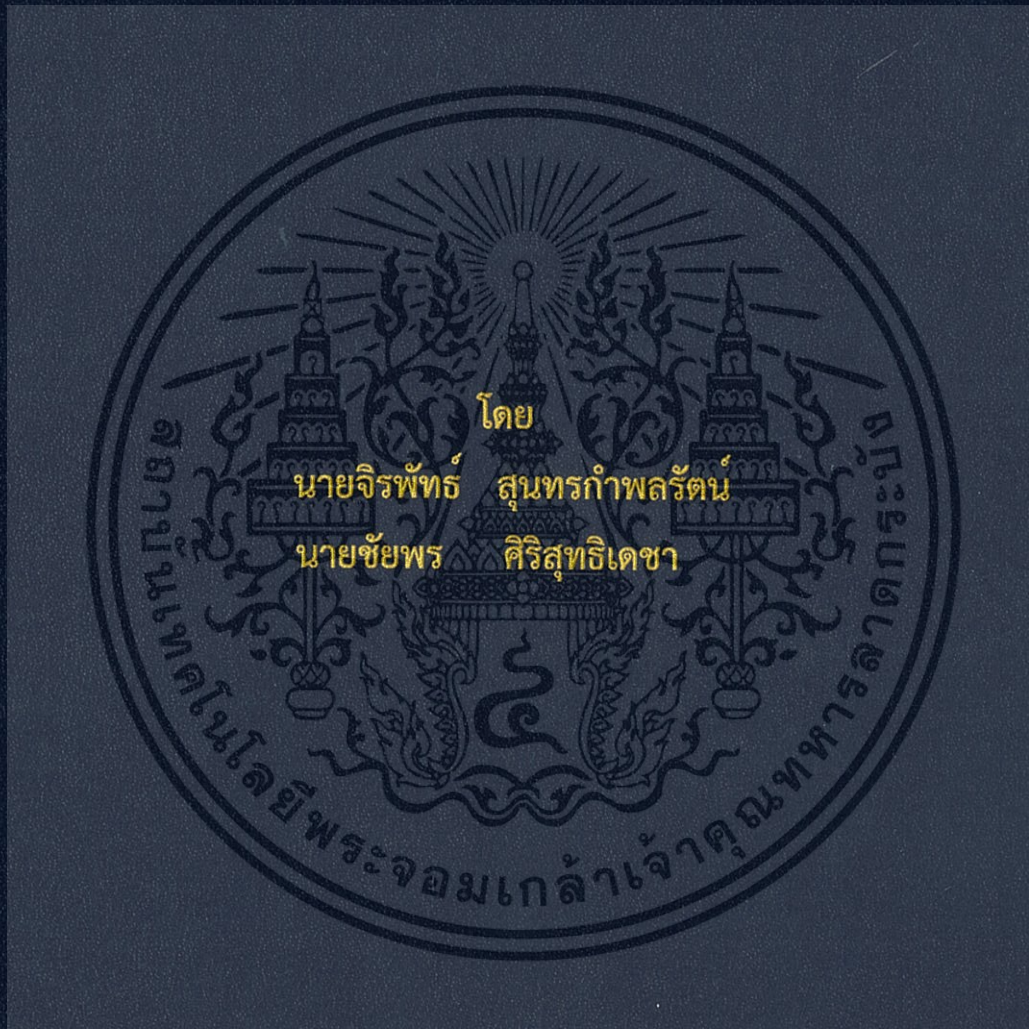


การศึกษา ออกแบบ และสร้างสายอากาศโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่ 2
STUDY ON DESIGN AND FABRICATION OF DVB-T2 ANTENN FOR
MEASUREMENT FIELD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษา ออกแบบ และสร้างสายอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่ 2
STUDY ON DESIGN AND FABRICATION OF DVB-T2 ANTENN FOR
MEASUREMENT FIELD



โดย

นาย จิรพัทธ์ สุนทรกำพลรัตน์ รหัส 55010166
นาย ชัยพร ศิริสุทธิเดชา รหัส 55010266

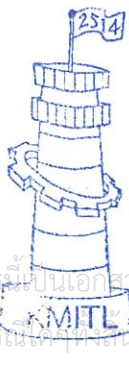
อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สถาพร พรหมวงศ์
ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 144418
วันเดือนปี 24 พ.ย. 2559

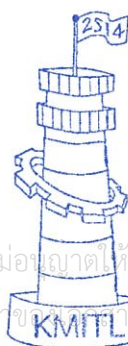
1281834X
.....
.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558



ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(Signature)
.....
อาจารย์ที่ปรึกษา
10/09/2559



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(Signature)
.....
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน
11/05/59

โครงการปีการศึกษา 2558

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษา ออกแบบ และสร้างสายอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่ 2
STUDY ON DESIGN AND FABRICATION OF DVB-T2 ANTENNA FOR
MEASUREMENT FIELD

ผู้จัดทำ

1. นาย จิรพัทธ์ สุนทรกำพลรัตน์ 55010166
2. นาย ชัยพร ศิริสุทธิเดชา 55010266


..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สถาพร พรหมวงศ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ ผศ.ดร. พิชญ์ สุพรรณกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ช่วยกรุณาให้คำแนะนำ แนวความคิด การแก้ไข ข้อผิดพลาดและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานพร้อมทั้งชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา และฝึกฝนให้มีความสามารถในการทำงานวิจัยได้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ในการช่วยคำแนะนำเกี่ยวกับ ทฤษฎีและเทคนิคในการทำโครงการ

ขอขอบคุณนายศรีญ์ ดวงสุวรรณ นายจิรพันธ์ สหกิจ รวมทั้ง พี่ในห้องปฏิบัติการ ของ ดร. สถาพร พรหมวงศ์และพี่ในห้องปฏิบัติการของรศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ตลอดจนพี่ทุกท่านซึ่งได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะ และ ความช่วยเหลือต่างๆจนกระทั่งโครงการสำเร็จไปได้ด้วยดี

และขอขอบคุณชุมชนมโหฬารและห้องปฏิบัติการของภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่เอื้อเอื้อสำหรับการใช้อุปกรณ์ และ เครื่องวัดในการทำการทดลองจนกระทั่งโครงการสำเร็จไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา และ มารดา ที่ให้การสนับสนุนในการทำโครงการฉบับนี้ และขอขอบคุณคุณอาจารย์ในภาควิชาทุกท่านด้านการศึกษาและให้กำลังใจด้วยดี

นาย จิรพัทธ์ สุนทรกำพลรัตน์

นาย ชัยพร ศิริสุทธิเดชา

ผู้จัดทำ

การศึกษา ออกแบบ และสร้างสายอากาศโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่ 2
Study on design and fabrication of DVB-T2 antenna for measurement field

โดย นาย จิรพัทธ์ สุนทรกำพลรัตน์ รหัส 55010166

นาย ชัยพร ศิริสุทธิเดช

รหัส 55010266

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สภาพร พรหมวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.พิชญ์ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยได้ประกาศใช้มาตรฐาน DVB-T2 สำหรับการแพร่ภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล ซึ่งสายอากาศเป็นส่วนที่สำคัญของระบบนี้ ดังนั้นปริญญาโทฉบับนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษา ออกแบบและสร้างสายอากาศโทรทัศน์ที่วีดิจิตอลยุคที่ 2 พร้อมทั้งวัดคุณลักษณะของสายอากาศ โดยประเมินผลจากค่า S11 ของสายอากาศ อินพุตอิมพีแดนซ์ และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น รวมทั้งนำสายอากาศนี้ไปใช้ทดสอบในการประยุกต์ใช้งานจริง

ABSTRACT

Nowadays, Digital video broadcasting – second generation terrestrial system (DVB-T2) is entered in Thailand, as the antenna is very important for dvb-t2 system. Then thesis study on design and fabrication of dvb-t2 antenna for measurement field. The characteristics of antenna such as S11, Input impedance and pattern radiation are evaluated. After that, this antenna is apply in real application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล	5
2.2 มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคสอง	6
2.3 ทฤษฎีสายอากาศไดโพลแบบลูปฟิรียอดิก	13
บทที่ 3	
การออกแบบและจัดทำปริญญานิพนธ์	30
3.1 การสร้างสายอากาศไดโพลแบบรายคาบลูป	30
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	38
3.3 แบบจำลองช่องสัญญาณ	42

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	ผลการทดลอง	48
	4.1 ผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ	48
	4.2 ผลการออกแบบจำลองช่องสัญญาณ	54
	4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	64
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	65
	5.1 สรุปผล	65
	5.2 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม		68
ภาคผนวก ก	มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล	70
ภาคผนวก ข	ตำแหน่งของการวัด	86

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การส่งสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิทัล	2
1.2 อุปกรณ์การรับสัญญาณโทรศัพท์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล	3
1.3 บล็อกไดอะแกรมขององค์ประกอบต่าง ๆ ของโครงการ	4
2.1 แผนที่โลกที่แสดงถึงประเทศที่ใช้มาตรฐานโทรศัพท์ระบบดิจิทัล	7
2.2 การใช้ OFDM มีความทนทานต่อช่องสัญญาณพหุวิถี	9
2.3 สเปกตรัมของสัญญาณ OFDM	9
2.4 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น โดยใช้การมอดูเลตสตรีมข้อมูลแบบ 64 QAM	11
2.5 สัญลักษณ์ของโทรศัพท์ดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง	11
2.6 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแบบลูปทรีหรือดิก	13
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ τ , α และ σ	14
2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	18
2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายกับความถี่และอัตราส่วนคลื่นนิ่งกับความถี่	18
2.10 การเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน	20
2.11 การจางหายสัญญาณจากสาเหตุหลายวิถี	25
3.1 กราฟค่าสภาพเจาะจงทิศทาง	30
3.2 รูปสายอากาศจากการจำลองโดยโปรแกรม Antenna Magus	35
3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลอง	35
3.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่	36
3.5 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่	37
3.6 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	38

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 ตัวปรับเทียบมี 3 ประเภทด้วยกัน OPEN, SHORT และ LOAD	39
3.8 สายนำสัญญาณ	39
3.9 สายอากาศรายคาบล็อก	40
3.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด	42
3.11 แผนที่แสดงตำแหน่งของการวัดทดลองช่องสัญญาณ DVB-T2	43
4.1 S11 ของคุณลักษณะของสายอากาศล็อกพิริออดิก	48
4.2 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการสร้าง	49
4.3 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่	50
4.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่	51
4.5 กำลังของสัญญาณที่ได้รับเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของ การโพลาริซ์แนวนอนที่ระยะความสูง 3 m	55
4.6 Multipath fading factor กรณีการโพลาริซ์แบบแนวนอนที่ระยะความสูง 3 m	56
4.7 กำลังของสัญญาณที่ได้รับเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของ การโพลาริซ์แนวนอนที่ระยะความสูง 5 m	57
4.8 Multipath fading factor กรณีการโพลาริซ์แบบแนวนอนที่ระยะความสูง 5 m	58
4.9 กำลังของสัญญาณที่ได้รับเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของ การโพลาริซ์แนวตั้งที่ระยะความสูง 3 m	60
4.10 Multipath fading factor กรณีการโพลาริซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 3 m	61
4.11 กำลังของสัญญาณที่ได้รับเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของ การโพลาริซ์แนวตั้งที่ระยะความสูง 5 m	62
4.12 Multipath fading factor กรณีการโพลาริซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 5 m	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบ	32
3.2 ค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบ	34
3.3 ค่ากำลังของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แนวนอน)	44
3.4 ค่ากำลังของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แนวตั้ง)	45
4.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ	53
4.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในหน่วย dBm (โพลาริซ์แนวนอน)	54
4.3 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในหน่วย dBm (โพลาริซ์แนวตั้ง)	59
5.1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูล	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

