [5]

จากรูปที่ 2.12 โทรทัศน์ความละเอียดสูง หรือ HDTV (High Definition Television) ซึ่ง HDTV นี้เองเป็นเหตุผลแรกเลยที่ทำให้เกิดการพัฒนาเข้าสู่ระบบดิจิทัล, HDTV มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า "โทรทัศน์ความคมชัดสูง" หรือ "โทรทัศน์รายละเอียดสูง" ซึ่งระบบ Digital สามารถแสดงภาพที่มีขนาดความคมชัดที่ดีกว่าโทรทัศน์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่เป็นระบบแอนะล็อก ดังนั้น HDTV จึงเป็นโทรทัศน์ที่มีคุณภาพทั้งภาพและเสียงสูงกว่าโทรทัศน์ทั่วไป มีระดับความคมชัดสูงสุด มีมุมมองภาพที่กว้างขึ้น มีจอแสดงภาพที่กว้างมากกว่าโทรทัศน์ปัจจุบัน ระบบเสียงเป็นแบบรอบทิศทาง เหมือนกับการรับชมภาพจากจอภาพยนตร์ ที่ผู้ชมจะได้รับชมภาพที่สมจริงมากยิ่งขึ้น

## Multi-Channel Service



**Realization of multi-SDTV program  
service on 1ch bandwidth (6MHz)**

รูปที่ 2.13 บริการช่องสัญญาณที่หลากหลาย [5]

จากรูปที่ 2.13 แสดงถึง Multi-Channel Service เพิ่มการให้บริการช่องสัญญาณที่หลากหลายในระบบดิจิทัลสามารถส่งสัญญาณภาพ (เรียกว่าโปรแกรม หรือรายการ) ไปได้มากขึ้น รายการโทรทัศน์ (SDTV) จะถูกส่งสัญญาณไปได้พร้อม ๆ กันหลายรายการ โดยผ่านช่องสัญญาณเพียงช่องเดียว ซึ่งมีความกว้างเพียง 8 MHz

## Interactive TV



### Communication linked services with TV

รูปที่ 2.14 ระบบการตอบสนองของโทรทัศน์ [5]

Interactive Service การแพร่คลื่นระบบดิจิทัลสามารถทำเป็นระบบตอบสนอง, รับและส่งข้อมูลระหว่างสถานีกับผู้ชมรายการได้ ดังรูปที่ 2.14 เป็นบริการเสริมสำหรับการจัดรายการโทรทัศน์ที่ผู้รับชมสามารถเลือกข้อมูลสำหรับตอบโต้กับรายการโทรทัศน์ได้ผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณอื่น ๆ ที่ติดตั้งเสริมขึ้นมา

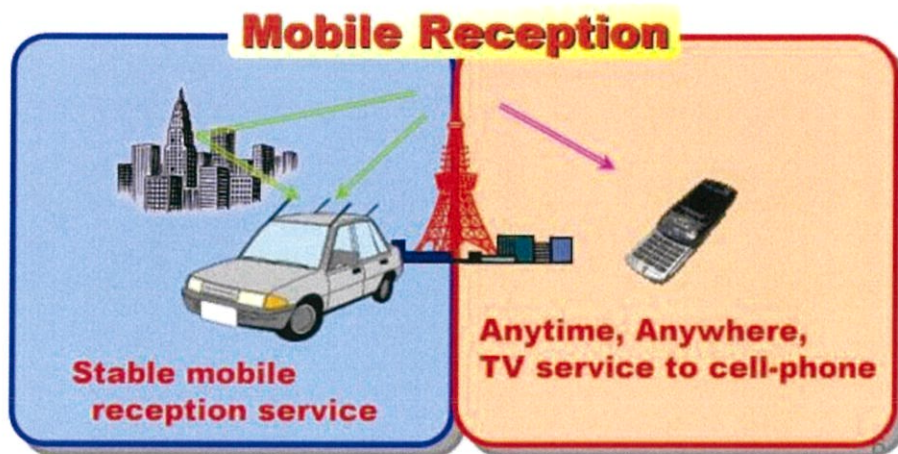
## Data Broadcasting



### Simple retrieval of program and information at any time

รูปที่ 2.15 การให้บริการข้อมูลที่ออกอากาศ [5]

Data Broadcasting การให้บริการข้อมูลที่ส่งไปพร้อมสัญญาณภาพ (Video) ในระบบดิจิทัล สามารถใส่รายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ไปพร้อมสัญญาณ Video เพื่อให้ผู้รับบริการเลือกเปิดดู หรือใช้ค้นหาข้อมูลเสริมอื่น หรือเปิดดูรายการโทรทัศน์ เป็นการให้บริการข้อมูลที่หลากหลายผ่านช่องรายการโทรทัศน์



รูปที่ 2.16 การรับส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์พกพา [5]

Mobile Reception หรือการรับส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์พกพา แสดงดังรูปที่ 2.16 การแพร่กระจายคลื่นระบบดิจิทัลรองรับการส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์พกพาประเภทต่าง ๆ ได้ โดยผู้รับบริการสามารถรับสัญญาณภาพและเสียงด้วยโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ทุกสถานที่และทุกเวลา ที่มีสัญญาณส่งไปถึง

## บทที่ 3 อุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงาน

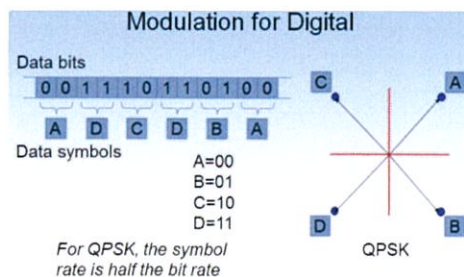
### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ
- 2) ตั้งค่าพารามิเตอร์ในการมอดูเลตสัญญาณ DVB-T2 ของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter โดยกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้น ได้แก่ Modulation : 64-QAM , Pilot Pattern : PP2 และ Code Rate : 3/5
- 3) เพิ่มขนาดของสัญญาณรบกวนจากเครื่องสร้างสัญญาณรบกวน ผสมกับสัญญาณที่ออกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter เพื่อลดค่าอัตราส่วนความผิดพลาดการในการมอดูเลชัน (MER) ให้ถึงจุดต่ำสุดที่เครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer ยังคงสามารถรับสัญญาณได้ (Threshold level)
- 4) ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer
- 5) ทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในการมอดูเลตสัญญาณต่าง ๆ ได้แก่ Modulation : 256-QAM , Pilot Pattern : PP3, PP8 และ Code Rate : 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 ตามลำดับ
- 6) ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์รูปแบบต่าง ๆ จากเครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer
- 7) นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ กับอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน
- 8) สรุปผลการดำเนินงาน

### 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่ารูปแบบการส่งสัญญาณ DVB-T2

#### 3.2.1 การเข้ารหัสมอดูเลชัน (Modulation)

การเข้ารหัสมอดูเลชัน (Modulation) ในระบบดิจิทัล คือการฝากข้อมูลดิจิทัล 0 หรือ 1 ไปบนคลื่นพาห์ (Carrier) โดยแปลงเป็นข้อมูลสัญลักษณ์ (Data symbols) ก่อนนำข้อมูลสัญลักษณ์ ไปแทนเป็นลักษณะขนาดและเฟสของคลื่นพาห์

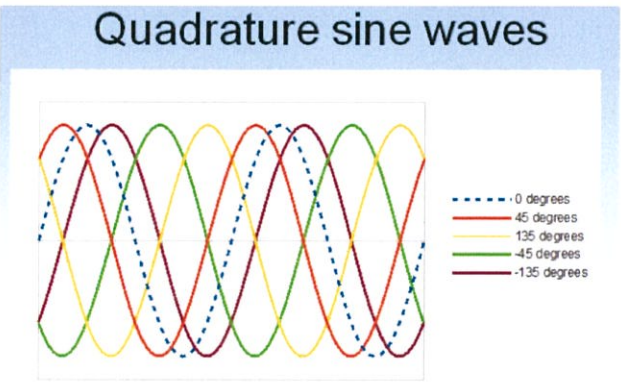


รูปที่ 3.1 โครงสร้างการมอดูเลตสัญญาณ QPSK [6]

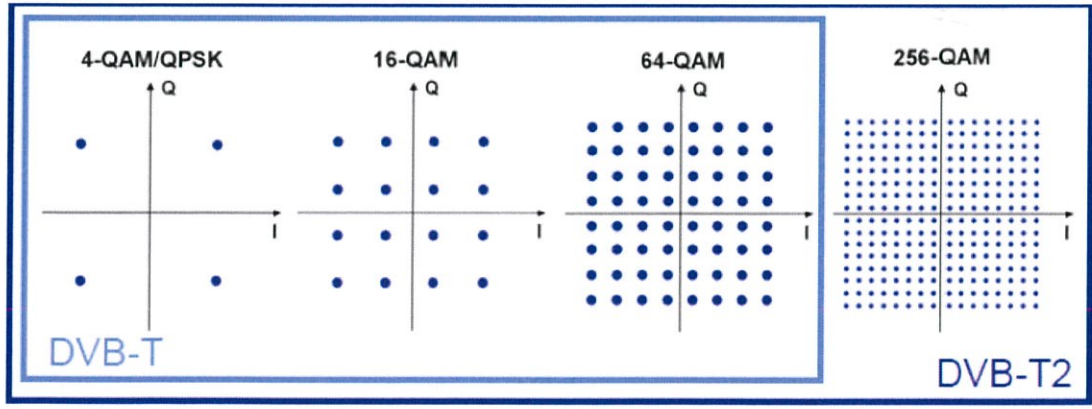
จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลแบบ QPSK ซึ่งให้ Symbol Rate เป็น 1/2 ของ Bit Rate ตามรูปจะเห็นว่า ข้อมูลสัญลักษณ์ A B C และ D จะแทนด้วยข้อมูลดิจิทัล 2 บิต คือ 00 01 10 และ 11 ตามลำดับ โดยข้อมูลสัญลักษณ์จะเป็นคลื่นพาห้ที่ความถี่เดียวกัน ขนาด Amplitude เท่ากัน โดย A มีเฟส 45 องศา B มีเฟส -45 องศา C มีเฟส 135 องศาและ D มีเฟส -135 องศา ซึ่งจะเห็นว่ามี ความต่างเฟสกัน 90 องศาระหว่างข้อมูลสัญลักษณ์ด้วยกัน เรียกว่า Quadrature

เมื่อนำข้อมูลสัญลักษณ์ A มุมเฟส 45 องศา B มุมเฟส -45 องศา C มุมเฟส 135 องศาและ D มุมเฟส -135 องศา ที่เป็นคลื่นความถี่พาห้ที่มีขนาด Amplitude เท่ากัน แสดงในรูปสัญญาณ Sine Wave ในเชิงเวลา มีลักษณะตามรูปที่ 3.2

การมอดูเลตสัญญาณมีอยู่ด้วยกัน 2 โหมด คือ QPSK และแบบ QAM (ซึ่งสามารถแบ่งย่อย ได้อีก เช่น 16QAM, 64QAM, 256 QAM) โดยแต่ละโหมดจะให้อัตรา Bit ต่อ Symbol ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ จะ เห็นว่าการมอดูเลตสัญญาณแบบ 256 QAM จะให้การส่งข้อมูลได้สูงที่สุดคือ 1 symbol ต่อข้อมูล 8 bit ดังรูป ที่ 3.3



รูปที่ 3.2 สัญญาณ Sine Wave ที่มุมเฟสต่าง ๆ [6]



รูปที่ 3.3 การมอดูเลตแบบต่าง ๆ ของเทคโนโลยี DVB-T และ DVB-T2 [6]

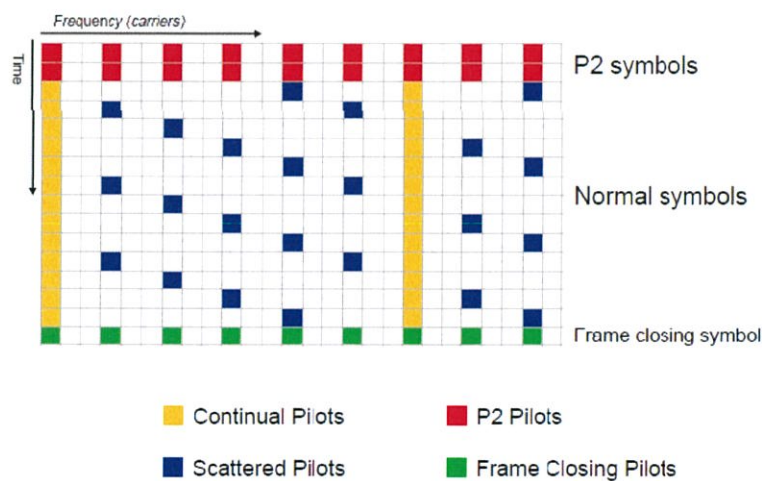
ในเทคโนโลยี DVB-T2 ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการมอดูเลตสัญญาณมีด้วยกัน 2 โหมด คือ QPSK และ QAM ซึ่งแบ่งได้อีกเป็น 16QAM, 64QAM และ 256QAM แต่ละโหมดจะให้อัตรา Bit ต่อ Symbol ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ได้ Capacity และค่า  $CNR_{min}$  ที่แตกต่างกัน