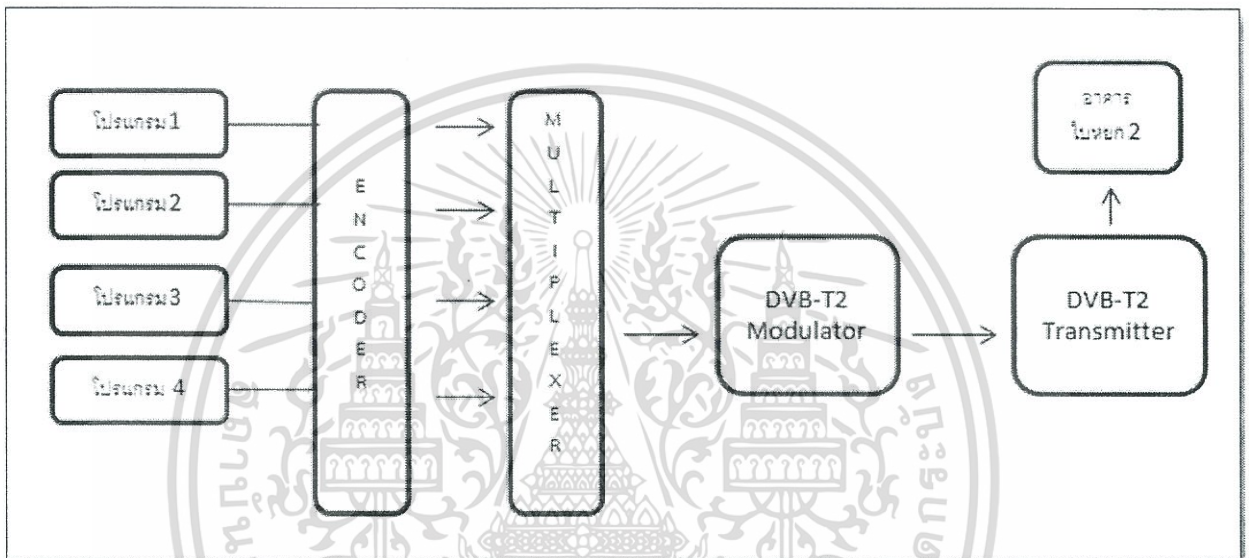
ระบบการส่งสัญญาณทีวีดิจิทัล คือการส่งผ่านของเสียงและวิดีโอโดยสัญญาณดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งความคมชัดของภาพและเสียง การส่งข้อมูลแบบนี้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบอนาล็อกในหนึ่งช่องสัญญาณ จึงเรียกได้อีกชื่อว่า Multicasting การส่งสัญญาณเป็นแบบดิจิทัลจึงทำให้ได้คุณภาพของภาพและเสียงดีกว่า ระบบการรับส่งสัญญาณภาพและเสียงที่มีข้อมูลที่มีการเข้ารหัสเป็นดิจิทัล ที่มีค่า “0” กับ “1” เท่านั้น โดยมีกระบวนการต่างๆ ที่จะทำการแปลงสัญญาณภาพและเสียงให้เป็นดิจิทัล มีการบีบอัดข้อมูล มีการเข้ารหัสข้อมูล ก่อนที่จะทำการมอดูเลตข้อมูลดิจิทัลเหล่านี้เพื่อส่งผ่านตัวกลางไปสู่ผู้รับปลายทาง ซึ่งคณะกรรมการสหภาพโทรคมนาคมสากล (ITU) กำหนดมาตรฐานดังนี้

1. ระบบแพร่ภาพดิจิทัลผ่านดาวเทียม (DVB-S The digital video broadcasting satellite-system)
2. ระบบแพร่ภาพดิจิทัลผ่านสายเคเบิล (DVB-C The digital cable delivery system)
3. ระบบแพร่ภาพดิจิทัลภาคพื้นดิน (DVB-T The digital terrestrial television system)

DVB-T2 เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่ใช้ทำงานอยู่ในขณะนี้การผสมสัญญาณ (Modulation) ระบบใหม่คือ OFDM (Orthogonal frequency division multiplex) โดยจะแบ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นความถี่ย่อยจำนวนมาก เพื่อให้การส่งสัญญาณมีความมั่นคง เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้งานในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพและเสียงและการบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (Portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (Mobile) การใช้เทคนิคใหม่นี้ทำให้ DVB-T2 มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า 50% ของประสิทธิภาพการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

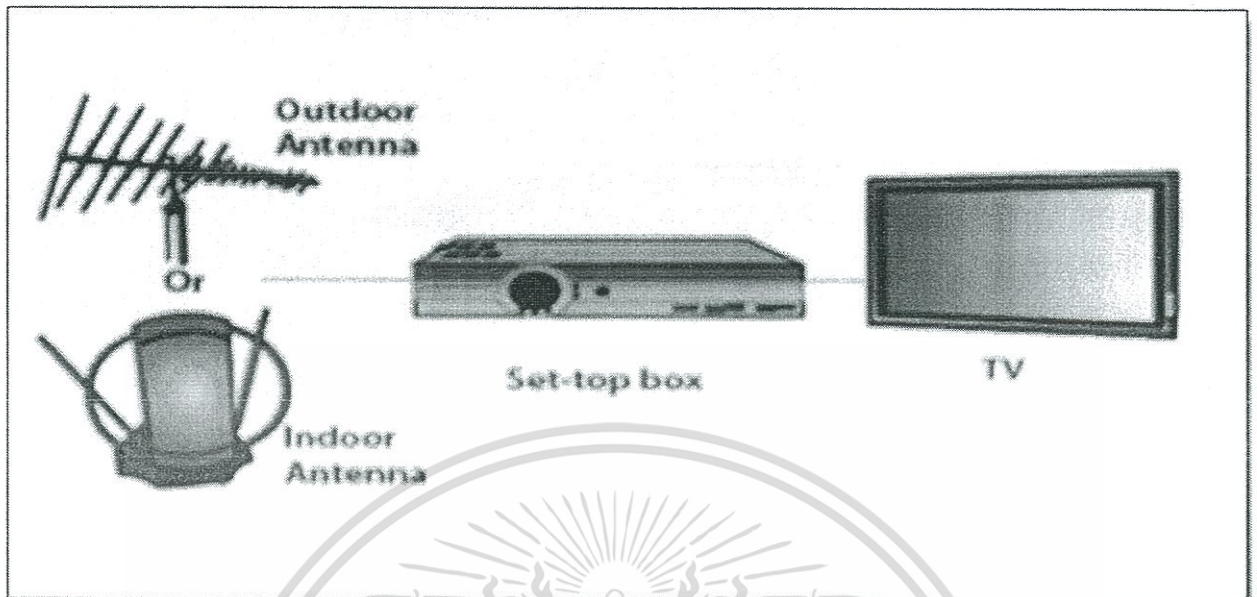
ระบบดิจิทัลอื่นๆที่ใช้งานในโลก ดังรูปที่ 1.1 แสดงการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล โดยระบบการส่งสัญญาณที่วีดิทัศน์นั้น สามารถใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณได้มากขึ้น เช่น เดิม 1 ช่องใช้ได้ 1 รายการ เมื่อหันมาใช้ระบบดิจิทัล จะมีการบีบอัดสัญญาณ (Digital compression) และการเข้ารหัสสัญญาณ(Encoder) ก็จะทำให้ส่งได้ถึง 4-6 รายการทางภาคพื้นดิน และ 8-10 รายการทางดาวเทียม



รูปที่ 1.1 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล[12]

สายอากาศไดโพลแบบล็อกพีริออดิก (Log-periodic dipole) เป็นสายอากาศที่จัดอยู่ในสายอากาศประเภทสายอากาศความถี่กว้าง (Broadband antenna) คุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้มีช่วงการตอบสนองความถี่กว้างอีกทั้งมีอัตราขยายสูง จึงเป็นสายอากาศที่เหมาะสมที่จะใช้กับโทรทัศน์ระบบดิจิทัลสายอากาศไดโพลแบบล็อกพีริออดิกนำมาใช้งานกับโทรทัศน์แบบดิจิทัลซึ่งระบบนี้มีย่านความถี่เอชเอฟ โดยจะมีความถี่อยู่ในช่วง 300 ถึงความถี่ 3000 MHz โดยปัจจุบันประเทศไทยออกอากาศ 2 คลื่นความถี่คือ 594 MHz และ 626 MHz ซึ่งคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้ประกาศให้มีการกำหนดความถี่ โดยเป็นแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการภาคพื้นดินในระบบอนาล็อกเดิม กำหนดความถี่วิทยุ 510 ถึง 790 MHz เพื่อนำมาใช้ในพื้นที่ที่มีการรับส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 อุปกรณ์การรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล[12]

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (DVB-T2)
- 2) ศึกษาคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
- 3) ออกแบบและสร้างสายอากาศเพื่อรับสัญญาณที่ใช้ในการศึกษาทดลองวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (DVB-T2)
- 4) ศึกษาวิเคราะห์และประเมินผลสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลในพื้นที่

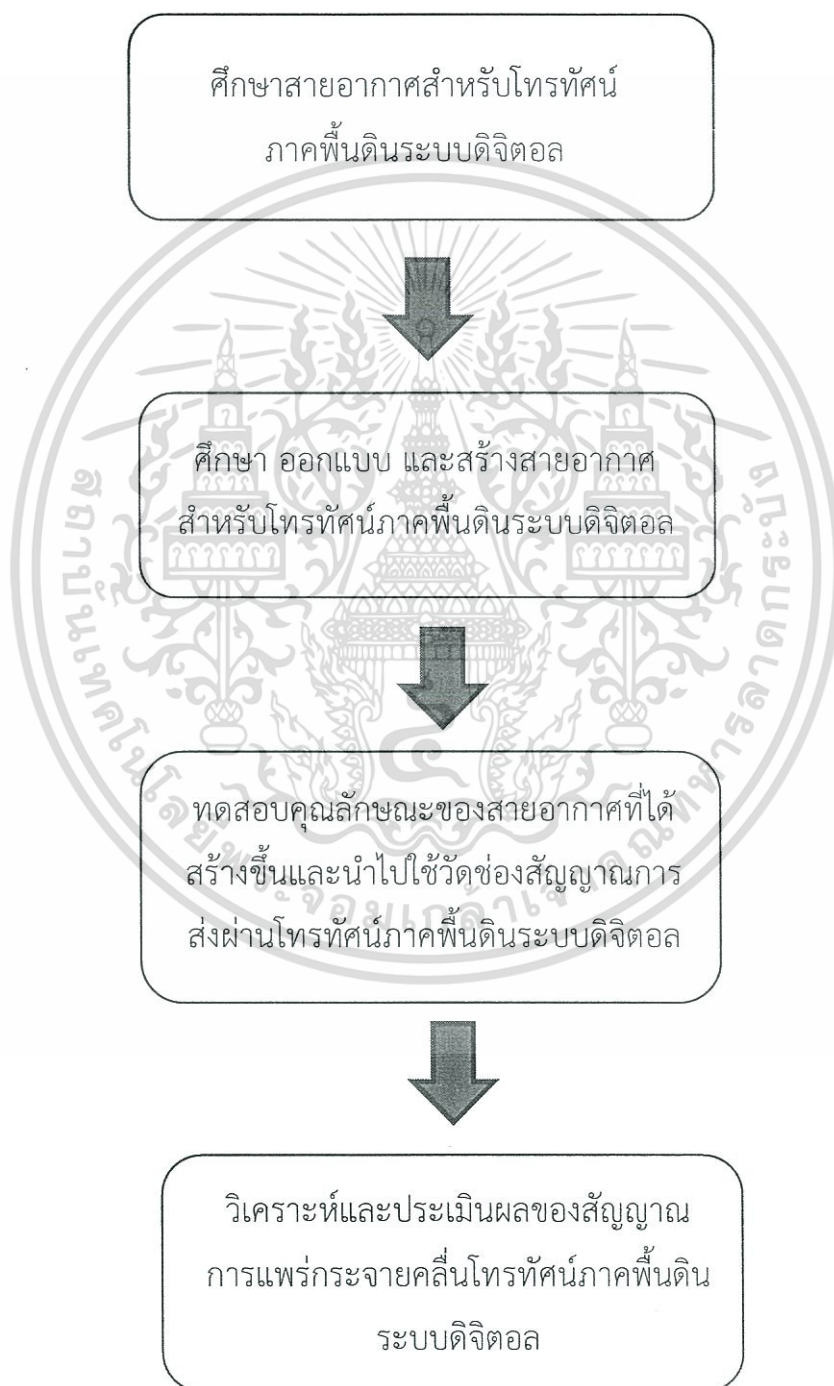
กรุงเทพมหานคร

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ศึกษาการสื่อสารภาคส่งผ่านของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลดังแสดงในรูปที่ 1.3
- 2) ศึกษาการส่งผ่านสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล
- 3) ออกแบบและสร้างสายอากาศเพื่อรับสัญญาณที่ใช้ในการทดลองวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล
- 4) ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ทำการออกแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล
- 6) ทำการวิเคราะห์และประเมินผลสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมขององค์ประกอบต่าง ๆ ของโครงการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

โทรทัศน์ดิจิทัล (Digital television หรือ DTV) คือระบบการแพร่สัญญาณ ภาพเคลื่อนไหวและสัญญาณเสียงไปสู่เครื่องรับโทรทัศน์ด้วยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งแตกต่างกับการใช้สัญญาณแอนะล็อกในระบบโทรทัศน์แอนะล็อก โดยทั่วไปโทรทัศน์ระบบดิจิทัลใช้สัญญาณดิจิทัลที่ถูกบีบอัดและเข้ารหัส MPEG-2 การรับชมจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ถอดรหัส ซึ่งอาจมีมาพร้อมกับตัวเครื่องรับโทรทัศน์เลยหากเป็นโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อรองรับระบบดิจิทัล หรือจะเป็นอุปกรณ์ถอดรหัสที่แยกอยู่โดดๆ ในอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณที่เรียกว่า STB (Set Top Box) ซึ่งใช้ในการถอดรหัสสัญญาณและป้อนให้กับเครื่องรับโทรทัศน์แอนะล็อกที่มีใช้งานทั่วไป หากเป็นการรับชมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ก็จะมีการ์ดรับสัญญาณที่สามารถถอดรหัสได้ ในระบบโทรทัศน์ดิจิทัล สัญญาณภาพและเสียงที่รับได้มีคุณภาพสูงกว่าระบบโทรทัศน์แอนะล็อก เนื่องจากเทคโนโลยีดิจิทัลมีขีดความสามารถในการขจัดปัญหาของสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าแอนะล็อก ภาพเสียงชัดเจนไม่มีภาพเงา การเปลี่ยนแปลงไปสู่ยุคโทรทัศน์ระบบดิจิทัลนับว่าเป็นการปฏิวัติวงการโทรทัศน์ยิ่งกว่าตอนเปลี่ยนจากโทรทัศน์ขาว-ดำไปเป็นโทรทัศน์สี ก่อให้เกิดธุรกิจและโอกาสใหม่ๆ ในวงการวิทยุกระจายเสียงและแพร่ภาพโทรทัศน์ รวมถึงผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ โทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีทั้งการให้บริการผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม ผ่านเคเบิล ผ่านบรอดแบนด์ และผ่านสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน

การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (Digital Terrestrial Television Broadcasting: DTTB) ใช้วิธีการบีบอัดและเข้ารหัสข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 เช่นเดียวกับมาตรฐาน Digital Video Broadcasting Satellite System (DVB-S) และ Digital Cable Eleliverly System (DVB-C) ระบบ Digital Terrestrial Television (DTTB) ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแทนที่ระบบโทรทัศน์แอนะล็อก โดยระบบใหม่นี้มีข้อดีคือมีจำนวนช่องรายการมากกว่าและมีคุณภาพของภาพและเสียงที่ดีกว่าโทรทัศน์แอนะล็อก สำหรับการรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถกระทำได้โดยใช้สายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์แบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งจะประหยัดกว่าการใช้งานรับสัญญาณดาวเทียมหรือการสมัครเป็นสมาชิกเคเบิลทีวี ปัจจุบันระบบ DTTB ในโลกนี้มีอยู่ 4 มาตรฐาน ได้แก่

- 1) American Advance Television System (ATSC) ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2) Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T) ถูกพัฒนาขึ้นมาในทวีปยุโรป
- 3) Integrated Service Digital Broadcasting- Terrestrial (ISDB-T) ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศญี่ปุ่น
- 4) Digital Terrestrial Multimedia Broadcast (DTMB) ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศจีน ซึ่งประเทศไทย กสทช. ได้ประกาศว่าให้ใช้ระบบ DVB-T2 ที่เป็นการปรับปรุงระบบ DVB-T เดิมให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น โดยกำหนดความถี่ออกอากาศอยู่ในช่วง UHF Band

2.2 มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง

มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง : Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) เป็นมาตรฐานของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินที่ประเทศไทยเลือกมาให้แทนระบบ PAL ซึ่งเดิมเป็นระบบแอนะล็อกซึ่งใช้มานานกว่า 40 ปี ในช่วงความถี่เดิมโทรทัศน์ระบบดิจิทัลจะสามารถส่งได้จำนวนช่องที่มากกว่าเดิม ทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และรองรับช่องความคมชัดสูง (High Definition: HD)

โทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง เป็นมาตรฐานการส่งระบบดิจิทัลที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุด ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดในขณะนี้ สัญญาณมีความคงทน และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ได้นำเสนอการผสมสัญญาณ (Modulation) ระบบใหม่สุด และเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้งานในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพ และเสียง และการบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (Portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (Mobile) นับว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า 50% ของระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลอื่นๆ ทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนที่โลกที่แสดงถึงประเทศที่ใช้มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอล[11]

2.2.1 ความเป็นมาของเทคโนโลยีโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล

โทรทัศน์ระบบดิจิตอลถูกพัฒนาขึ้นในทวีปยุโรป ในปี ค.ศ. 1998 เพื่อทดแทนระบบ PAL & SECAM 625 เส้น 50 Hz โดยองค์การ Digital Video Broadcasting Project (DVB) ซึ่งเป็นความร่วมมือกันระหว่าง สถานีวิทยุโทรทัศน์ และบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมวิทยุโทรทัศน์ โดยการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินถูกออกแบบเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่เขตบริการได้ดีทั้งในบริเวณที่ไม่มีคลื่นวิทยุรบกวน และในบริเวณที่มีคลื่นวิทยุรบกวน โดยเครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ดีไม่ว่าเครื่องรับสัญญาณจะอยู่กับที่หรือกำลังเคลื่อนที่อยู่ก็ตาม หากรับสัญญาณในเขตบริการที่ไม่มีคลื่นรบกวนจะสามารถรับสัญญาณได้ดีแม้ขณะเคลื่อนที่ ระบบถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากคลื่นวิทยุที่สะท้อนจากภูเขา อาคาร หรือสิ่งก่อสร้าง และสามารถรับสัญญาณเดียวกันที่ส่งออกมาจากสถานีส่งหลายๆ สถานีพร้อมกันได้ ซึ่งโครงข่ายแบบนี้เรียกว่า โครงข่ายความถี่เดียว (SFN หรือ Single Frequency Network) นอกจากนี้โทรทัศน์ระบบดิจิตอลยังสามารถใช้แถบคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สัญญาณภาพและเสียงของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลถูกบีบอัดแบบ MPEG-2 และการมอดูเลตสัญญาณนั้นจะใช้แบบ COFDM (Code Orthogonal Frequency Division Multiplex)ซึ่งใช้คลื่นพาห้พหุคูณจำนวน 2,000 และ 8,000 คลื่น แต่ละคลื่นจะมีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

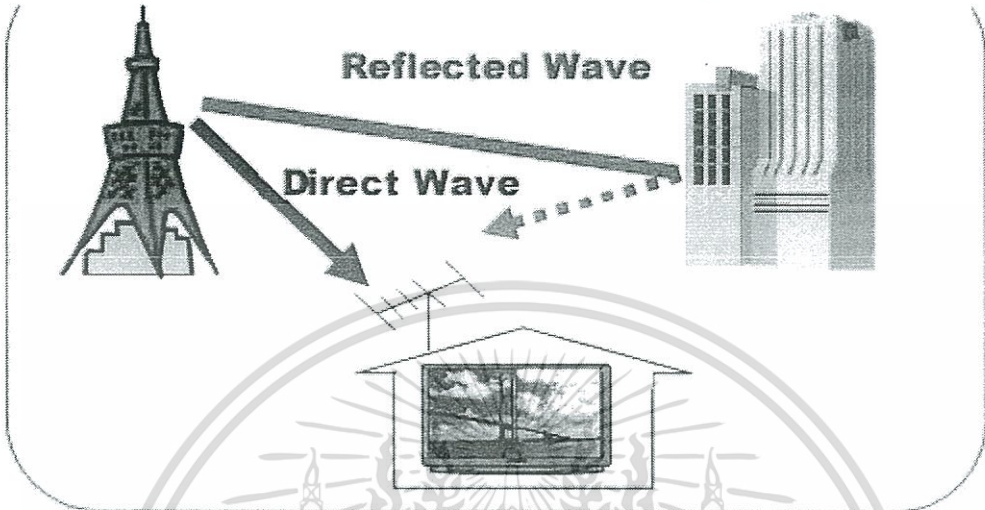
ข้อมูลไม่มากนัก จึงมีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากคลื่นวิทยุแบบพหุวิถี (Multipath) ได้ดี