### 3.2.2 อัตราการเข้ารหัส (Code Rate)

อัตราการเข้ารหัส (Code Rate) คืออัตราการเข้ารหัสของข้อมูลจริงต่อข้อมูลที่ถูกรหัส เช่น Code Rate 3/5 หมายความว่า ในข้อมูลที่ถูกรหัส 5 ส่วน จะมีข้อมูลจริงอยู่ 3 ส่วน และอีก 2 ส่วน จะเป็นการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาด (Forward Error Correction : FEC) เพื่อเช็คและแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลที่ถูกรหัส สำหรับเทคโนโลยี DVB-T2 อัตราการเข้ารหัสจะมีอยู่ 5 ค่าที่ต่างกัน ได้แก่ 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6

### 3.2.3 แบบรูปไพลอต (Pilot Pattern)

จากรูปที่ 3.4 แสดงการวางตำแหน่งของ Pilot Symbols แต่ละชนิด ได้แก่ Scattered Pilots, P2 Pilots, Continual Pilots และ Frame Closing Pilots ซึ่งไพลอตทุกชนิดจะใช้เพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่เป็นผลมาจากเวลาและความถี่ สำหรับมาตรฐาน DVB-T จะมีแบบรูปไพลอตเพียงแบบเดียว แต่สำหรับมาตรฐาน DVB-T2 จะมี 8 แบบ ซึ่งจะเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งาน ซึ่งจากรายการที่ 3.1 จะแสดงให้เห็นถึงแบบรูปไพลอตที่ใช้งานได้ในแต่ละรูปแบบของ FFT size และ Guard interval



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการวางตำแหน่งของไพลอตแต่ละชนิด [3]

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงแบบรูปเฟลोटที่ใช้งานได้ในแต่ละรูปแบบของ FFT size และ Guard interval

FFT size	Guard interval						
	1/128	1/32	1/6	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	PP7	PP4 PP6	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	NA
16k	PP7	PP7 PP4 PP6	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
8k	PP7	PP7 PP4	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
4k, 2k	NA	PP7 PP4	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1
1k	NA	NA	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1

### 3.3 พารามิเตอร์ในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ DVB-T2

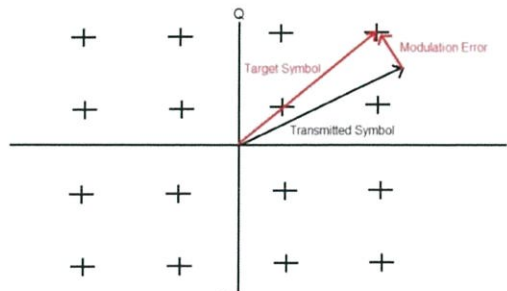
#### 3.3.1 อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน

อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (Modulation Error Ratio : MER) อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันหรือค่า MER เป็นตัวแสดงค่าประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณ DVB-T2 โดยการวัดค่าเบี่ยงเบนจากค่าในอุดมคติ ค่า MER จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยที่จะส่งผลต่อค่า BER และ ถ้าการส่งสัญญาณมีค่า MER สูงและการรบกวนเป็นแค่การเสื่อมลงของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) เมื่อความผิดพลาดของเวกเตอร์ คือ ค่าที่ได้จากสัญญาณ IQ (I: In-Phase คือ สัญญาณที่ให้ค่าเอิร์ทพุตเฟสเดียวกันกับอินพุต และ Q: Quadrature-Phase คือสัญญาณเอิร์ทพุตต่างเฟสกับอินพุต 90 องศา)

$$\text{MER [dB]} = 10 \log \left( \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right) \quad (3.1)$$

$$\text{MER [dB]} = 10 \log \left( \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{error}}} \right) \quad (3.2)$$

จากการที่เฟสและแอมพลิจูดของ IQ เปลี่ยนไปนั้น จะทำให้สามารถสร้างจุดบน Constellation diagram โดยจุดนั้น ๆ จะเป็นตำแหน่งของ Symbol ข้อมูลที่ทำการส่งไป โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าในอุดมคติกับค่าที่วัดได้ โดยได้จากผลรวมกำลังสองของขนาดเวกเตอร์สัญญาณในอุดมคติ  $(I_j, Q_j)$  หารด้วยผลรวมกำลังสองของขนาดเวกเตอร์สัญญาณที่ผิดพลาด  $(\delta I_j, \delta Q_j)$  โดยจะมีหน่วยเป็น เดซิเบล

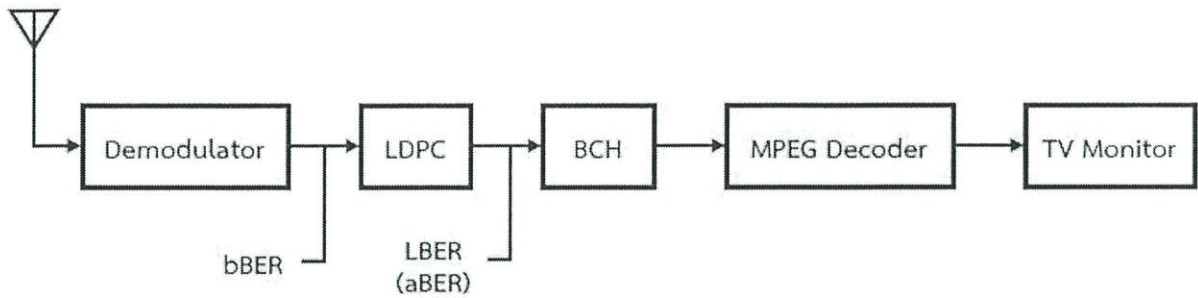


รูปที่ 3.5 อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน [8]

ความผิดพลาดของเวกเตอร์ (Error Vector) คือ ค่าที่ได้จากสัญญาณ I-Q โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าในอุดมคติกับค่าที่วัดได้ ดังนั้นค่า MER จึงเท่ากับ อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS) ระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณที่มีเวกเตอร์ผิดพลาดไปจากสัญญาณอ้างอิง

### 3.3.2 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Ratio : BER)

อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Ratio : BER) หมายถึงการวัดความแม่นยำของกระแสบิตที่ได้รับตามที่ระบุในรูปของอัตราส่วนบิตความผิดพลาดต่อจำนวนบิตรวม โดยค่า BER จะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งค่า BER น้อย คุณภาพของสัญญาณจะดี โดยในงานวิจัยนี้จะมีการวัดอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ bBER และ LBER (หรือ aBER) โดยจะแสดงบล็อกไดอะแกรมของอัตราความผิดพลาดบิตจะแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมอัตราความผิดพลาดบิต [1]

#### 1) Before Bit Error Rate (bBER)

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

#### 2) LDPC Bit Error Rate (LBER หรือ aBER)

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

### 3.3.3 Noise margin (NsMAR)

คือค่าผลต่างระหว่าง ค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (MER) ของสัญญาณที่รับได้กับค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันของสัญญาณต่ำสุดที่ยังยอมรับได้ คือค่าที่ทำให้ได้คุณภาพของภาพที่ไม่ขาดหายจนรับไม่ได้ ตัวอย่างเช่น ภาพไม่เกิดการกระตุกมากกว่าหนึ่งครั้งในทุก ๆ 20 วินาที

### 3.3.4 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR)

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) เป็นวิธีการวัดค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่ต้องการกับกำลังของสัญญาณรบกวน ค่านี้เป็นการบ่งบอกคุณภาพของสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ว่ามีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่มากเท่าใด โดยถ้าหากค่า SNR มีค่าสูง แสดงว่ากำลังของสัญญาณที่ต้องการมีมากกว่ากำลังสัญญาณรบกวน แต่ถ้าหากค่า SNR ต่ำ แสดงว่าคุณภาพของสัญญาณไม่ดีคือมีการรบกวนสูง ซึ่งค่า SNR นี้มักจะบอกมาในหน่วย dB นั่นคือค่า SNR ที่ดีต้องมีค่ามาก คุณภาพยิ่งดี

### 3.3.5 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio : CNR)

อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio : CNR) ในทางโทรคมนาคม CNR หรือบางครั้งเรียก C/N คืออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแล้ว ซึ่งจะเป็นการวัดผลกระทบของสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณที่รับเข้ามา ถือเป็นอัตราส่วนที่สำคัญของดิจิทัลทีวี เพราะเป็นขอบของการตรวจจับสัญญาณ โดยค่าอัตราส่วน CNR จะเปลี่ยนตาม Channel Type (Gaussian, Ricean และ Rayleigh) นอกจากนี้การทดสอบการลดลงของคุณภาพสัญญาณเนื่องจากการถูกรบกวน โดยการวัดคุณภาพสัญญาณที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของสัญญาณที่อาจจะเกิดการถูกรบกวนจากภายนอก โดยเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับได้ที่ระดับ 20 dB เช่นถ้ามีค่าการรบกวนจนทำให้ค่า CNR เท่ากับ 20.5 dB แสดงว่าสัญญาณนี้ถูกทำให้เสื่อมลงไป 0.5 dB

### 3.3.6 สัญญาณรบกวน (Noise)

สัญญาณรบกวน (Noise) คือการรบกวนของช่องสัญญาณในลักษณะสุ่ม (Random) ทำให้สัญญาณที่ปลายทางเกิดความผิดเพี้ยนไปจากต้นทาง โดยในระบบการส่งสัญญาณหนึ่ง ๆ สัญญาณที่ปลายทางนั้นจะต้องมีค่า C/N มากเกินข้อกำหนดของพารามิเตอร์ระบบจึงจะทำให้สามารถถอดรหัสสัญญาณได้ ทั้งนี้ ในระบบ DVB-T2 นั้น ค่า CNR ที่ต้องการ จะมีค่าตามการปรับพารามิเตอร์ของการมอดูเลตสัญญาณ (Modulation), อัตราการเข้ารหัส (Code Rate) แบบรูปไปลอสต (Pilot Pattern) เป็นหลัก และการวัดข้อผิดพลาดนั้น นิยมวัดในรูปแบบของ BER

## 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter ยี่ห้อ SYES รุ่น PCM 1 UHF



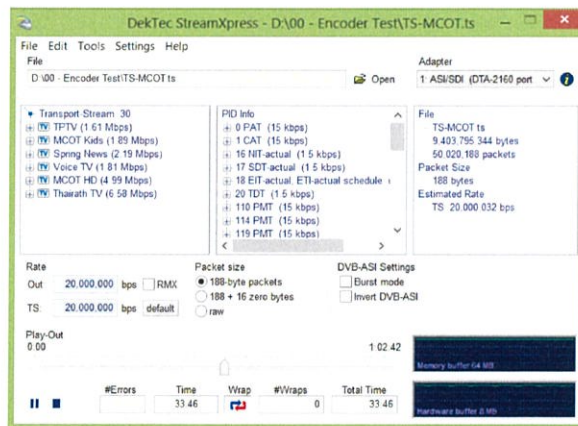
รูปที่ 3.7 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ

## 2) เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน (Noise Generator)



รูปที่ 3.8 เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน

## 3) คอมพิวเตอร์ประกอบโปรแกรม DekTec StreamXpress



รูปที่ 3.9 โปรแกรม DekTec StreamXpress

## 4) สายอากาศเทียม (Dummy Load) 50 โอห์ม



รูปที่ 3.10 สายอากาศเทียม 50 โอห์ม

5) เครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer ยี่ห้อ ROVER รุ่น HD PROTAB



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer

6) อุปกรณ์รวมสัญญาณแบบสองทาง (2-way Combiner) ยี่ห้อ iDeaSaT



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์รวมสัญญาณแบบสองทาง

7) สาย LAN ความยาว 1 เมตร



รูปที่ 3.13 สาย LAN

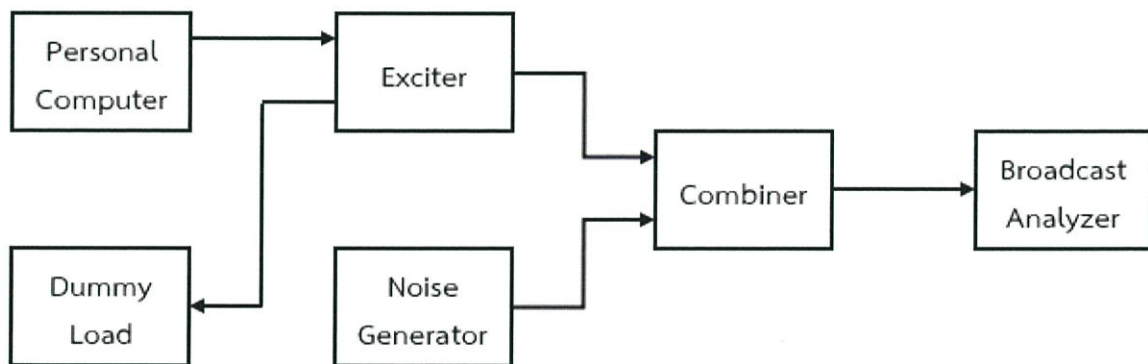
8) สาย Coaxial Cable RG-214 50 โอห์ม ยาว 1 เมตร



รูปที่ 3.14 สาย Coaxial Cable RG-214

### 3.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์

#### 3.5.1 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์

#### 3.5.2 ขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์

- 1) เชื่อมต่อสาย LAN ที่ Port 2 ของคอมพิวเตอร์ และ Port ETH LOCAL ของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter
- 2) เชื่อมต่อสาย Coaxial Cable RG-214 50 โอห์ม เข้ากับคอมพิวเตอร์ และ Port ASI 1 ของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter
- 3) เชื่อมต่อสาย Coaxial Cable RG-214 50 โอห์ม เข้ากับสายอากาศเทียม 50 โอห์ม และ Port RF OUT ของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter

4) เชื่อมต่อ Port MONITOR RF OUT ของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter และเครื่องกำเนิดสัญญาณรวมวงวน เข้ากับอุปกรณ์รวมสัญญาณ

5) เชื่อมต่อสาย สาย Coaxial Cable RG-214 50 โอห์ม เข้ากับอุปกรณ์แยกสัญญาณแบบสองทาง และ Port Impedance 50 โอห์ม ของเครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer



รูปที่ 3.16 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

### 3.6 ขั้นตอนการตั้งค่ารูปแบบการส่งสัญญาณ DVB-T2

1) ทำการเปิดโปรแกรม DekTec StreamXpress เพื่อทำการเรียกไฟล์สัญญาณต้นฉบับ MPEG2-TS ของช่อง MCOT ซึ่งกำหนดให้มี Bit Rate เท่ากับ 20 Mbps จากนั้นทำการ Run โปรแกรมเพื่อป้อนสัญญาณ Input ให้กับเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter

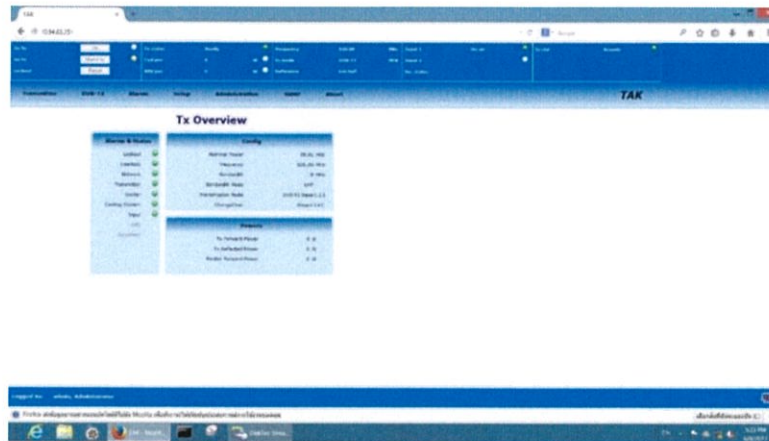


รูปที่ 3.17 โปรแกรม DekTec StreamXpress

2) ทำการตั้งค่า IP Address ของคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในวง LAN เดียวกันกับเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter

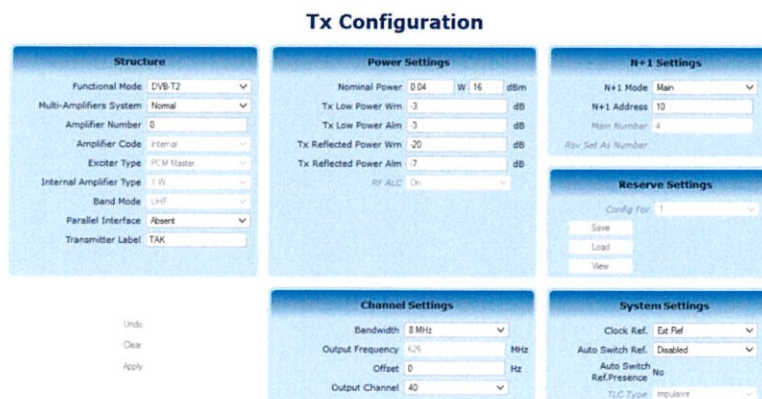
3) เข้าไปที่ Web Browser และกรอก IP Address ของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter

4) ทำการกรอก User ID และ Password เป็น admin และ adminuser ตามลำดับ เพื่อไปยังหน้าหลักการตั้งค่าเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter โดยหน้าหลักนี้จะแสดงถึงภาพรวมสถานะของการทำงานของอุปกรณ์และการตั้งค่าต่าง ๆ โดยไฟสีเขียวหมายถึงสถานะปกติ ไฟสีเหลืองหมายถึงมีการแจ้งเตือน และไฟสีแดงหมายถึงสถานะไม่ปกติ



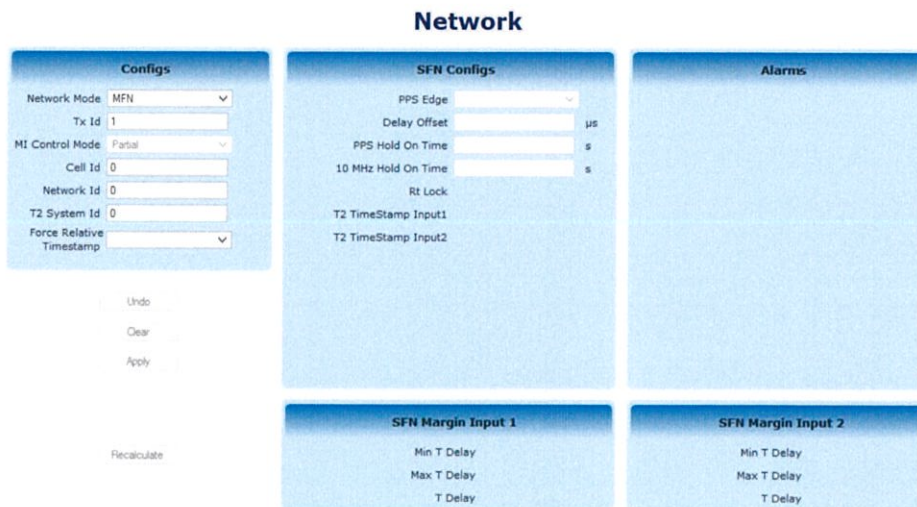
รูปที่ 3.18 หน้าหลักการตั้งค่าเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ Exciter

5) คลิกไปที่หัวข้อ Transmitter > Tx Configuration ทำการตั้งค่า Power ที่จะทำการส่งออกที่ช่อง Nominal Power เป็น 0.04 วัตต์ หรือ 16 dBm



รูปที่ 3.19 หน้าต่างการตั้งค่า Tx Configuration

6) คลิกไปที่หัวข้อ DVB-T2 > Network เพื่อตั้งค่า Network Mode เป็นโหมด MFN (Multi-frequency Network) ซึ่งใช้สำหรับการรับสัญญาณอยู่กับที่



รูปที่ 3.20 หน้าต่างการตั้งค่า Network

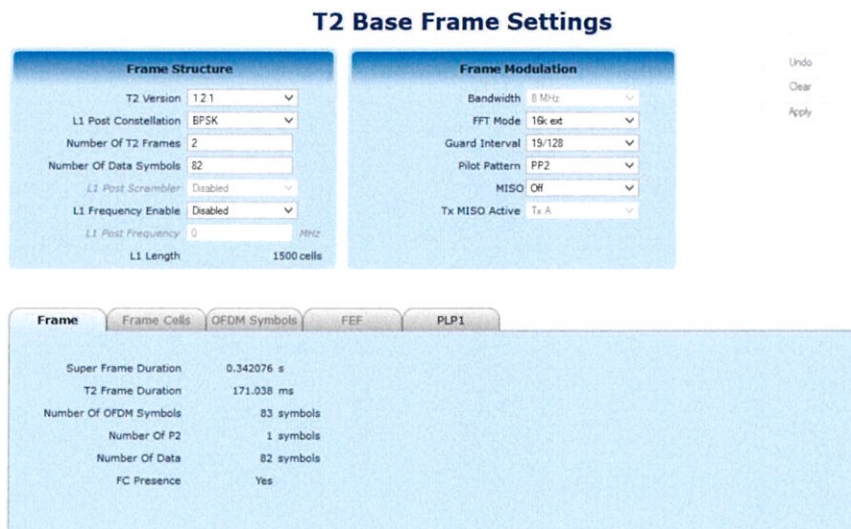
7) คลิกไปที่หัวข้อ DVB-T2 > Input ทำการตั้งค่า Source Input 1 เป็น ASI และตั้งค่า Input Mode เป็น TS เนื่องจากเป็นสัญญาณข้อมูลที่ออกมาจาก Multiplexer โดยตรง ซึ่งยังไม่ผ่าน T2-Gateway ทำให้ข้อมูลชุดนี้จะยังสามารถทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการมอดูเลชันก่อนออกอากาศได้ตามต้องการ



รูปที่ 3.21 หน้าต่างการตั้งค่า Input

8) คลิกไปที่หัวข้อ DVB-T2 > T2 Base Frame Settings ซึ่งตามข้อกำหนดของ กสทช. นั้น ขนาดของ FFT size จะเป็น 16k Ext. ซึ่งหมายความว่าสัญญาณที่ส่งออกจะมีจำนวนคลื่นพาห้อยู่ประมาณ

16,000 คลื่น และ Ext. คือ Extended Mode ซึ่งจะเป็นการขยายจำนวนคลื่นพาห์ออกไปด้านข้างอีกเล็กน้อย เพื่อเพิ่ม Bit rate ในการส่งข้อมูลได้อีกเล็กน้อย และนอกจากนั้น ตามข้อกำหนดของกสทช. ขนาดของ Guard Interval จะเท่ากับ 19/128 และในงานวิจัยนี้ เราจะศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ Pilot Pattern แต่ละแบบว่าจะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณที่จะทำการส่งออกอย่างไร ดังนั้นจะทำการเปลี่ยนการตั้งค่า Pilot Pattern อยู่ 3 ค่าด้วยกัน ได้แก่ PP2, PP3 และ PP8 โดยเริ่มแรกจะตั้งค่าเป็นโหมด PP2 ก่อน



รูปที่ 3.22 หน้าต่างการตั้งค่า T2 Base Frame Settings

9) คลิกไปที่หัวข้อ DVB-T2 > PLP Base Management เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ ซึ่งได้แก่ Modulation Type และ FEC Type โดยเริ่มแรกจะกำหนดให้เป็น QPSK และ 3/5 ก่อน ตามลำดับ

## PLP Base Management

The screenshot displays the PLP Base Management interface with the following sections:

- PLP Description:** Id 0, Group Id 1, PLP Type PLP Type 1.
- Transmission Parameters:** Modulation Type 64 QAM, Rotation Rotated, FEC Type 3/5, FEC Length Long (640), Number Of FEC Blocks 96.
- Input Processing:** Input Stream Format TS, Null Packet Deletion Not Active, Sync Deletion Active, Mode Adaptation Normal, ISSY Short.
- T2 Frame Structure:** Frame Interval 1, TI Length 1/ 2 frame, TI Type One T2 Frame.
- PLP Statistics:** TS Bitrate 21669 kb/s, TI Block Size 518400 cells, Interleaving Depth 85.519 ms.

Buttons: Undo, Clear, Apply.

รูปที่ 3.23 หน้าต่างการตั้งค่า PLP Base Management

10) เมื่อทำการตั้งค่าทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว คลิกที่ปุ่ม On ด้านบนซ้ายของจอ เพื่อทำการส่งสัญญาณออกอากาศ

### 3.7 ขั้นตอนการวัดสัญญาณ DVB-T2 และการจัดเก็บข้อมูล

1) เปิดเครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer เพื่อเข้าสู่หน้าจอเริ่มต้น



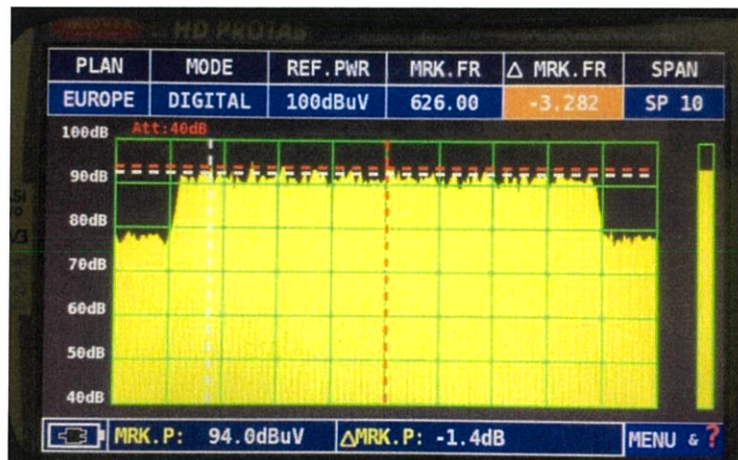
รูปที่ 3.24 หน้าจอเริ่มต้นของเครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer

2) เลือกไปที่ TV ตั้งค่า MODULAT เป็น DVBT2 และทำการเลือกช่องความถี่ที่จะทำการวัด โดยตั้งค่า FREQ เป็น 626.00 MHz หรือตั้งค่า CHAN เป็น 40 ก็ได้เช่นกัน จากนั้นทำการบันทึกกรุปเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์โดยรวมต่าง ๆ