2.2.1.1 (Orthogonal frequency-division multiplexing) OFDM

หลักการทางานของ OFDM จะคล้ายกับ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplex หรือ FDM) นั่นคือทั้ง OFDM และ FDM เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณหลาย ๆ สัญญาณหรือการแบ่งช่องสัญญาณด้วยความถี่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ FDM เป็นเพียงการแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณนั้นไม่มีการรบกวนกัน แต่การที่จะทำให้อะไรแต่ละช่องสัญญาณไม่มารบกวนกันนั้นจำเป็นที่จะต้องมียุ่บช่องว่าง (Guard band) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ระหว่างช่องสัญญาณแต่ละช่อง โดยที่เราไม่สามารถใช้งานช่วงความถี่นี้ได้ จึงกลายเป็นความสูญเสียเปล่า

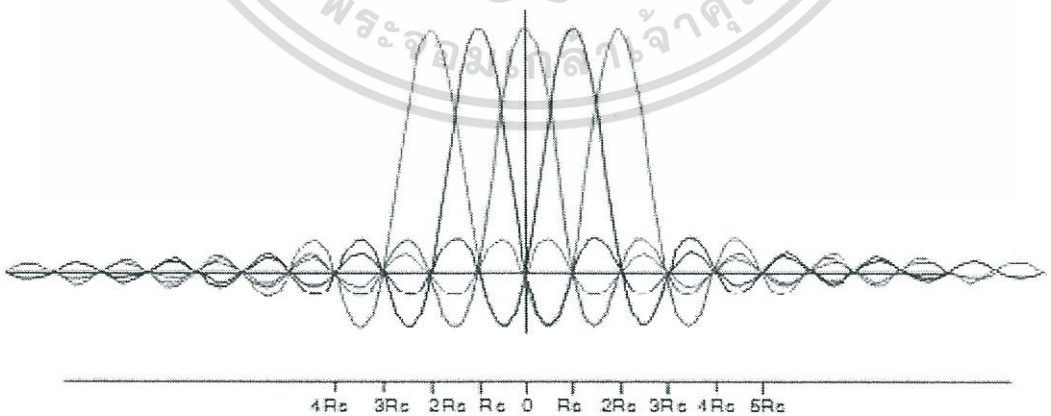
ดังนั้นเพื่อให้การทำมัลติเพล็กซ์ในเชิงความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงมีการเสนอแนวคิดเพื่อที่จะลดช่วงของยู่บช่องว่าง โดยแนวคิดหนึ่งที่น่าสนใจคือการทำให้แต่ละช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกันและไม่สามารถที่จะส่งผลกระทบต่อกันและกันได้ ซึ่งการทำให้อะไรแต่ละช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกันสามารถทำได้โดยให้แต่ละสัญญาณตั้งฉาก (Orthogonal) ต่อกัน เมื่อสัญญาณสองสัญญาณตั้งฉากต่อกัน ค่าผลคูณของเวกเตอร์ของสัญญาณทางคณิตศาสตร์ก็จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือเป็นอิสระต่อกัน โดยทั่วไปแล้วการใช้งาน OFDM ซึ่งเป็นลักษณะของ การสื่อสารหลายคลื่นพาห์ (Multi-carrier Communication) สามารถช่วยในเรื่องของสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดี โดยจะทำการกระจายสัญญาณออกเป็นหลายๆ ส่วนและส่งเข้าไปในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศอีกทีหนึ่ง

① Robustness to Radio Interference by Multi Path.
Because of OFDM system is adopted .



รูปที่ 2.2 การใช้ OFDM มีความทนทานต่อช่องสัญญาณพหุวิถี[5]

เนื่องจากวิธีการส่งสัญญาณของโทรศัพท์ระบบดิจิทัลนั้นสามารถเลือกตัวแปรได้หลายมิติ จึงสามารถเลือกส่งอัตราบิต (Bit rate) ของการส่งได้ตั้งแต่ 4-32 Mbit/s ในย่านความถี่ VHF และ UHF ของแต่ละประเทศ การเลือกอัตราบิตสูงจะทำให้จำนวนช่องรายการมากจริง แต่จะจำกัดขอบเขตของพิธีการให้บริการ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้าน C/N ความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุแบบพหุวิถี (Multipath) และการรับด้วยเครื่องรับแบบพกพาหรือการรับในยานพาหนะขณะเคลื่อนที่



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณ OFDM[5]

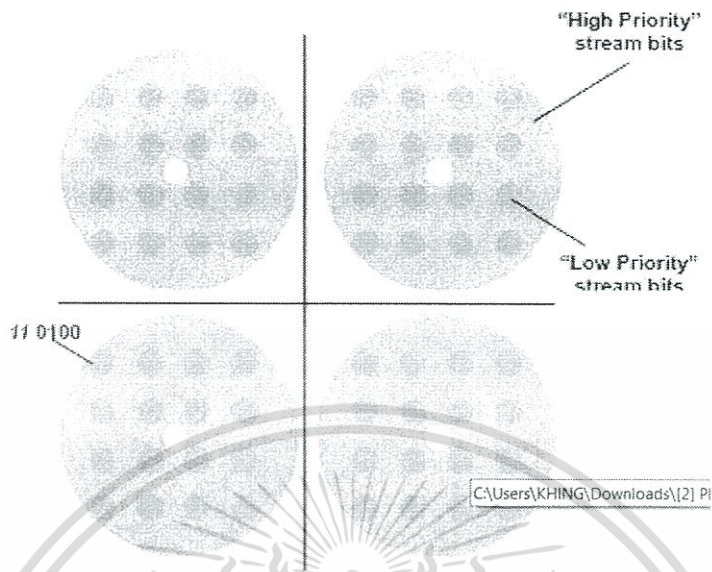
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยคุณสมบัติทางเทคนิคของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่สามารถเลือกตัวแปรต่างๆ ได้ ระบบจึงมีความยืดหยุ่นมากกว่า 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

2.2.1.2 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น (Hierarchical Modulation)

สำหรับการมอดูเลตแบบลำดับชั้นนั้น สตรีมของข้อมูลที่แตกต่างกัน 2 ประเภทจะถูกมอดูเลตเหลือเพียงสตรีมเดียว โดยสตรีมประเภทแรกที่นำมามอดูเลตเรียกว่า สตรีมที่มีลำดับความสำคัญสูง (High Priority หรือ HP) ซึ่งสตรีมประเภทนี้จะถูกฝังลงในสตรีมที่มีลำดับความสำคัญต่ำ (Low Priority หรือ LP) สำหรับเครื่องรับที่รับสัญญาณได้ดีจะรับสตรีมข้อมูลได้ทั้งสองประเภท ในขณะที่เครื่องรับที่รับสัญญาณได้ไม่ดีจะรับได้เพียงสตรีมข้อมูลที่มีลำดับความสำคัญสูง โดยทั่วไปผู้บริการแพร่ภาพโทรทัศน์จะกำหนดให้สตรีมที่มีลำดับความสำคัญต่ำส่งข้อมูลที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง และเหมาะสำหรับเครื่องรับที่อยู่กับที่ อย่างเช่น สัญญาณ High Definition Television (HDTV) โทรทัศน์ระบบดิจิตอลเป็นระบบที่ใช้คลื่นพาห้หลายคลื่น โดยใช้คลื่นพาห้จำนวน 2,000 หรือ 8,000 คลื่น และแต่ละคลื่นใช้วิธีการผสมสัญญาณแบบ QPSK, 16QAM หรือ 64QAM ยกตัวอย่างการทำงานได้ดังนี้ กำหนดให้ระบบทำการผสมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณคลื่นพาห้แบบ 64QAM และมีการฝังสัญญาณข้อมูลที่ถูกมอดูเลตแบบ QPSK ลงไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การมอดูเลตแบบลำดับชั้นโดยใช้การมอดูเลตสตรีมข้อมูลแบบ 64 QAM[5]

2.2.2 มาตรฐานของการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง

การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) เป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจากมาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลยุคแรก (DVB-T) โดยนำเทคนิคการมอดูเลตและการเข้ารหัสแบบใหม่มาใช้เพื่อให้การใช้สเปกตรัมในการส่งสัญญาณประเภทเสียง วิดีโอและข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับหลักการทางานนั้น 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 และสัญลักษณ์ของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลเป็นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ของโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคุณสมบัติที่สำคัญของเทคโนโลยีใหม่ DVB-T2 คือ

(1) Multiple Physical Layer Pipe ให้มีการแยกปรับโหมดเกี่ยวกับการกำหนดค่าความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ ในการที่จะรองรับการให้บริการส่งโทรทัศน์ในรูปแบบต่างสภาพการใช้งาน ตัวอย่าง เช่น การรับสัญญาณโทรทัศน์ภายในอาคาร หรือการรับสัญญาณโทรทัศน์จากสายอากาศที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารที่พักอาศัย อีกทั้งช่วยให้การส่งสัญญาณโทรทัศน์ โดยเฉพาะเครื่องรับโทรทัศน์ช่วยประหยัดพลังงานในการถอดรหัสสัญญาณเฉพาะการส่งสัญญาณโทรทัศน์รายการเดียวเมื่อเทียบกับการถอดรหัสการให้บริการส่งสัญญาณหลายรายการรวมกัน (Multiplex)

(2) Alamouti coding วิธีการหลากหลายในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ จะช่วยปรับปรุงเขตบริการรับสัญญาณโทรทัศน์ ในเครือข่ายการส่งโทรทัศน์ความถี่เดียวกัน ในขนาดพื้นที่บริการขนาดเล็ก

(3) Rotated Constellations ให้การเพิ่มความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ในการส่งการระดับต่ำ

(4) Extended interval ขยายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลสัญญาณในการเพิ่มข้อมูล (bit) เพิ่มขนาดกลุ่มข้อมูล (cell) เพิ่มช่องคาบเวลา และเพิ่มช่วงการใช้คลื่นความถี่

(5) Future Extension Frame (FEF) ให้มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่สอดคล้องการปรับคุณภาพสูงขึ้นในอนาคต