รูปที่ 3.25 พารามิเตอร์โดยรวมของสัญญาณที่วัดได้

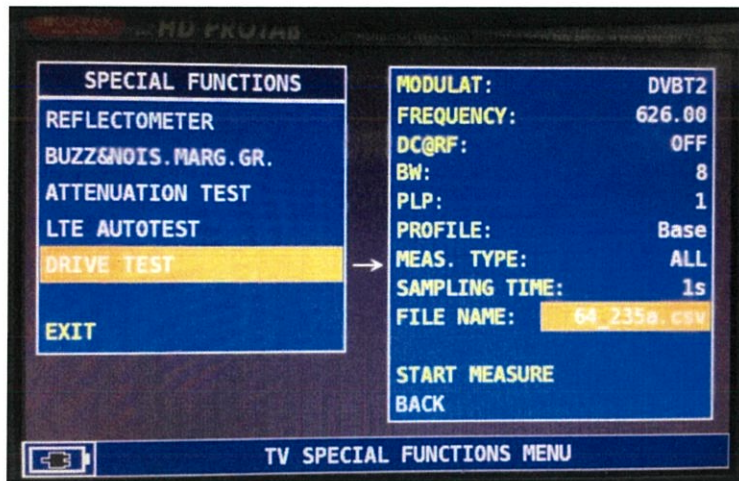
3) กลับไปที่หน้าจอเริ่มต้น เลือกไปที่ SPECT เพื่อดูสเปกตรัมของสัญญาณที่ทำการวัดได้



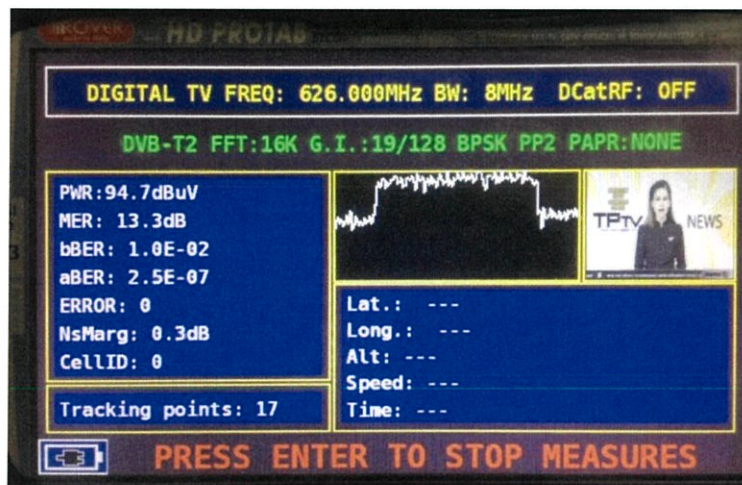
รูปที่ 3.26 สเปกตรัมของสัญญาณที่วัดได้

4) กลับไปที่หน้าจอเริ่มต้น เลือกไปที่ SPECIAL และเลือกหัวข้อ DRIVE TEST เพื่อทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ Power (dBμV), MER (dB), NsMAR (dB), bBER, aBER และ Spectrum โดยตั้งค่าต่าง ๆ ได้แก่ MODULAT: DVBT2 , FREQUENCY: 626.00 , BW: 8 , SAMPLING TIME: 1s จากนั้นทำ

การต่อแฟลชไดรฟ์เข้ากับเครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer ทำการตั้งชื่อไฟล์ที่จะบันทึก กด START MEASURE และกด Enter เพื่อเริ่มการบันทึกค่า



รูปที่ 3.27 หน้าต่าง TV SPECIAL FUNCTIONS MENU



รูปที่ 3.28 หน้าต่าง DRIVE TEST บันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

## บทที่ 4

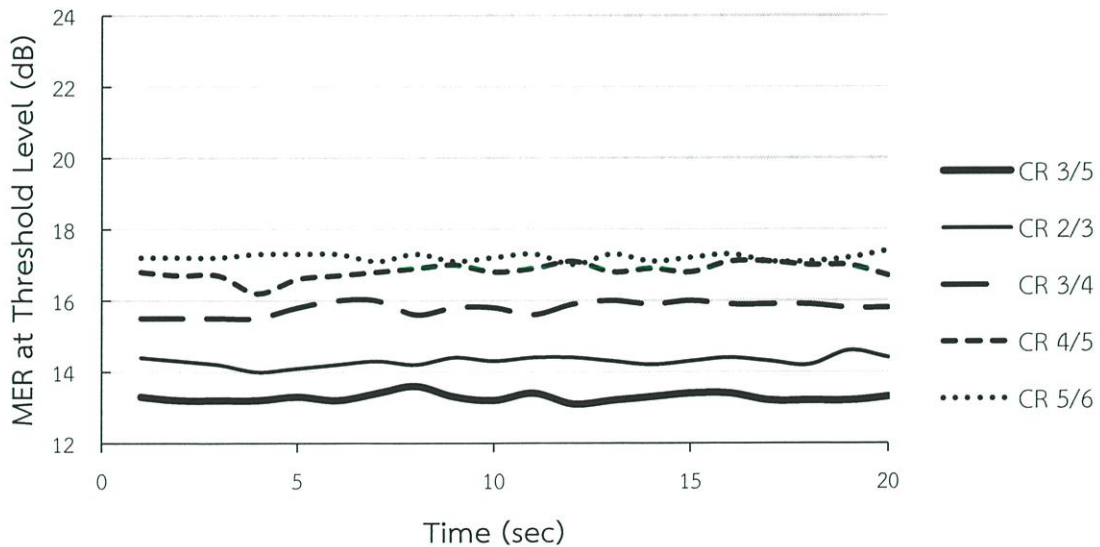
### ผลการวัดและการวิเคราะห์

ในบทนี้ จะแสดงถึงผลของการวัดค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (MER) ของสัญญาณที่วัดได้ที่ระดับสัญญาณต่ำสุดที่สามารถรับได้ (Threshold level) โดยจะแสดงในรูปแบบของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า MER ต่อเวลาที่เปลี่ยนไปในหน่วยวินาที ในหัวข้อ 4.1 จะเป็นการแสดงกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการเข้ารหัส (Code Rate) ที่เปลี่ยนแปลงไป ว่าส่งผลต่อค่า MER เช่นไร ถัดมาในหัวข้อ 4.2 จะเป็นการแสดงกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของรูปแบบการมอดูเลชัน (Modulation) และแบบรูปไพลอต (Pilot Pattern) ที่เปลี่ยนแปลงไปว่าส่งผลต่อค่า MER เช่นไร ในหัวข้อ 4.3 จะเป็นการแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า MER ที่วัดได้ต่อค่า CNR และสุดท้ายในหัวข้อ 4.4 จะเป็นตารางสรุปค่า MER และ CNR ที่เปลี่ยนไปในแต่ละพารามิเตอร์ Modulation, Pilot Pattern และ Code Rate

#### 4.1 กราฟแสดงค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate

##### 4.1.1 กำหนดพารามิเตอร์ Modulation แบบ 64-QAM และ Pilot Pattern แบบ PP2

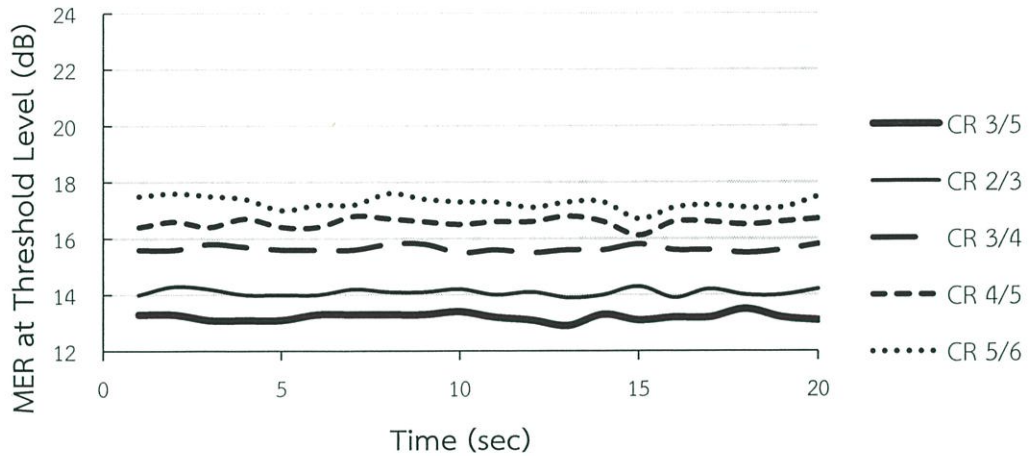
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Code Rate ต่าง ๆ ได้แก่ 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ที่ได้จากการวัดและพารามิเตอร์ Code Rate ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 64-QAM, PP2 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate

#### 4.1.2 กำหนดพารามิเตอร์ Modulation แบบ 64-QAM และ Pilot Pattern แบบ PP3

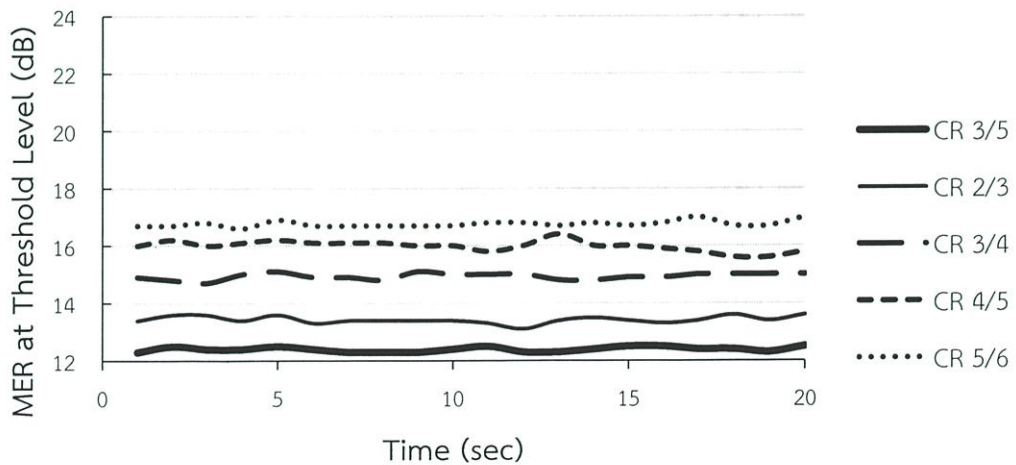
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Code Rate ต่าง ๆ ได้แก่ 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ที่ได้จากการวัดและพารามิเตอร์ Code Rate ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 64-QAM, PP3 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate

#### 4.1.3 กำหนดพารามิเตอร์ Modulation แบบ 64-QAM และ Pilot Pattern แบบ PP8

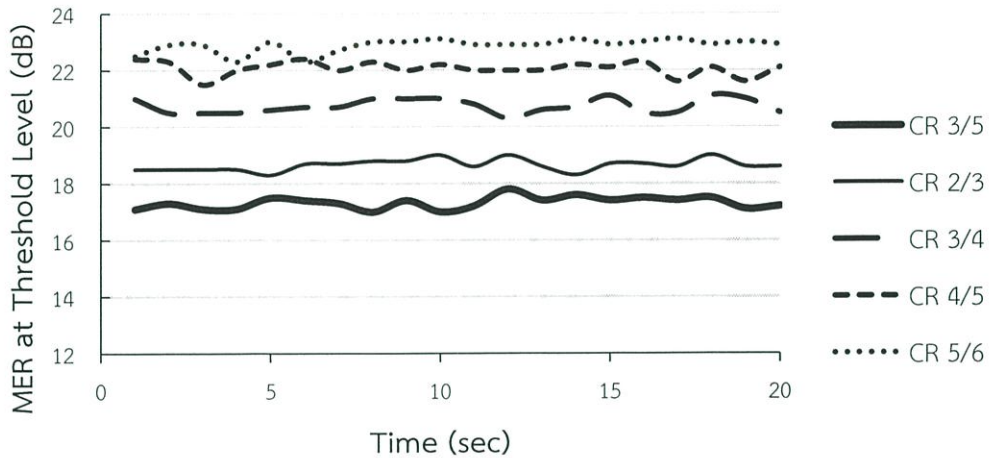
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Code Rate ต่าง ๆ ได้แก่ 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ที่ได้จากการวัดและพารามิเตอร์ Code Rate ได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 64-QAM, PP8 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate

#### 4.1.4 กำหนดพารามิเตอร์ Modulation แบบ 256-QAM และ Pilot Pattern แบบ PP2

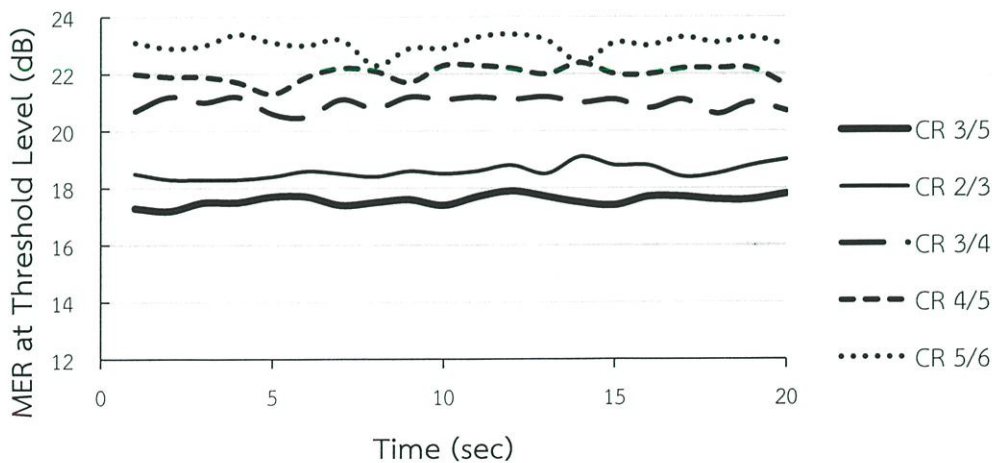
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Code Rate ต่าง ๆ ได้แก่ 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ที่ได้จากการวัดและพารามิเตอร์ Code Rate ได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 256-QAM, PP2 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate

#### 4.1.5 กำหนดพารามิเตอร์ Modulation แบบ 256-QAM และ Pilot Pattern แบบ PP3

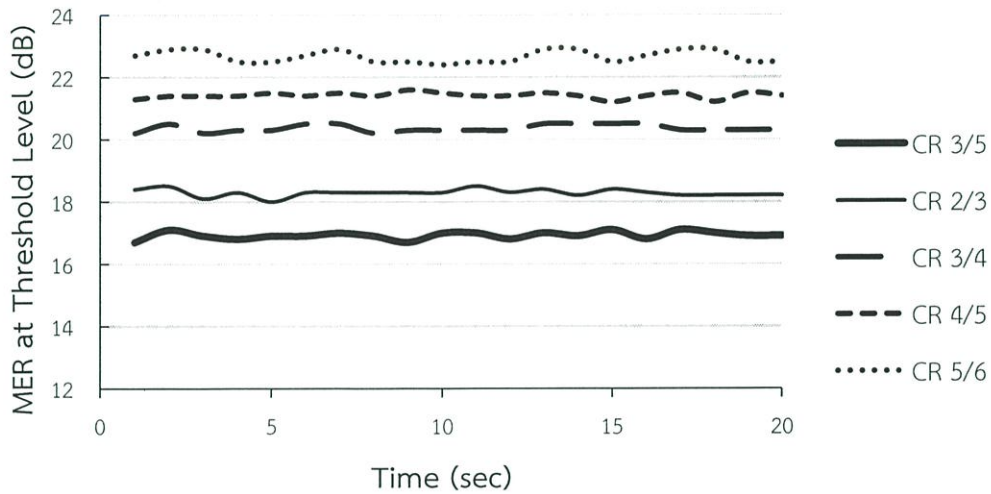
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Code Rate ต่าง ๆ ได้แก่ 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ที่ได้จากการวัดและพารามิเตอร์ Code Rate ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 256-QAM, PP3 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate

#### 4.1.6 กำหนดพารามิเตอร์ Modulation แบบ 256-QAM และ Pilot Pattern แบบ PP8

ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Code Rate ต่าง ๆ ได้แก่ 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ที่ได้จากการวัดและพารามิเตอร์ Code Rate ได้ดังรูปที่ 4.6

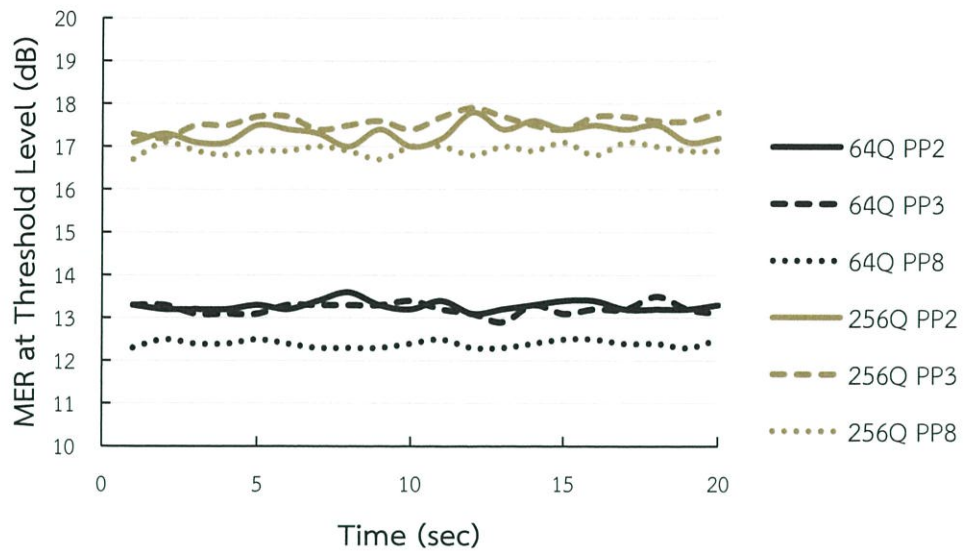


รูปที่ 4.6 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ 256-QAM, PP8 เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate

#### 4.2 กราฟแสดงค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern

##### 4.2.1 กำหนดพารามิเตอร์ Code Rate เป็น 3/5

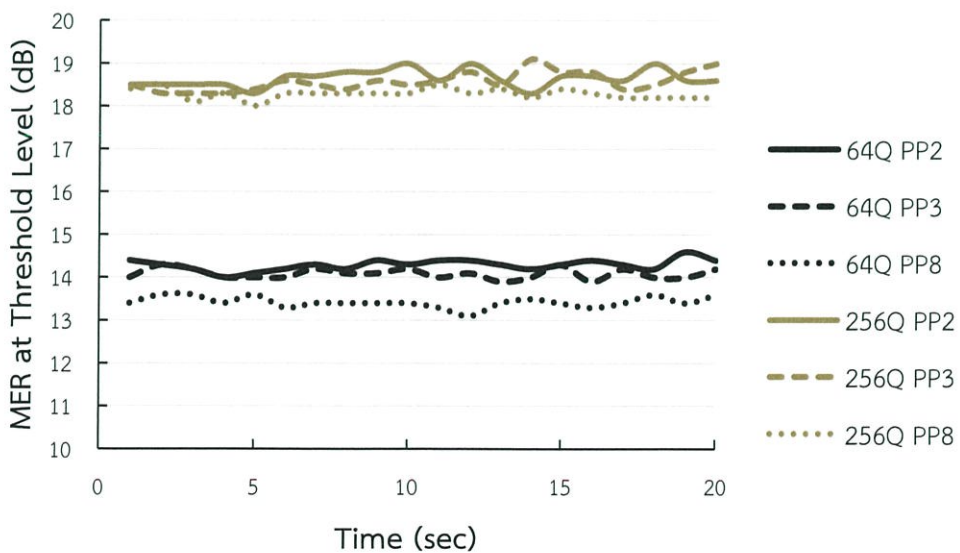
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Modulation Type ได้แก่ 64-QAM และ 256-QAM และพารามิเตอร์ Pilot Pattern ได้แก่ PP2, PP3 และ PP8 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 3/5 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern

#### 4.2.2 กำหนดพารามิเตอร์ Code Rate เป็น 2/3

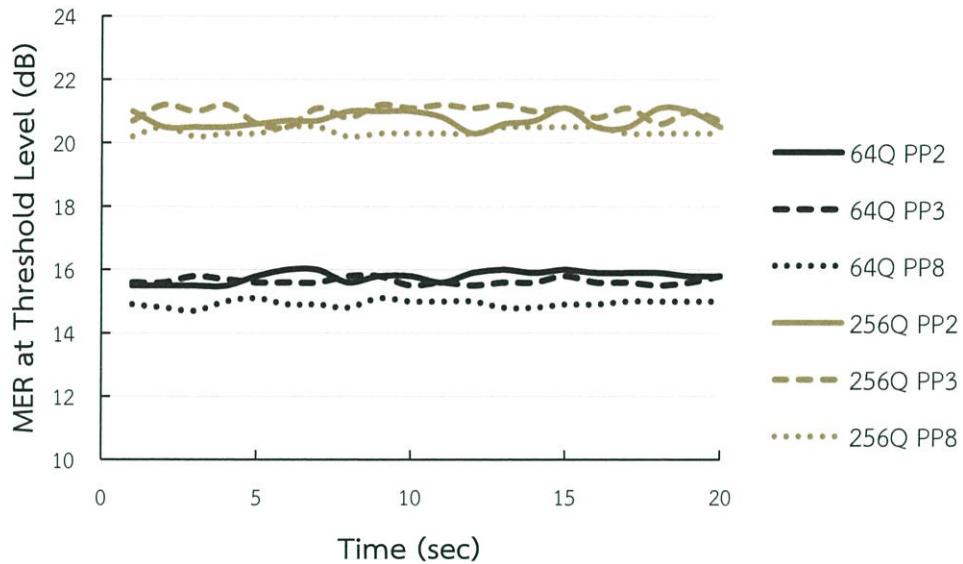
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Modulation Type ได้แก่ 64-QAM และ 256-QAM และพารามิเตอร์ Pilot Pattern ได้แก่ PP2, PP3 และ PP8 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 48 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 2/3 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern

#### 4.2.3 กำหนดพารามิเตอร์ Code Rate เป็น 3/4

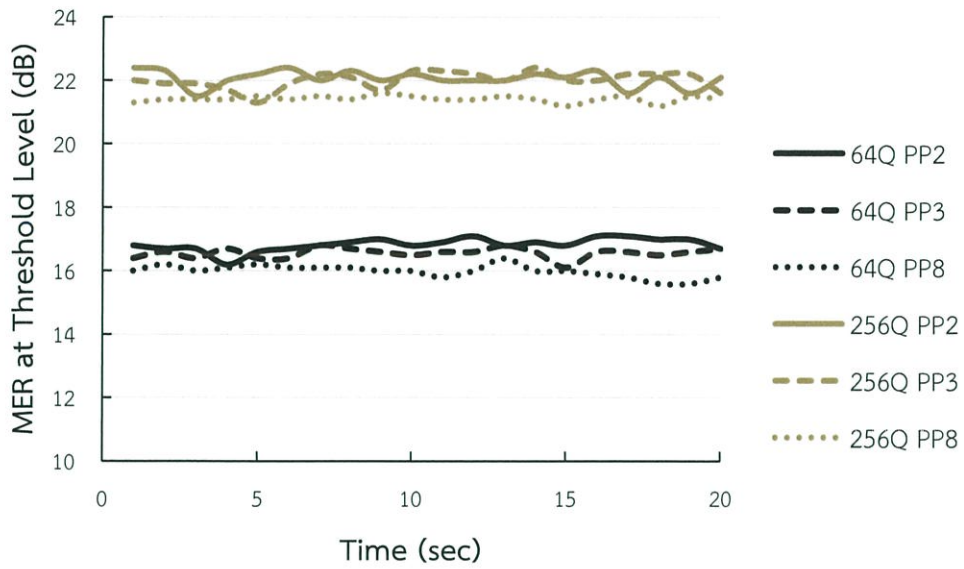
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Modulation Type ได้แก่ 64-QAM และ 256-QAM และพารามิเตอร์ Pilot Pattern ได้แก่ PP2, PP3 และ PP8 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 3/4 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern

#### 4.2.4 กำหนดพารามิเตอร์ Code Rate เป็น 4/5

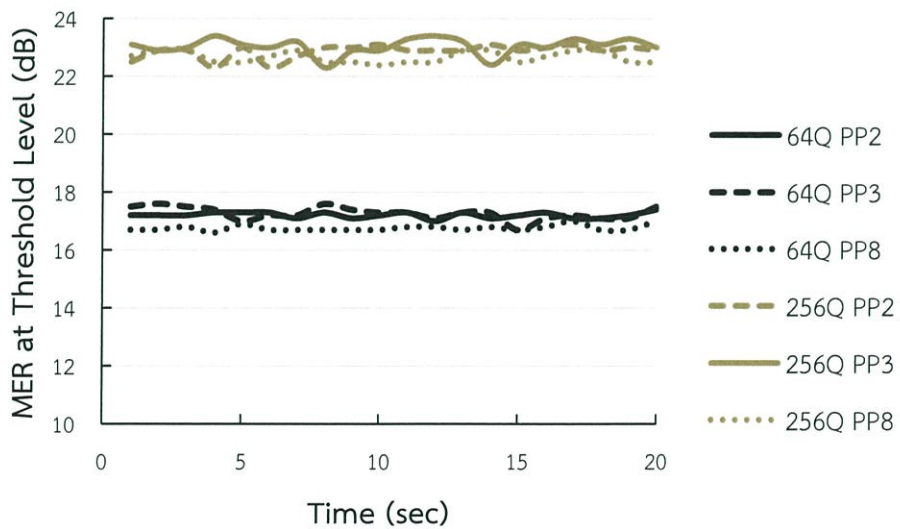
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Modulation Type ได้แก่ 64-QAM และ 256-QAM และพารามิเตอร์ Pilot Pattern ได้แก่ PP2, PP3 และ PP8 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code 4/5 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern

#### 4.2.5 กำหนดพารามิเตอร์ Code Rate เป็น 5/6

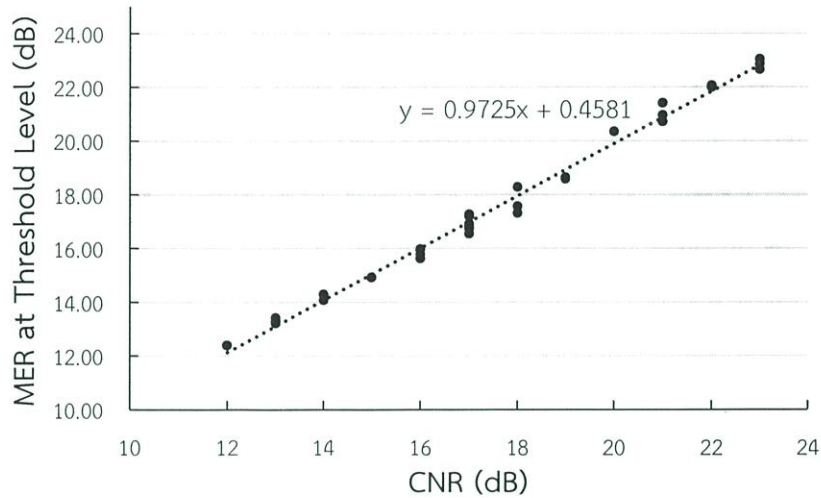
ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ Modulation Type ได้แก่ 64-QAM และ 256-QAM และพารามิเตอร์ Pilot Pattern ได้แก่ PP2, PP3 และ PP8 และทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 อัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันของสัญญาณที่วัดได้ที่ Code Rate 5/6 เมื่อทำการเปลี่ยน Modulation และ Pilot Pattern

### 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า MER และค่า CNR ที่วัดได้

จากการปรับค่าพารามิเตอร์ Modulation Type, Pilot Pattern และ Code Rate รูปแบบต่างๆ ทำให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า MER ที่มีความสัมพันธ์กับค่า CNR ที่วัดได้ โดยจะแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความผิดพลาดการมอดูเลชันและอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน

### 4.4 ตารางสรุปผลที่ได้จากการวัด

จากการวัดค่าอัตราส่วนมอดูเลชัน (MER) และอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (CNR) ของสัญญาณ DVB-T2 ที่ถูกส่งมา เมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ Modulation Type, Pilot Pattern และ Code Rate ทำการสรุปตารางผลที่ได้จากการวัด ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปผลที่ได้จากการวัด

Modulation	Pilot Pattern	Code Rate	MER (dB)	CNR (dB)
64-QAM	PP2	3/5	13.28	13
		2/3	14.30	14
		3/4	15.79	16
		4/5	16.83	17
		5/6	17.21	17
	PP3	3/5	13.22	13
		2/3	14.09	14
		3/4	15.64	16
		4/5	16.56	17
		5/6	17.27	17
	PP8	3/5	12.40	12
		2/3	13.43	13
		3/4	14.93	15
		4/5	15.99	16
		5/6	16.76	17
256-QAM	PP2	3/5	17.32	18
		2/3	18.65	19
		3/4	20.73	21
		4/5	22.07	22
		5/6	22.87	23
	PP3	3/5	17.57	18
		2/3	18.59	19
		3/4	20.96	21
		4/5	22.01	22
		5/6	23.05	23
	PP8	3/5	16.92	17
		2/3	18.29	18
		3/4	20.36	20
		4/5	21.42	21
		5/6	22.67	23

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในปัจจุบัน ทางคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้กำหนดใช้มาตรฐานการกระจายเสียงและการแพร่ภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง หรือ DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial) โดยมีการควบคุมพารามิเตอร์ที่ใช้ในการมอดูเลตสัญญาณก่อนที่จะทำการออกอากาศ ซึ่งทางบริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) ได้มีความสนใจที่จะทำการศึกษาและทดสอบปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ การมอดูเลชัน (Modulation) , แบบรูปไพลอต (Pilot Pattern) และอัตราการเข้ารหัส (Code Rate) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณที่จะทำการออกอากาศ โดยวิเคราะห์จากค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (MER) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการชี้วัดคุณภาพของสัญญาณ โดยในการเปลี่ยนพารามิเตอร์แต่ละแบบ หากค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันที่เครื่องวัดสามารถรับได้มีค่าที่ต่ำกว่า แต่ยังสามารถประมวลผลเป็นภาพและเสียงได้ นั่นคือการตั้งค่าพารามิเตอร์นั้นจะสามารถส่งสัญญาณที่มีคุณภาพดีมากกว่า

จากการทดสอบปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ดังที่กล่าวข้างต้น เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันที่ระดับ Threshold level โดยจากการเปลี่ยนพารามิเตอร์การมอดูเลชัน 2 แบบ คือ 64-QAM และ 256-QAM พบว่าเครื่องวัดสามารถรับค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันของการส่งสัญญาณที่มีการมอดูเลชันแบบ 64-QAM ต่ำกว่าการมอดูเลชันแบบ 256-QAM เนื่องจากการมอดูเลชันแบบ 64-QAM จะมีจำนวนบิตที่ส่งในข้อมูลหนึ่งชุดน้อยกว่า 256-QAM ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลที่น้อยกว่า 256-QAM ถัดมาเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันที่ได้จากการเปลี่ยนพารามิเตอร์แบบรูปไพลอต 3 แบบ คือ PP2, PP3 และ PP8 พบว่าเครื่องวัดสามารถรับค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันของการส่งสัญญาณที่มีแบบรูปไพลอตแบบ PP8 ต่ำที่สุด และแบบรูปไพลอตแบบ PP2 และ PP3 จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันที่ได้จากการเปลี่ยนพารามิเตอร์อัตราการเข้ารหัส 5 แบบ คือ 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6 พบว่าเครื่องวัดสามารถรับค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันของการส่งสัญญาณที่มีอัตราการเข้ารหัสแบบ 3/5 ต่ำที่สุด และอัตราการเข้ารหัสแบบ 5/6 สูงที่สุด เนื่องจากอัตราการเข้ารหัสแบบ 3/5 จะมีถึง 2/5 ส่วนที่จะทำการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาด เพื่อเช็คและแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลที่ถูกส่ง ในขณะที่อัตราการเข้ารหัสแบบ 5/6 จะมีเพียง 1/6 ส่วน ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลที่มากกว่าแบบ 3/5

จากที่กล่าวมา สรุปได้ว่า การส่งออกสัญญาณที่มีการกำหนดพารามิเตอร์ในการมอดูเลชันแบบ 64-QAM มีแบบรูปไพลอตแบบ PP8 และมีอัตราการเข้ารหัสแบบ 3/5 จะสามารถส่งออกสัญญาณที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการกำหนดพารามิเตอร์แบบอื่น เนื่องจากภาครับสามารถรับสัญญาณที่ส่งมาได้ง่ายที่สุด โดยวิเคราะห์จากค่าอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 12.40 dB ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่ทดสอบได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในการทดสอบ ได้ทำการวัดทดสอบเพียงแค่ MUX ที่บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ให้บริการโครงข่าย ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลที่ได้มีปริมาณน้อย และการทดสอบปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์นั้น มีการเปลี่ยนแปลงเพียงแค่ 3 พารามิเตอร์ และเป็นเพียงการทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริง อาจมีพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ จึงควรมีการศึกษาต่อยอดงานวิจัยนี้ต่อไปใน ภายภาคหน้าด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] บัณฑิต รักวีรธรรม และสถาพร พรหมวงศ์. การประเมินผลการปฏิบัติงานของ DVB-T2 สำหรับการรับสัญญาณแบบภายนอกอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. ประกาศ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร, 2558.
- [3] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. โทรทัศน์ดิจิทัล ระบบ DVB-T2 : เทคโนโลยีและมาตรฐานทางเทคนิค (DVB-T2 System: Technology and Technical Standards). กรุงเทพมหานคร, 2555.
- [4] Inaki Eizmendi, Gorka Prieto, Gorka Berjon-Eriz, Iratxe Landa, and Manuel Velez. Empirical DVB-T2 Thresholds for Fixed Reception. Translated by Bundit Ruckveratham, and Sathaporn Promwong. Bangkok, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [5] คณะเจ้าหน้าที่บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน). “เทคโนโลยีการแพร่กระจายคลื่นดิจิทัล”.  
[http://dtv.mcot.net/techno\\_one.php?dateone=1247363871](http://dtv.mcot.net/techno_one.php?dateone=1247363871)
- [6] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และ กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.). “สรุปรายงาน การเข้าฝึกอบรม Digital Transmission Training Course ณ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ระหว่างวันที่ 18 – 22 สิงหาคม 2557”.  
[http://lib.nbtc.go.th/ebook\\_detail?cid=11268&ctype=1](http://lib.nbtc.go.th/ebook_detail?cid=11268&ctype=1)
- [7] เพ็ญพรรณ ชัยวัฒนาโรจน์ และกองบรรณาธิการ. “การแพร่ภาพโทรทัศน์พื้นฐาน (Television Broadcasting)”  
[http://thaitelcomkm.org/TTE/topic/attach/Television\\_Broadcasting/index.php#e](http://thaitelcomkm.org/TTE/topic/attach/Television_Broadcasting/index.php#e)
- [8] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “Modulation error ratio”  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation\\_error\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation_error_ratio)

ภาคผนวก ก

ความรู้พื้นฐานการส่งสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิทัล

ภาคผนวก ก

ความรู้พื้นฐานการส่งสัญญาณโทรทัศนระบบดิจิทัล

ตารางที่ ก.1 ตารางกำหนดช่องความถี่วิทยุ

หมายเลข ช่องความถี่ วิทยุ	ความถี่วิทยุ (เมกะเฮิรตซ์)		ความถี่ กึ่งกลาง (Center Frequency)
	ขอบล่าง	ขอบบน	
26	510	518	514
27	518	526	522
28	526	534	530
29	534	542	538
30	542	550	546
31	550	558	554
32	558	566	562
33	566	574	570
34	574	582	578
35	582	590	586
36	590	598	594
37	598	606	602
38	606	614	610
39	614	622	618
40	622	630	626
41	630	638	634
42	638	646	642
43	646	654	650

หมายเลข ช่องความถี่ วิทยุ	ความถี่วิทยุ (เมกะเฮิรตซ์)		ความถี่ กึ่งกลาง (Center Frequency)
	ขอบล่าง	ขอบบน	
44	654	662	658
45	662	670	666
46	670	678	674
47	678	686	682
48	686	694	690
49	694	702	698
50	702	710	706
51	710	718	714
52	718	726	722
53	726	734	730
54	734	742	738
55	742	750	746
56	750	758	754
57	758	766	762
58	766	774	770
59	774	782	778
60	782	790	786

ตารางที่ ก.2 ตารางการจัดกลุ่มช่องความถี่วิทยุ

กลุ่มช่องความถี่วิทยุ	จำนวน ช่องความถี่วิทยุ	หมายเลขช่องความถี่วิทยุ					
Da	6	28	31	35	39	47	51
Db	6	26	29	32	36	40	44
Dc	6	27	30	33	37	41	49
Dd	6	34	38	46	50	54	57
De	6	43	45	48	53	56	59
Df	5	42	52	55	58	60	-
TDa	6	26	50	34	38	42	46
TDb	6	28	32	36	40	44	48

ตารางที่ ก.3 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม

ลำดับ	ชื่อสถานี	ประเภท	ลองจิจูด	ละติจูด	ความสูง จากองศา (เมตร)	กลุ่ม ความถี่	#1	#2	#3	#4	#5	#6	กำลังส่งออก อากาศสูงสุด (กิโลวัตต์)
1.00	กรุงเทพ	M	100.540270	13.754300	328	Db	26	36	40	44	32 (52)	29	100.00
1.01	เขาลาดยาว	A1	100.949558	13.190653	40	De	45	59	53	56	43	48	1.00
1.02	พัทธยา	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	โพธิ์ผไท	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 (ด้านข้าง 2)	A1	99.667900	14.930610	60	Da	35	51	47	39	31 (55)	28	0.30
3.03	มวกเหล็ก	A1	101.153715	14.652015	20	Dc	41	49	30	33	37	27	0.50
3.04	สระบุรี(ศูนย์การทหารม้า)	A1	100.926111	14.508056	80	Da	35	51	47	39	31	28	0.50
3.05	ด่านช้าง	A2	99.695923	14.842848	107	De	53	43	45	48	56	59	2.00
3.06	สถานีเสริม A3 #102	A3	101.138520	15.191100	70	De	53	43	45	48	56	59	1.00
3.07	สถานีเสริม A3 #031	A3	100.833144	15.437557	70	De	53	43	45	48	56	59	1.00
4.00	ระยอง	M	101.412925	12.675987	52	De	45	59	53	56	43	48	50.00
4.01	โป่งน้ำร้อน	A2	102.274523	12.889700	92	Da	47	31	35	28	39	51	10.00
4.02	สถานีเสริม A3 #025	A3	102.354020	13.008778	70	Da	47	31	35	28	39	51	10.00
4.03	สถานีเสริม A3 #069	A3	101.883540	13.165515	70	Da	47	31	35	28	39	51	2.00
5.00	สระแก้ว	M	102.104231	13.804003	156	Dd	54	50 (42)	46	38	57	34	50.00
5.01	ปราจีนบุรี (ค่ายพรหมโยธี)	A1	101.373976	14.134715	80	Dc	41	49	30	33	37	27	1.00
5.02	คาพระยา	A2	102.804796	14.002854	97	De	53	43	45	48	56	59	0.50
6.00	ตราด	M	102.298440	12.195510	64	Dc	33	37	41	49	30	27	50.00
6.01	สถานีเสริม A3 #103	A3	102.469067	12.408588	70	Dc	33	37	41	49	30	27	1.00
7.00	ประจวบคีรีขันธ์	M	99.801300	11.905940	60	Dd	46	50	54	57	38	34	20.00
7.01	หัวหิน	A1	99.935176	12.565142	75	Dd	46	50	54 (42)	57	38	34	1.00
7.02	เพชรบุรี	A1	99.929012	13.104522	80	Da	47	31	35	28	39	51	0.50
7.03	ทับสะแก	A1	99.588250	11.418960	84	De	53	43	45	48	56	59	5.00