2.2.2.1 การเข้ารหัสข้อมูล

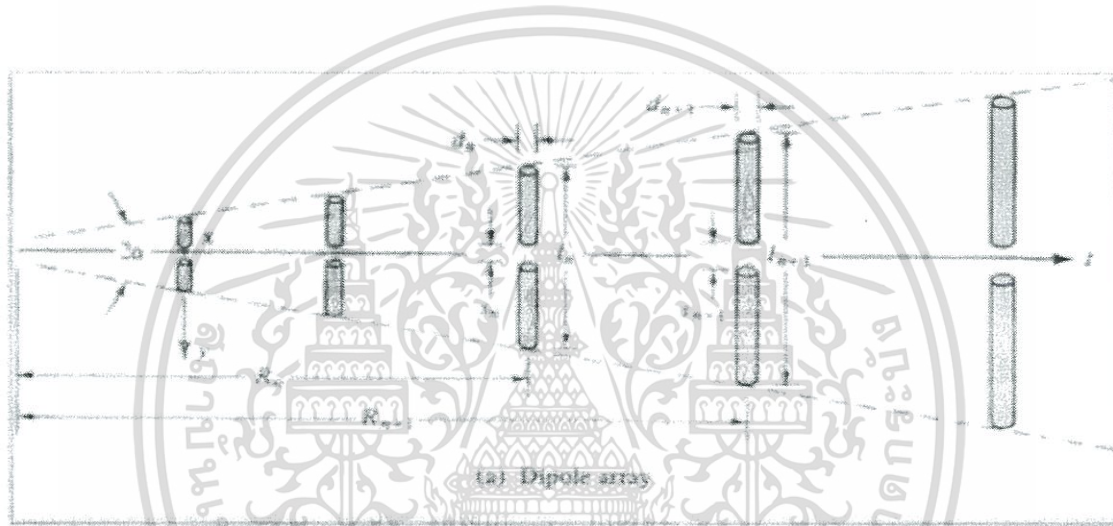
ในระบบ Conditional Access (DVB-CA) จะมีการกำหนดขั้นตอนวิธีเพื่อการเข้ารหัสข้อมูลพื้นฐาน Common Scrambling Algorithm (DVB-CSA) และ Common Interface (DVB-CI) เพื่อสำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้ถูกเข้ารหัส (scrambled content) โดยผู้ให้บริการ DVB นั้นจะต้องพัฒนาระบบ Conditional Access นี้ภายใต้ข้อจำกัดตามที่ทาง DVB กำหนดมา ในข้อมูลที่ส่งมาจากทางผู้ให้บริการนั้น จะประกอบไปด้วยข้อมูลพื้นฐาน (Metadata) ที่เรียกว่า Service Information (DVB-SI) ที่จะเป็นตัวบอกรายละเอียดเบื้องต้นให้กับโปรแกรมที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ส่งมา ข้อมูลใน SI นี้เองที่บอกถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลต่าง ๆ ที่อยู่ใน MPEG Stream เพื่อนำข้อมูลไปใช้สร้างเนื้อหาที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้อีกด้วย เช่น Electronic program guide (EPG) ออกอากาศ มีกำหนดขนาดช่วงคาบเวลา (Guard interval size) ในการกำหนดสัญญาณนำร่อง (Pilot signal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในขณะนี้ DVB กำลังอยู่ในช่วงพัฒนาเรื่องการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์โดยการหาทางป้องกันไม่ให้ ข้อมูลหรือสื่อที่ผู้ใช้ได้ทำการอัดลงใน Set-top box ไม่ให้สามารถนำไปเผยแพร่บน internet ได้ แต่สามารถที่จะให้ใช้ในบ้านหรือใน เครือข่ายที่เป็นส่วนตัวได้เท่านั้น ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า DVB-CPCM

2.3 ทฤษฎีสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก

2.3.1 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก



รูปที่ 2.6 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก[3]

จากรูปที่ 2.6 เป็นโครงสร้างของสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้จาก

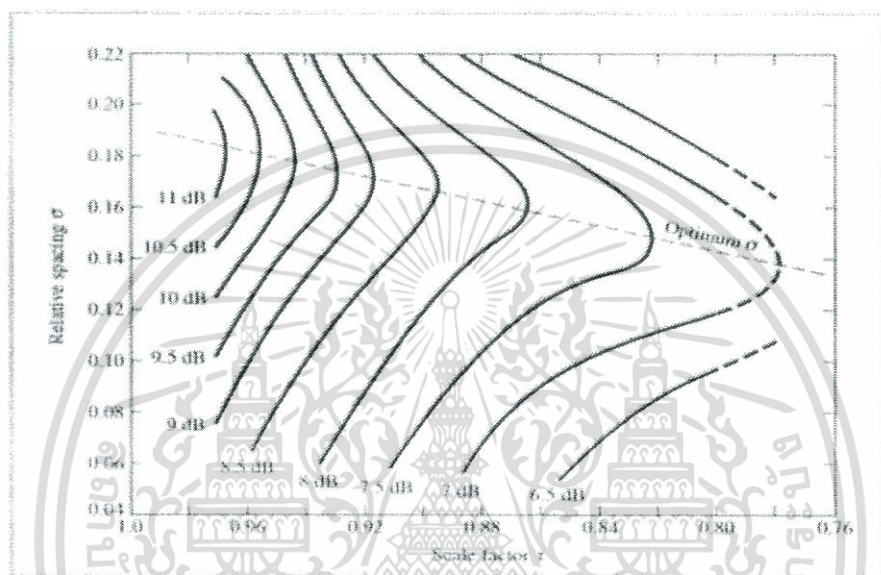
$$\frac{1}{\tau} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{s_2}{s_1} = \frac{s_{n+1}}{s_n} \quad (2.1)$$

เนื่องจากสายอากาศล็อกพิริออดิกเป็นสายอากาศที่สามารถกำหนดช่วงความถี่ได้ตามต้องการรวมทั้งสามารถกำหนดอัตราขยายและอินพุตอิมพีแดนซ์ได้ ในการออกแบบสายอากาศดังกล่าวจะต้องพิจารณาจากตัวแปร τ , α และ σ ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1-\tau}{4\sigma}\right) \quad (2.2)$$

โดยที่กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ τ , α และ σ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ τ , α และ σ [3]

2.3.2 หลักการทำงานสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก

จากความสัมพันธ์ของสมการจะเห็นว่าเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบที่สั้นที่สุดจะได้ความยาวของแต่ละองค์ประกอบและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบจะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนคงที่เมื่อค่า k เพิ่มขึ้นลักษณะการป้อนสัญญาณเข้าสายอากาศ เป็นการทำให้กระแสที่ไหลในองค์ประกอบที่ติดกันมีเฟสตรงข้ามกัน จึงทำให้ระบบทั้งหมดเกิดความสมดุล โดยการป้อนสัญญาณจะป้อนเข้าด้านที่มีองค์ประกอบสั้นที่สุด เมื่อมีพลังงานที่ความถี่หนึ่งๆ เคลื่อนที่ไปตามสายนำสัญญาณ จนกระทั่งถึงส่วนที่ความยาวขององค์ประกอบและเฟสมีความสัมพันธ์กัน ทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นขึ้น ซึ่งบริเวณที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นนี้เรียกว่า Active region โดยความถี่หนึ่งๆ Active region จะเกิดขึ้นบริเวณใดบริเวณหนึ่งถ้าที่ความถี่ต่างๆ Active region จะเกิดด้านที่องค์ประกอบยาว เมื่อความถี่ใช้งานสูงขึ้น Active region ก็จะเลื่อนมาทางด้านองค์ประกอบที่สั้นกว่าจนถึงองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สั้นที่สุด คือที่ความถี่ใช้งานสูงสุดและเหนือ Active region ขึ้นไปจะมีการแพร่กระจายคลื่นที่น้อยมากเมื่อเทียบกับบริเวณ Active region คลื่นที่แพร่กระจายจาก Active region จะมีทิศทางชี้ไปทางด้านที่มีองค์ประกอบสั้นเสมอ หรืออาจกล่าวได้ว่าบีม (Beam) จะมีทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นไปทางองค์ประกอบที่มีความยาวน้อยกว่า

$\lambda / 2$ ที่ความถี่ใช้งานหนึ่งๆ จึงจัดได้ว่าสายอากาศแบบลอคเพอริออดิกเป็นสายอากาศแบบเอ็นไฟร์ (Endfire- antenna) คือสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นย้อนกลับไปทางด้านที่มีการป้อนสัญญาณเข้ามา

2.3.3 สมการที่ใช้ในการออกแบบ

การออกแบบสายอากาศโดยเริ่มจากการกำหนดช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยพิจารณาช่วงความถี่จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายกับความถี่ จะได้อัตราขยายที่เหมาะสมซึ่งจะหาให้เลือกค่าของ τ , α และ σ ที่เหมาะสม สำหรับค่า σ ที่เหมาะสม ควรเป็น $0.9 < \sigma < \sigma_{opt}$ และ τ ควรเป็น $0.8 < \tau < 0.98$ โดยพิจารณาตามสมการ

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1-\tau}{4\sigma}\right) \quad (2.3)$$

โดยที่ α คือ ครึ่งมุมตามแนวแกนของสายอากาศ

พิจารณาแบนวิดธ์ที่ใช้ในการออกแบบ B_s (designed bandwidth) จากสมการ

$$B_s = BB_{cr} = B[1.1 + 7.7(1-\tau)^2 \cot \alpha] \quad (2.4)$$

และ

$$B_{cr} = [1.1 + 7.7(1-\tau)^2 \cot \alpha] \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ B_{ar} คือ แบนวิดธ์บริเวณแอททีฟ (Active region bandwidth)

B คือ อัตราส่วนของช่วงความถี่ระหว่างความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุด
พิจารณาความยาวของสายอากาศหาได้จากสมการ

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha \quad (2.6)$$

โดยที่ λ_{\max} คือ ความยาวคลื่นที่มากที่สุด

และ v คือ ความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

พิจารณาจำนวนองค์ประกอบทั้งหมดได้จากสมการ

$$N = 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln(1/\tau)} \quad (2.7)$$

พิจารณาความยาวของไดโพลแต่ละองค์ประกอบได้จากสมการ

$$l_n = l_1 \times \tau^{n-1} \quad (2.8)$$

โดยที่

$$l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} \quad (2.9)$$

พิจารณาระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบหาได้จากสมการ

$$R_{n+1,n+2} = R_{1,2} \times \tau^n \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$R_{1,2} = \frac{1}{2}(l_1 - l_2) \cot \alpha \quad (2.11)$$