ตารางที่ ก.4 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสถานี	ประเภท	ลองจิจูด	ละติจูด	ความสูง เสาอากาศ (เมตร)	กลุ่ม ความถี่	#1	#2	#3	#4	#5	#6	กำลังส่งออก อากาศสูงสุด (กิโลวัตต์)
7.04	สถานีเสริม A3 #019	A3	99.978240	12.447620	70	Dcd	46	50	54	57	38	34	0.50
7.05	สถานีเสริม A3 #104	A3	99.415020	11.154510	70	De	53	43	45	48	56	59	2.00
8.00	นครราชสีมา	M	101.995052	14.947688	156	Dc	41 (58)	49 (52)	30	33	37	27	50.00
8.01	ชุมพวง	A1	102.794060	15.273160	120	Db	26 (42)	32	40	36	44	29	5.00
8.02	เขายายเที่ยง	A1	101.546679	14.786090	80	Dc	41 (58)	49	30	33	37	27	5.00
8.03	เขาสลัดได วังน้ำเขียว	A2	101.900449	14.415619	40	Dc	41	49	30	33	37	27	0.50
9.00	ชัยภูมิ	M	102.026740	15.729570	120	Da	31 (55)	47	39	35	51	28	15.00
9.01	หนองบัวแดง	A1	101.895300	15.999858	120	Da	31	47	39	35	51	28	0.50
9.02	หนองบัวแดง 2	A2	101.804348	16.082553	70	Da	31	47	39	35	51	28	0.50
9.03	สถานีเสริม A3 #055	A3	101.586120	15.871080	70	Da	31	47	39	35	51	28	0.50
9.04	สถานีเสริม A3 #046	A3	102.352360	16.366759	70	De	59	45	53	56	48	43	10.00
10.00	สุรินทร์	M	103.507680	14.919520	126	Db	26 (42)	32	40	36	44	29	50.00
10.01	บุรีรัมย์	A1	103.098123	14.934247	80	Db	26 (42)	32	40	36	44	29	2.00
10.02	นางรอง	A2	102.794802	14.630352	72	Db	26	32	40	36	44	29	20.00
10.03	สถานีเสริม A3 #105	A3	103.922471	15.411229	70	Dcd	57	50	46	54	34	38	0.50
11.00	ศรีสะเกษ	M	104.345228	15.042331	120	Dc	41	30 (52)	33 (58)	27 (37)	49	37	20.00
11.01	กันทรลักษ์	A2	104.651717	14.641479	72	Da	47	31	35	28	39	51	2.00
11.02	สถานีเสริม A3 #106	A3	104.104981	14.489833	70	Dc	41	30	33	27	49	37	0.50
12.00	อุบลราชธานี	M	104.923611	15.381667	156	Dc	41	30 (52)	33 (58)	27 (26)	49	52	50.00
12.01	อำนาจเจริญ	A1	104.618922	15.898967	100	Dc	41	30	33	27	49	37	0.50
12.02	บุณฑริก	A2	105.413027	14.756517	102	Db	32	29	36	26	40	44	2.00
12.03	น้ำยืน	A2	105.002684	14.490170	107	Da	47	31	35	28	39	51	5.00
12.04	ห้วยหินครก	A2	104.985411	15.942518	100	De	53	43	45	48	56	59	5.00
12.05	สถานีเสริม A3 #075	A3	105.487970	15.643609	70	De	53	43	45	48	56	59	10.00
13.00	มุกดาหาร	M	104.718181	16.613679	124	Da	47	39	35	28	51	31	20.00
13.01	ภูหินขัน (มุกดาหาร)	A1	104.629602	16.468387	80	Da	47	39	35	28	51	31	2.00
13.02	สถานีเสริม A3 #070	A3	104.238151	16.706297	70	Da	47	39	35	28	51	31	10.00
14.00	ร้อยเอ็ด	M	103.624210	15.978350	126	Dcd	57	50	46	54 (60)	34 (55)	38	50.00
14.01	ยโสธร	A1	104.142504	15.803563	100	Dcd	57	50	46	54	34	38	1.00
15.00	ขอนแก่น	M	102.946222	16.463686	156	De	59	45	53 (52)	56	48	43	50.00
15.01	ชุมแพ	A1	102.061324	16.562602	124	De	59	45	53	56	48	43	2.00
15.02	ภูสิงห์ กาลสินธุ์	A1	103.518611	16.722778	112	De	59	45	53	56	48	43	1.00
15.03	พล	A1	102.600232	15.809009	60	De	59	45	53	56	48	43	0.50
15.04	แก้งคร้อ (ภูพานแดง)	A2	102.295658	16.098189	25	De	59	45	53	56	48	43	0.50
15.05	สถานีเสริม A3 #107	A3	103.350150	15.438190	70	Dcd	57	50	46	54	34	38	10.00
15.06	สถานีเสริม A3 #108	A3	104.066382	16.751661	70	Da	47	39	35	28	51	31	0.50

ตารางที่ ก.5 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสถานี	ประเภท	สองกิกะฮิซ	ละติจูด	ความสูง สายอากาศ (เมตร)	กลุ่ม ความถี่	#1	#2	#3	#4	#5	#6	กำลังส่งออก อากาศสูงสุด (กิโลวัตต์)
16.00	เลข	M	101.444519	17.470655	35	Dd	46	50 (42)	57	54	38	34	20.00
16.01	หนองบัวลำภู	A1	102.429346	17.228005	100	Da	47	35	31	39	51	28	0.20
16.02	สถานีเสริม A3 #002	A3	101.816650	17.262750	70	Dd	46	50	57	54	38	34	2.00
16.03	สถานีเสริม A3 #067	A3	101.909770	17.836250	70	Da	47	35	31	39	51	28	2.00
17.00	อุดรธานี	M	102.794088	17.664041	156	Da	47	35	31 (55)	39	51	28	50.00
17.01	น้ำโสม	A2	102.189221	17.798590	70	Da	47	35	31	39	51	28	1.00
18.00	บึงกาฬ	M	103.553190	18.354690	100	Db	44	32	36	40	26 (52)	29	10.00
19.00	สกลนคร	M	103.987520	17.138050	109	Dc	30	49	41	33	37 (58)	27	50.00
19.01	นครพนม	A1	104.770131	17.374367	120	Dc	30	49	41	33	37	27	0.50
19.02	สถานีเสริม A3 #110	A3	104.167004	18.017511	70	Db	44	32	36	40	26	29	0.10
20.00	เชียงใหม่	M	98.915020	18.808140	78	Dd	46 (60)	50	54	57	38	34	50.00
20.01	ไชยปราการ	A1	99.144830	19.628480	19	Db	32	29	36	26	40	44	2.00
20.02	เชียงดาว(เขาห้วยหินฝน)	A1	98.951143	19.250543	32	Dd	46	50	54	57	38	34	0.50
20.03	พร้าว	A2	99.197111	19.369972	30	Db	32	29	36	26	40	44	2.00
20.04	ฝั้น	A2	98.947841	17.801315	85	Db	26	44	32	36	40	29	2.00
20.05	ดอยคำ	A2	98.681750	17.953028	58	De	53	43	45	48	56	59	10.00
20.06	เวียงแหง	A2	98.725861	19.521639	30	Db	32	29	36	26	40	44	10.00
20.07	สถานีเสริม A3 #007	A3	98.364610	18.596330	70	Dd	46	50	54	57	38	34	0.50
20.08	สถานีเสริม A3 #111	A3	98.878759	18.934455	70	Dd	46	50	54	57	38	34	2.00
20.09	สถานีเสริม A3 #086	A3	98.637408	18.613626	70	Dd	46	50	54	57	38	34	10.00
20.10	สถานีเสริม A3 #058	A3	98.849604	19.715375	70	Db	32	29	36	26	40	44	0.10
20.11	สถานีเสริม A3 #057	A3	99.452483	19.981013	70	Da	47	31	35	28	39	51	1.00
21.00	แม่ฮ่องสอน (ดอยกองมู)	M	97.957950	19.297550	64	Dc	37	41	49	30	33	27	1.00
21.01	แม่ฮ่องสอน (ห้วยนางใจ)	A1	98.034777	19.106500	50	Dc	37	41	49	30	33	27	1.00
21.02	แม่สะเรียง	A1	97.944614	18.169806	82	Da	47	31	35	28	39	51	1.00
21.03	ป่าาย	A1	98.421248	19.385555	100	Dc	37	41	49	30	33	27	0.50
22.00	ลำปาง	M	99.560597	18.234928	80	Db	26	44	32	36	40	29	50.00
22.01	เถิน	A1	99.104840	17.664020	80	Db	26	44	32	36	40	29	5.00
22.02	วังเหนือ	A2	99.619450	19.144704	75	Dc	49	30	33	37	41	27	2.00
22.03	สถานีเสริม A3 #112	A3	99.768928	18.543496	70	De	45	48	59	56	43	53	10.00
22.04	สถานีเสริม A3 #113	A3	99.927687	18.788188	70	Db	26	44	32	36	40	29	0.50
23.00	เชียงใหม่	M	99.867041	19.813755	70	Dc	49	30	33	37	41	27	50.00
23.01	พะเยา(เมือง)	A1	99.880542	19.194063	100	Dc	49	30	33	37	41	27	0.50
23.02	พะเยา(บ้านไร่มาเดียว)	A1	99.911417	18.988389	120	Da	28	31	35	39	51	47	0.50
23.03	เชียงใหม่	A2	100.411051	20.246216	80	Dd	38	50	46	34	54	57	10.00
23.04	เวียงป่าเป้า	A2	99.508308	19.344348	95	Dc	49	30	33	37	41	27	10.00

ตารางที่ ก.6 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสถานี	ประเภท	ลองจิจูด	ละติจูด	ความสูง เสาอากาศ (เมตร)	กลุ่ม ความถี่	#1	#2	#3	#4	#5	#6	กำลังส่งออก จากเครื่อง (กิโลวัตต์)
23.05	แม่สรวง (ดอยม่อนป่าก้อย)	A2	99.466883	19.663794	97	Dc	49	30	33	37	41	27	1.00
23.06	สถานีเสริม A3 #059	A3	99.709690	20.288217	70	Da	47	31	35	28	39	51	1.00
23.07	สถานีเสริม A3 #115	A3	99.651270	19.464178	70	Dc	49	30	33	37	41	27	0.50
23.08	สถานีเสริม A3 #009	A3	100.402130	19.907417	70	Dd	38	50	46	34	54	57	2.00
23.09	สถานีเสริม A3 #008	A3	100.265720	20.217040	70	Dd	38	50	46	34	54	57	1.00
23.10	สถานีเสริม A3 #114	A3	100.292240	19.582662	70	Dd	38	50	46	34	54	57	0.50
23.11	สถานีเสริม A3 #004	A3	100.238690	19.100680	70	Da	28	31	35	39	51	47	0.50
24.00	น่าน	M	100.741150	18.742640	70	Da	28	31	35	39	51	47	50.00
24.01	เขียงกลาง(ดอยหินแก้ว)/ปัว	A1	100.822040	19.219755	22	Da	28	31	35	39	51	47	1.00
25.00	แพร่	M	100.001030	17.932690	64	De	45	48	59	56	43	53	30.00
25.01	วังจันทน์	A2	99.601694	17.909139	58	De	45	48	59	56	43	53	0.50
26.00	อุดรดิตต์	M	100.125433	17.619686	120	Dc	41	30	33	37 (52)	49	52	2.00
26.01	สถานีเสริม A3 #003	A3	100.777810	17.844210	70	De	45	48	59	56	43	53	0.50
27.00	สุโขทัย	M	100.010563	16.984763	156	Dc	41	30	33	37 (52)	49	27	50.00
27.01	กำแพงเพชร	A1	99.524040	16.517987	120	De	53	43	45	48	56	59	1.00
27.02	คลองลาน	A2	99.319228	16.204277	90	De	53	43	45	48	56	59	10.00
27.03	นครไทย (เขาหัวหินลาด)	A2	100.856456	16.873538	72	Db	40	44	29	32	36	26	10.00
27.04	สถานีเสริม A3 #001	A3	100.585538	16.984139	70	Dc	41	30	33	37	49	27	10.00
28.00	ตาก	M	98.927687	16.778691	80	Da	31	35	39	51	47	28	50.00
28.01	แม่สอด	A1	98.566522	16.732602	100	Da	31	35	39	51	47	28	5.00
28.02	พบพระ	A2	98.691930	16.392920	70	Da	31	35	39	51	47	28	0.50
28.03	สถานีเสริม A3 #042	A3	98.391390	17.139700	70	Db	32	29	36	26	40	44	0.50
29.00	นครสวรรค์	M	100.133580	15.716170	86	Dd	57	46	50	54	38	34	50.00
29.01	พิจิตร	A1	100.320572	16.448243	33	Dc	41	30	33	37	49	27	2.00
29.02	ลานสัก	A2	99.549740	15.460930	70	Dd	57	46	50	54	38	34	10.00
30.00	เพชรบูรณ์	M	101.071373	16.251014	154	Db	40	44	29	32	36	26	10.00
30.01	วิเชียรบุรี	A1	101.103522	15.656473	80	De	53	43	45	48	56	59	5.00
30.02	หนองไผ่	A2	101.232273	16.884594	70	Dd	46	50	57	54	38	34	0.50
30.03	สถานีเสริม A3 #018	A3	100.885630	16.668883	70	Db	40	44	29	32	36	26	20.00
30.04	สถานีเสริม A3 #094	A3	100.962687	16.270036	70	Db	40	44	29	32	36	26	0.50
31.00	ชุมพร	M	99.191480	10.530810	154	Da	51	47	31	35	39	28	50.00
31.01	หลังสวน	A1	99.064853	9.959558	120	Da	51	47	31	35	39	28	2.00
31.02	ท่าแซะ	A1	99.215555	10.835377	32	Da	51	47	31	35	39	28	0.50
31.03	สถานีเสริม A3 #116	A3	98.932153	10.238732	70	Da	51	47	31	35	39	28	0.50
32.00	ระนอง	M	98.669486	10.028664	123	Dc	49	30	37	41	33	27	15.00
32.01	สถานีเสริม A3 #041	A3	98.894538	10.482280	70	Da	51	47	31	35	39	28	10.00