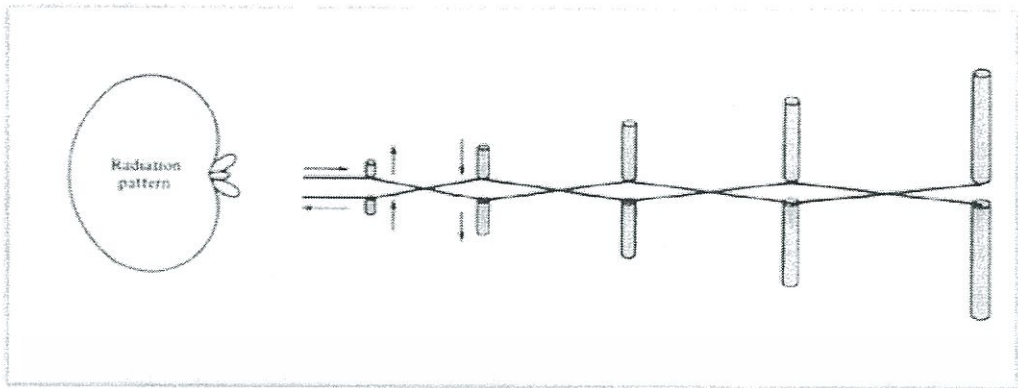
และพิจารณาค่าความถี่ของแต่ละองค์ประกอบได้จากสมการได้

$$f_n = \frac{f_1}{\tau^{n-1}} \quad (2.12)$$

2.3.4 คุณสมบัติของสายอากาศ

2.3.4.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

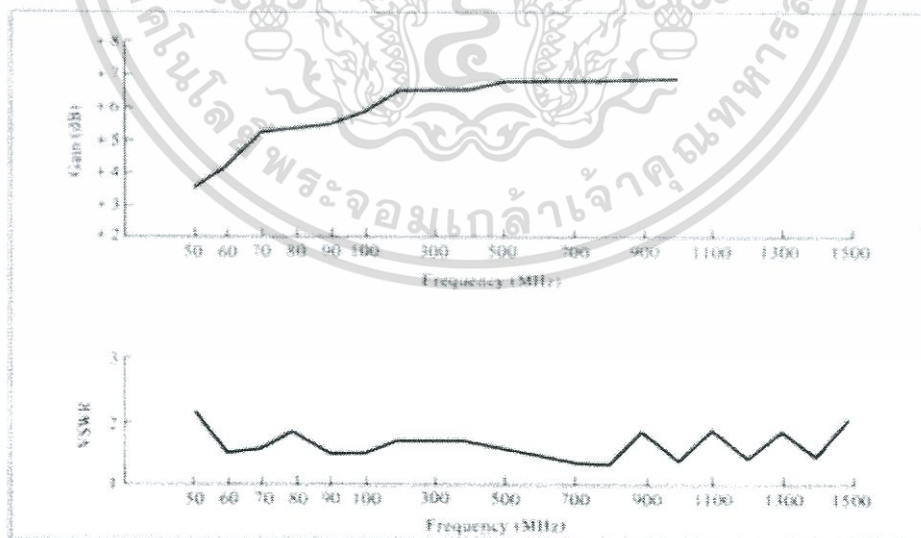
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศหรือรูปแบบสายอากาศ มีความหมายคือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือแสดงโดยเส้นที่สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการแพร่กระจายของสายอากาศตามฟังก์ชันของสเปซโคออร์ดิเนต (Space coordinate) ส่วนมากในกรณีของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้จะกำหนดการคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far field) และแสดงให้เห็นเช่นเดียวกับฟังก์ชันตามทิศทางของโคออร์ดิเนต คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยกำลังความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็ก (Flux), ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation intensity), ความเข้มของสนาม (Field strength), เฟส (Phase), หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่ โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น[3]

2.3.4.2 อัตราขยาย (Gain)

เป็นความสามารถของสายอากาศในการรับส่งคลื่นวิทยุ สายอากาศแต่ละแบบมีอัตราขยายแตกต่างกัน สายอากาศแบบทิศทางเดียวจะมีอัตราการขยายมากกว่าสายอากาศแบบกึ่งรอบตัวและแบบรอบตัวโดยลำดับ ลักษณะการใช้งานจึงแตกต่างกันไป สายอากาศที่มีอัตราขยายสูงจะสามารถรับ-ส่งคลื่นวิทยุได้ดีมาก ตัวเลขซึ่งมีหน่วยวัดอัตราการขยายได้แก่ dBi และ dBd เนื่องจากสายอากาศดังกล่าวสามารถที่จะกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ตามต้องการ โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายและความถี่และอัตราส่วนคลื่นนิ่งกับความถี่เป็นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของอัตราขยายกับความถี่และอัตราส่วนคลื่นนิ่งกับความถี่[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาอัตราขยายของสายอากาศสามารถหาได้ดังสมการ

$$G_t(dB) + G_r(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (2.13)$$

โดยที่

G_t คืออัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง

G_r คืออัตราขยายของสายอากาศตัวรับ

R คือระยะห่างของสายอากาศระหว่างตัวส่งกับตัวรับ

λ คือความยาวคลื่นในอวกาศว่างที่ความถี่ใช้งาน

P_t คือกำลังงานที่ส่งออกของสายอากาศตัวส่ง

P_r คือกำลังงานที่รับได้ของสายอากาศตัวรับ

2.3.4.3 ลักษณะเฉพาะของอิมพีแดนซ์ (Characteristic impedance)

การเข้ากันของอิมพีแดนซ์ ลักษณะเฉพาะของอิมพีแดนซ์ เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการทำงานของสายส่งสัญญาณ ขาเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input) ถึงสัญญาณขาออกหรือสัญญาณ เอาพุต (Output) เมื่ออิมพีแดนซ์ของอินพุตเท่ากับ กับด้านเอาพุต หรือเรียกว่าอิมพีแดนซ์แมชชิง (Impedance matching) นอกจากอิมพีแดนซ์ที่อินพุตและเอาพุตต้องเท่ากันแล้วจำเป็นต้องใช้สายส่งสัญญาณอย่างเหมาะสมด้วย คือต่อเข้ากับสายส่งที่มีความต้านทานลักษณะเฉพาะที่เท่ากันที่อินพุตกับเอาพุตต้องเท่ากันแล้ว แต่ถ้ามีความต้านทานที่ต่างกัน กำลังงานจะสะท้อนกลับเข้ามาสู่แหล่งจ่าย ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ โดยสามารถหาค่าลักษณะเฉพาะของอิมพีแดนซ์ได้จากสมการ

$$Z_o = 120 \left[\ln \left(\frac{l_n}{d_n} \right) - 2.25 \right] \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.4 ค่าความสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)

การสูญเสียจะเกิดขึ้น เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณกับสายอากาศมีค่าไม่เท่ากัน หรือที่เรียกกันว่าไม่แมตช์กัน ก็จะทำให้การส่งกำลังไปยังสายอากาศไม่สามารถส่งได้อย่างสมบูรณ์ มีกำลังบางส่วนสะท้อนกลับเข้าไปในสายส่งซึ่งเรียกว่า เกิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ แต่หากสายอากาศและสายส่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากันหรือแมตช์กัน ก็จะไม่มีการสูญเสียย้อนกลับ เนื่องจากสายอากาศเป็นการแผ่กระจายคลื่น ดังนั้นการพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ จึงใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า Scattering parameter และค่าการสูญเสียย้อนกลับ มีชื่อเรียกว่า $|S_{11}|$ ค่าการสูญเสียหรือ $|S_{11}|$ นี้ นิยมบอกเป็นหน่วย dB โดยค่าที่ยอมรับได้ในการออกแบบสายอากาศก็คือ จะต้องมีย่าน $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10 dB เนื่องจากเป็นการพิจารณาการสะท้อนของสัญญาณในสายส่งที่ส่งไปยังโหลด จึงสามารถพิจารณาใช้ค่า VSWR แทนได้ โดยพิจารณาค่า VSWR ที่ต่ำกว่า 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เห็นได้ว่าไม่ว่าจะใช้ค่า $|S_{11}|$ หรือ VSWR ก็สามารถบ่งบอกถึงความแมตช์ของสายส่งสัญญาณกับสายอากาศได้เช่นกัน พื้นฐานการคำนวณค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เป็น $|S_{11}|$ พิจารณาได้จากรูปที่ 2.10 เมื่อส่งกำลังเข้าในระบบ จะเกิดการสะท้อนกลับ ของพลังงานเนื่องจากความไม่แมตช์กันของอิมพีแดนซ์ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน[3]

โดยที่

P_i คือ กำลังงานของสัญญาณอินพุต

P_r คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

P_o คือ กำลังงานของสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า Return loss สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$RL = -10 \log \left(\frac{P_r}{P_i} \right) \quad (2.15)$$

จากสมการจะพบว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอัตราส่วนของ P_r กับ P_i ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการส่งผ่าน หากว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับต่างมากๆ จะหมายถึง มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านกำลังไปยังโหลดได้สูง หรือมีประสิทธิภาพการส่งกำลังที่ดี

2.4 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ช่องสัญญาณหมายถึงสื่อกลางหรือตัวกลางที่ข่าวสารเดินทางผ่านอาจจะเป็นอากาศสายนาสัญญาณต่างๆหรือกล่าวในเทอมของการสื่อสารไร้สายว่า ช่องสัญญาณคือสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ คุณลักษณะของสัญญาณที่เปลี่ยนไประหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ จะขึ้นอยู่กับระยะทางที่สัญญาณเดินทางผ่านสิ่งแวดล้อมเช่น อาคาร ตึกสูง ต้นไม้ รูปแบบของสัญญาณที่รับมาได้จากสัญญาณที่ส่งมาระหว่างสายอากาศทั้งสองจะเรียกว่า “แบบจำลองช่องสัญญาณ”

ถ้าค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้แสดงได้ดังสมการ

$$P_r(d) = \frac{K}{d^n} + X \quad (2.16)$$

เมื่อ

K คือค่าคงที่

X คือตัวแปรสุ่มของการเกิด Multi-path Fading

d คือระยะทาง

n คือเลขชี้กำลังของการสูญเสียในเส้นทาง (Path loss exponent)

แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น (Linear regression model) เป็นแบบจำลองทางสถิติที่สามารถนำมาเป็นแบบสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลได้ เนื่องจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่และมีความสัมพันธ์กันในระดับใด ผลการวิเคราะห์

ความสัมพันธ์อย่างง่าย จะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ว่ามีความสัมพันธ์คล้อยตามกันไป ในทิศทางเดียวกันหรือไม่อาจจะต้องทำการวิเคราะห์โดยอาศัยค่าที่ทราบจากตัวแปรหนึ่งแล้วนำไปพยากรณ์ค่าของอีกตัวแปรหนึ่งว่ามีความแปรผันในสัดส่วนเท่าใดหรือในระดับใด การวิเคราะห์ในลักษณะของตัวเกณฑ์เพื่อใช้ในการพยากรณ์นี้ เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ซึ่งถ้าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ โดยมีค่าความชันใกล้เคียงกับ 1.00 หรือ -1.00 ย่อมหมายถึงว่าการพยากรณ์จะยิ่งมีความถูกต้องมากขึ้น