ตารางที่ ก.7 ตารางแผนความถี่วิทยุและคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสถานี	ประเภท	Longitude	Latitude	ความสูง เสาอากาศ (เมตร)	กลุ่ม ความถี่	#1	#2	#3	#4	#5	#6	กำลังส่งออก อากาศสูงสุด (กิโลวัตต์)
33.00	สุราษฎร์ธานี	M	99.348530	9.092330	84	D <sub>b</sub>	26	36	40	44	32	29	50.00
33.01	เกาะสมุย	A1	99.988110	9.490660	60	D <sub>d</sub>	38	50	46	34	54	57	0.50
33.02	พนม (ทับศรีสต์)	A2	98.800205	8.835879	45	D <sub>d</sub>	38	50	46	34	54	57	10.00
33.03	สถานีเสริม A3 #036	A3	98.809130	9.665117	70	D <sub>c</sub>	49	30	37	41	33	27	0.50
33.04	สถานีเสริม A3 #095	A3	99.489974	8.695960	70	D <sub>b</sub>	26	36	40	44	32	29	10.00
33.05	สถานีเสริม A3 #117	A3	100.026494	9.532565	70	D <sub>d</sub>	38	50	46	34	54	57	0.10
34.00	ภูเก็ต	M	98.395300	7.898710	64	D <sub>a</sub>	35	39	51	47	31	28	25.00
34.01	ตะกั่วป่า	A1	98.350806	8.839694	60	D <sub>d</sub>	38	50	46	34	54	57	2.00
34.02	กระบี่	A1	98.906656	8.063000	100	D <sub>a</sub>	35	39	51	47	31	28	5.00
34.03	พังงา	A1	98.506540	8.434645	100	D <sub>a</sub>	35	39	51	47	31	28	2.00
34.04	ป่าตอง	A2	98.316287	7.880979	35	D <sub>a</sub>	35	39	51	47	31	28	0.50
34.05	ถลาง	A2	98.329306	8.033861	35	D <sub>a</sub>	35	39	51	47	31	28	2.00
34.06	ปลายพระยา	A2	98.863561	8.529853	87	D <sub>d</sub>	38	50	46	34	54	57	10.00
34.07	สถานีเสริม A3 #092	A3	98.363047	8.532641	70	D <sub>a</sub>	35	39	51	47	31	28	2.00
35.00	นครศรีธรรมราช	M	99.977210	8.366790	124	D <sub>c</sub>	30	33	37	41	49	27	30.00
35.01	ทุ่งสง (เขาคาว)	A1	99.489998	8.210180	63	D <sub>c</sub>	30	33	37	41	49	27	10.00
35.02	เขาคาคว่า	A2	99.825820	9.118560	70	D <sub>b</sub>	26	36	40	44	32	29	0.50
35.03	สถานีเสริม A3 #118	A3	99.801770	8.199539	70	D <sub>c</sub>	30	33	37	41	49	27	10.00
36.00	ศรีวิชัย	M	99.486511	7.656956	126	D <sub>c</sub>	43	59	48	53	56	45	40.00
37.00	สงขลา	M	100.519690	7.015170	66	D <sub>a</sub>	50	42	46	38 (54)	26	34	50.00
37.01	เทพา	A2	100.938000	6.739820	50	D <sub>b</sub>	32	48	36	44	28	40	10.00
37.02	นาทวี	A2	100.691846	6.741278	47	D <sub>a</sub>	50	42	46	38	26	34	10.00
38.00	สตูล	M	100.025600	6.635370	64	D <sub>a</sub>	50 (52)	42	46 (60)	38	26	52	30.00
38.01	สถานีเสริม A3 #074	A3	100.077530	6.973240	70	D <sub>a</sub>	50	42	46	38	26	34	10.00
39.00	ยะลา	M	101.387220	6.336110	84	D <sub>b</sub>	32	48	36	44	28	40	30.00
39.01	เบตง	A1	101.051735	5.771216	100	D <sub>b</sub>	32	48	36	44	28	40	1.00
39.02	สุโหงโหง	A1	101.283149	6.477219	80	D <sub>b</sub>	32	48	36	44	28	40	2.00
39.03	นราธิวาส	A1	101.801944	6.411111	100	D <sub>b</sub>	32	48	36	44	28	40	2.00
39.04	สถานีเสริม A3 #119	A3	101.924532	6.055026	70	D <sub>b</sub>	32	48	36	44	28	40	1.00
39.05	สถานีเสริม A3 #120	A3	101.511731	6.748860	70	D <sub>b</sub>	32	48	36	44	28	40	5.00

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ใช้ประกอบกราฟและตาราง

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ใช้ประกอบกราฟและตาราง

ตารางที่ ข.1 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 64-QAM, PP2

เวลา (sec)	Code Rate				
	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
1	13.3	14.4	15.5	16.8	17.2
2	13.2	14.3	15.5	16.7	17.2
3	13.2	14.2	15.5	16.7	17.2
4	13.2	14	15.5	16.2	17.3
5	13.3	14.1	15.8	16.6	17.3
6	13.2	14.2	16	16.7	17.3
7	13.4	14.3	16	16.8	17.1
8	13.6	14.2	15.6	16.9	17.3
9	13.3	14.4	15.8	17	17.1
10	13.2	14.3	15.8	16.8	17.2
11	13.4	14.4	15.6	16.9	17.3
12	13.1	14.4	15.9	17.1	17
13	13.2	14.3	16	16.8	17.3
14	13.3	14.2	15.9	16.9	17.1
15	13.4	14.3	16	16.8	17.2
16	13.4	14.4	15.9	17.1	17.3
17	13.2	14.3	15.9	17.1	17.1
18	13.2	14.2	15.9	17	17.1
19	13.2	14.6	15.8	17	17.2
20	13.3	14.4	15.8	16.7	17.4

ตารางที่ ข.2 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 64-QAM, PP3

เวลา (sec)	Code Rate				
	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
1	13.3	14	15.6	16.4	17.5
2	13.3	14.3	15.6	16.6	17.6
3	13.1	14.2	15.8	16.4	17.5
4	13.1	14	15.7	16.7	17.4
5	13.1	14	15.6	16.4	17
6	13.3	14	15.6	16.4	17.2
7	13.3	14.2	15.6	16.8	17.2
8	13.3	14.1	15.8	16.7	17.6
9	13.3	14.1	15.8	16.6	17.4
10	13.4	14.2	15.5	16.5	17.3
11	13.2	14	15.6	16.6	17.3
12	13.1	14.1	15.5	16.6	17.1
13	12.9	13.9	15.6	16.8	17.3
14	13.3	14	15.6	16.6	17.3
15	13.1	14.3	15.8	16.1	16.7
16	13.2	13.9	15.6	16.6	17.1
17	13.2	14.2	15.6	16.6	17.2
18	13.5	14	15.5	16.5	17.1
19	13.2	14	15.6	16.6	17.1
20	13.1	14.2	15.8	16.7	17.5

ตารางที่ ข.3 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 64-QAM, PP8

เวลา (sec)	Code Rate				
	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
1	12.3	13.4	14.9	16	16.7
2	12.5	13.6	14.8	16.2	16.7
3	12.4	13.6	14.7	16	16.8
4	12.4	13.4	15	16.1	16.6
5	12.5	13.6	15.1	16.2	16.9
6	12.4	13.3	14.9	16.1	16.7
7	12.3	13.4	14.9	16.1	16.7
8	12.3	13.4	14.8	16.1	16.7
9	12.3	13.4	15.1	16	16.7
10	12.4	13.4	15	16	16.7
11	12.5	13.3	15	15.8	16.8
12	12.3	13.1	15	16	16.8
13	12.3	13.4	14.8	16.4	16.7
14	12.4	13.5	14.8	16	16.8
15	12.5	13.4	14.9	16	16.7
16	12.5	13.3	14.9	15.9	16.8
17	12.4	13.4	15	15.8	17
18	12.4	13.6	15	15.6	16.7
19	12.3	13.4	15	15.6	16.7
20	12.5	13.6	15	15.8	17

ตารางที่ ข.4 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 256-QAM, PP2

เวลา (sec)	Code Rate				
	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
1	17.1	18.5	21	22.4	22.5
2	17.3	18.5	20.5	22.3	22.9
3	17.1	18.5	20.5	21.5	22.9
4	17.1	18.5	20.5	22	22.3
5	17.5	18.3	20.6	22.2	23
6	17.4	18.7	20.7	22.4	22.3
7	17.3	18.7	20.7	22	22.7
8	17	18.8	21	22.3	23
9	17.4	18.8	21	22	23
10	17	19	21	22.2	23.1
11	17.2	18.6	20.8	22	22.9
12	17.8	19	20.3	22	22.9
13	17.4	18.6	20.6	22	22.9
14	17.6	18.3	20.7	22.2	23.1
15	17.4	18.7	21.1	22.1	22.9
16	17.5	18.7	20.5	22.3	23
17	17.4	18.6	20.5	21.6	23.1
18	17.5	19	21.1	22.1	22.9
19	17.1	18.6	21	21.6	23
20	17.2	18.6	20.5	22.1	22.9

ตารางที่ ข.5 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 256-QAM, PP3

เวลา (sec)	Code Rate				
	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
1	17.3	18.5	20.7	22	23.1
2	17.2	18.3	21.2	21.9	22.9
3	17.5	18.3	21	21.9	23
4	17.5	18.3	21.2	21.7	23.4
5	17.7	18.4	20.6	21.3	23.1
6	17.7	18.6	20.5	21.9	23
7	17.4	18.5	21.1	22.2	23.2
8	17.5	18.4	20.8	22.1	22.3
9	17.6	18.6	21.2	21.7	22.9
10	17.4	18.5	21.1	22.3	22.9
11	17.7	18.6	21.2	22.3	23.3
12	17.9	18.8	21.1	22.2	23.4
13	17.7	18.5	21.2	22	23.2
14	17.5	19.1	21	22.4	22.4
15	17.4	18.8	21.1	22	23.1
16	17.7	18.8	20.8	22	23
17	17.7	18.4	21.1	22.2	23.3
18	17.6	18.5	20.6	22.2	23.1
19	17.6	18.8	21	22.2	23.3
20	17.8	19	20.7	21.6	23

ตารางที่ ข.6 ค่า MER ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยน Code Rate ที่ 256-QAM, PP8

เวลา (sec)	Code Rate				
	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
1	16.7	18.4	20.2	21.3	22.7
2	17.1	18.5	20.5	21.4	22.9
3	16.9	18.1	20.2	21.4	22.9
4	16.8	18.3	20.3	21.4	22.5
5	16.9	18	20.3	21.5	22.5
6	16.9	18.3	20.5	21.4	22.7
7	17	18.3	20.5	21.5	22.9
8	16.9	18.3	20.2	21.4	22.5
9	16.7	18.3	20.3	21.6	22.5
10	17	18.3	20.3	21.5	22.4
11	17	18.5	20.3	21.4	22.5
12	16.8	18.3	20.3	21.4	22.5
13	17	18.4	20.5	21.5	22.9
14	16.9	18.2	20.5	21.4	22.9
15	17.1	18.4	20.5	21.2	22.5
16	16.8	18.3	20.5	21.4	22.7
17	17.1	18.2	20.3	21.5	22.9
18	17	18.2	20.3	21.2	22.9
19	16.9	18.2	20.3	21.5	22.5
20	16.9	18.2	20.3	21.4	22.5