ถ้ากำหนดให้ $y = \overline{P_r(d)}[dB], A = -10n, x = \log(d), B = \overline{P_r(1)}[dB]$

จะได้

$$y = Ax + B \quad (2.17)$$

มีข้อมูลที่ได้จากการวัดจำนวน N ข้อมูล ดังนั้นจะได้ $y_i = P_r(d_i)[dB], x_i = \log(d_i), i = 1, 2, \dots, N$ จะได้ค่า Error ของข้อมูลที่ i เป็น

$$E_i = y_i - Ax_i - B \quad (2.18)$$

ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Total Square Error)

$$\sum_{i=1}^N E_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 \quad (2.19)$$

ทำเงื่อนไข Least Square Error

$$\frac{\partial}{\partial A} \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 = 0 \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial B} \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 = 0 \quad (2.21)$$

จะได้

$$\sum_{i=1}^N x_i y_i - A \sum_{i=1}^N x_i^2 - B \sum_{i=1}^N x_i = 0 \quad (2.22)$$

$$\sum_{i=1}^N y_i - A \sum_{i=1}^N x_i - BN = 0 \quad (2.23)$$

จัดรูปใหม่ได้

$$A \sum_{i=1}^N x_i^2 + B \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad (2.24)$$

$$A \sum_{i=1}^N x_i + BN = \sum_{i=1}^N y_i \quad (2.25)$$

พิจารณาที่กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้

$$\overline{P_r(d)} = \frac{K}{d^n} \quad (2.26)$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log d + K[dB] \quad (2.27)$$

$$\overline{P_r(d_0)}[dB] = -10n \log d_0 + K[dB] \quad (2.28)$$

เมื่อ d_0 คือ ระยะอ้างอิง (Reference distance) จะได้

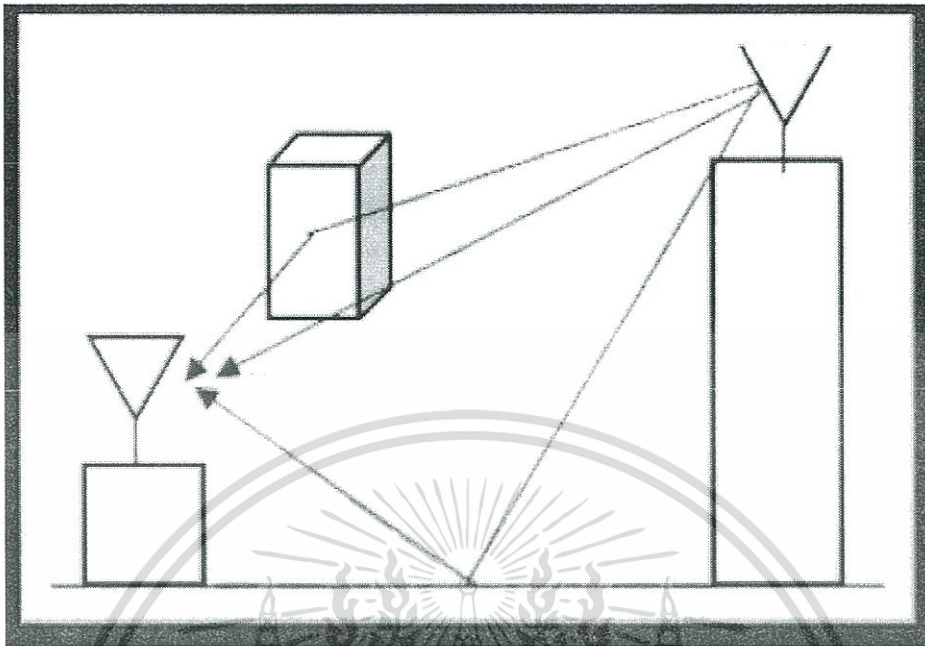
$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \overline{P_r(d_0)}[dB] \quad (2.29)$$

และกำหนดให้ $d_0 = 1m$ จะได้สมการกำลังของสัญญาณที่รับได้คือ

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log(d) + \overline{P_r(1)}[dB] \quad (2.30)$$

โดยที่ $\overline{P_r(d)}$ คือค่ากำลังสัญญาณที่รับได้

จากสมการที่ 2.17 พิจารณาในเทอมของ X หรือตัวแปรสุ่มของการเกิด Multipath fading กล่าวคือ การแพร่ของคลื่นไปได้ในหลายเส้นทาง ทั้งทางตรงในแนวระดับสายตา Line of sight (LOS) และเกิดจากการสะท้อนวัตถุที่อยู่ระหว่างเส้นทาง ทำให้ผลรวมของสัญญาณที่รับได้เกิดการหักล้างกันจากคลื่นที่แพร่มาจากหลายเส้นทาง เป็นผลทำให้สัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและเฟส แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.11 การจางหายสัญญาณจากสาเหตุหลายวิถี[9]

โดยสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ Multipath fading สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$X = P_r(d) - P_t(d) [dB] \quad (2.31)$$

และจะใช้ทฤษฎีทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.5 ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น

สัญญาณที่ไม่สามารถรู้ค่าได้แน่นอน หรือไม่สามารถรู้ค่าล่วงหน้าได้ สัญญาณประเภทนี้จะเกิดขึ้นในระบบสื่อสารทั้งในลักษณะที่เป็นสัญญาณที่ไม่ต้องการ คือเป็นสัญญาณรบกวน และสัญญาณที่ต้องการคือสัญญาณข้อมูลข่าวสาร เนื่องจากสัญญาณแบบสุ่มเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถรู้การเปลี่ยนแปลงที่แน่นอนได้ การจัดการกับสัญญาณประเภทนี้จึงต้องใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยประมาณคุณสมบัติของสัญญาณ โดยหาค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หาฟังก์ชันความหนาแน่นและแจกแจงความน่าจะเป็นเพื่อหาแบบจำลองทางสถิติ

2.5.1 ตัวแปรสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามเป็นฟังก์ชันที่มีค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสัญญาณรบกวนอยู่ในฟังก์ชันนั้น หรือเข้าใจง่าย ๆ ว่าตัวแปรสุ่มนี้จะต้องประกอบไปด้วยข้อมูลแต่ละจุดของสัญญาณ ดังนั้นตัวแปรสุ่มจะมีค่าอยู่ในช่วงที่น้อยที่สุดไปถึงค่ามากที่สุดของข้อมูลสัญญาณ

2.5.2 ค่าเฉลี่ย

ถ้ากำหนดให้สัญญาณเป็นฟังก์ชัน $n(t)$ มีค่าอยู่ในช่วง t_1 ถึง t_2 จะได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเป็น

$$\bar{n} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} n(t) dt \quad (2.32)$$

การวิเคราะห์สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นข้อมูลแต่ละจุดสัญญาณ กำหนดให้มีข้อมูลของสัญญาณทั้งหมด N จุด ข้อมูลของแต่ละจุดแทนด้วย x_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ จะได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเป็น

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.33)$$

2.5.3 ความแปรปรวน

ถ้ากำหนดให้สัญญาณเป็นฟังก์ชัน $n(t)$ มีค่าอยู่ในช่วง t_1 ถึง t_2 จะได้ความแปรปรวนของสัญญาณเป็น

$$\sigma^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [n(t) - \bar{n}]^2 dt \quad (2.34)$$

การวิเคราะห์สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นข้อมูลแต่ละจุดสัญญาณ กำหนดให้มีข้อมูลของสัญญาณทั้งหมด

N จุด ข้อมูลของแต่ละจุดแทนด้วย x_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ จะได้ความแปรปรวนของสัญญาณเป็น

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ถ้ากำหนดให้สัญญาณเป็นฟังก์ชัน $n(t)$ มีค่าอยู่ในช่วง t_1 ถึง t_2 จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเป็น

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [n(t) - \bar{n}]^2 dt} \quad (2.36)$$

การวิเคราะห์สัญญาณแบบบิตสตรีต ซึ่งจะเป็นข้อมูลแต่ละจุดสัญญาณ กำหนดให้มีข้อมูลของสัญญาณทั้งหมด

N จุด ข้อมูลของแต่ละจุดแทนด้วย x_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเป็น

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (2.37)$$

2.5.5 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function)

กำหนดให้ ความน่าจะเป็น $P\{X \leq x\}$ เป็นความน่าจะเป็นขอเหตุการณ์ $X \leq x$ และกำหนดให้ $f_x(x)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น ซึ่งนิยามเป็น

$$f_x(x) = \frac{d}{dx} P\{X \leq x\} \quad (2.38)$$

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติสำคัญคือ

$$f_x(x) \geq 0 \quad (2.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) dx = 1 \quad (2.40)$$

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x f_x(\xi) d\xi \quad (2.41)$$

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x f_x(\xi) d\xi \quad (2.42)$$

2.3.6 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function)

กำหนดให้ ความน่าจะเป็น $P\{X \leq x\}$ เป็นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ $\{X \leq x\}$ และจะกำหนดให้ $F_x(x)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ซึ่งนิยามเป็น

$$F_x(x) = P\{X \leq x\} \quad (2.43)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ

$$F_x(-\infty) = 0 \quad (2.44)$$

$$F_x(\infty) = 1 \quad (2.45)$$

$$0 \leq F_x(x) \leq 1 \quad (2.46)$$

$$F_x(x_1) \leq F_x(x_2) \text{ เมื่อ } x_1 < x_2 \quad (2.47)$$

$$P\{x_1 \leq X \leq x_2\} = F_x(x_2) - F_x(x_1) \quad (2.48)$$

$$F_x(x^+) = F_x(x) \quad (2.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7 การแจกแจงข้อมูล

การแจกแจงความถี่ เป็นวิธีการจัดเรียงข้อมูลที่ได้จากการสอวัดเพื่อสะดวกในการแปลความหมาย เช่น การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution), การแจกแจงแบบ T (T-distribution), การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-square distribution) และการแจกแจงแบบ F (F-distribution) เป็นต้น

การแจกแจงแบบปกติเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแจกแจงแบบเกาส์หรือการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution) โดย Karl Pearson เป็นคนแรกที่วิเคราะห์การแจกแจงแบบนี้ในปีค.ศ. 1893 ซึ่งเป็นการแจกแจงความถี่ของค่าที่วัดเป็นปกติการแจกแจงแบบนี้มีการนำไปใช้มากที่สุด ในการจัดการข้อมูล สมการของเส้นโค้งปกติได้แก่

$$Y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.50)$$

เมื่อ

Y คือ ส่วนสูงของเส้นโค้งเมื่อเขียนบนแกน X

N คือ จำนวนข้อมูล

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการแจกแจง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของการแจกแจง

X คือ ข้อมูลดิบ

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญยานิพนธ์

3.1 การสร้างสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก

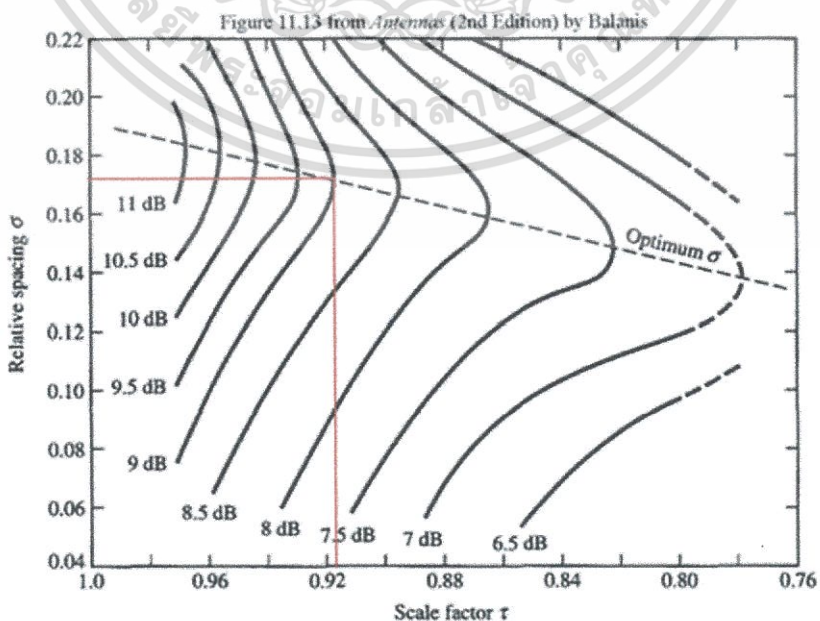
3.1.1 การออกแบบสายอากาศ

เลือกชนิดสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่กว้าง สามารถหาวัสดุที่เหมาะสมได้ และเลือกสายอากาศที่ทนข้างแข็งแรงเหมาะสมกับการใช้งาน วัสดุที่เลือกใช้เป็นอะลูมิเนียมสำหรับการทำบวมสายอากาศและแต่ละองค์ประกอบ ใช้หัวคอนเนคเตอร์ชนิด N-type สำหรับจุดป้อน สัญญาณและสายนำสัญญาณชนิด RG-223 สำหรับใช้นำสัญญาณ

3.1.2 การคำนวณพารามิเตอร์สายอากาศ

ในการออกแบบสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก ออกแบบให้ความถี่ต่ำสุดที่ 470MHz. และความถี่สูงสุดที่ 870 MHz

3.1.2.1 เลือกค่า Scale factor และค่า Relative spacing หาได้จากรูป ที่ 3.1 โดยค่าที่เลือกอยู่ที่ $\tau = 0.918$ และ $\sigma = 0.169$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรณที่รูปที่ 3.1 กราฟค่าสภาพเจาะจงทิศทาง[2] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 หาค่ามุมของโครงสร้างสายอากาศได้ จากสมการที่ 2.3

$$\begin{aligned}\alpha &= \tan^{-1}\left(\frac{1-\tau}{4\alpha}\right) \\ &= 6.916^\circ\end{aligned}$$

หาแบนวิดธ์ที่ใช้ในการออกแบบ B_s (Designed bandwidth) จากสมการที่ 2.5

$$\begin{aligned}B_{ar} &= 1.1 + 7.7(1-\tau)^2 \cot(\alpha) \\ &= 1.527\end{aligned}$$

และจากสมการที่ 2.4 จะได้ว่า

$$\begin{aligned}B_s &= B \times B_{ar} \\ &= 3.162\end{aligned}$$

หาความยาวของสายอากาศหาได้จากสมการที่ 2.6

$$\begin{aligned}L &= \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot(\alpha) \\ &= 1.124m.\end{aligned}$$

หาจำนวนองค์ประกอบทั้งหมดได้จากสมการที่ 2.7

$$\begin{aligned}N &= 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln\left(\frac{1}{\tau}\right)} \\ &= 13.199 \approx 14\end{aligned}$$

หาระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบหาได้จากสมการที่ 2.10

$$\begin{aligned}R_{1,2} &= \frac{1}{2}(l_1 - l_2) \cot(\alpha) \\ &= 12.24cm.\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากสมการที่ 2.11

$$R_{n+1}, R_{n+2} = R_{1,2} \times \tau^n$$

สามารถหาค่าระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบได้ดังแสดงในสมการที่ 2.9

ตารางที่ 3.1 ค่าระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบ

ลำดับที่	ความยาว(m.)
R1,2	12.24
R2,3	11.24
R3,4	10.31
R4,5	9.47
R5,6	8.69
R6,7	7.98
R7,8	7.33
R8,9	6.73
R9,10	6.17
R10,11	5.67
R11,12	5.20
R12,13	4.78
R13,14	4.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความยาวของไดโพลแต่ละองค์ประกอบได้จากสมการที่ 2.9

$$l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} = 0.35m$$

และจากสมการที่ 2.8

$$l_n = l_1 \times \tau^{n-1}$$

สามารถหาค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบได้ดังแสดงในตารางที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

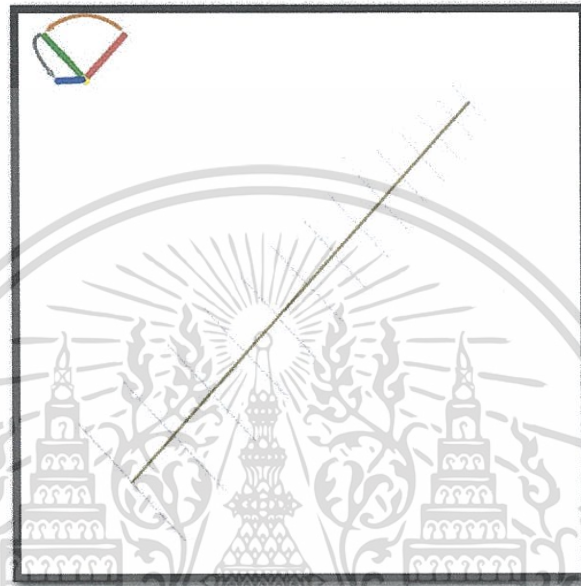
ตารางที่ 3.2 ค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบก่อนปรับปรุง

ลำดับที่	ความยาว(m.)
1	0.35
2	0.32
3	0.30
4	0.27
5	0.25
6	0.23
7	0.21
8	0.19
9	0.18
10	0.16
11	0.15
12	0.14
13	0.13
14	0.12

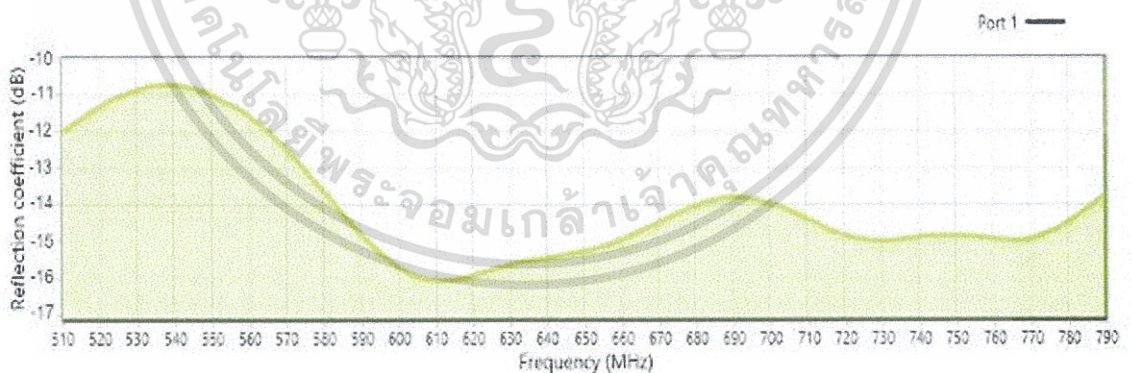
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม Antenna Magus

1) ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ ไดโพลแบบลูปกพ็ รืออดิกดังแสดงในรูปที่ 3.2 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 รูปสายอากาศจากการจำลองโดยโปรแกรม Antenna Magus

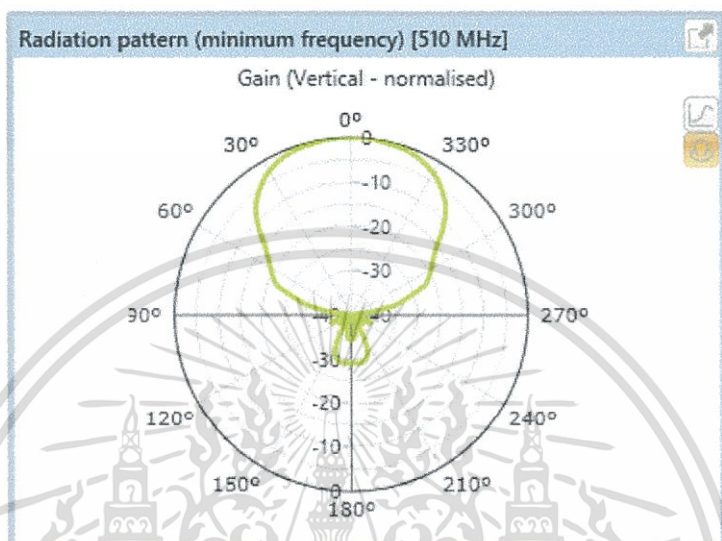


รูปที่ 3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลอง

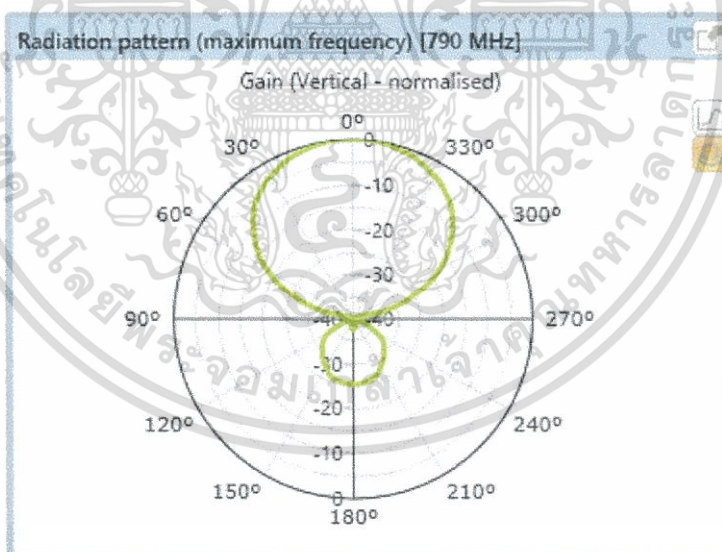
จากผลการจำลองพบว่าช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งานตั้งแต่ความถี่ 510 MHz ถึงความถี่ 790 MHz มีค่า การสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบล้อยกพริ-
ออดิกในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงในรูป 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



(ก)

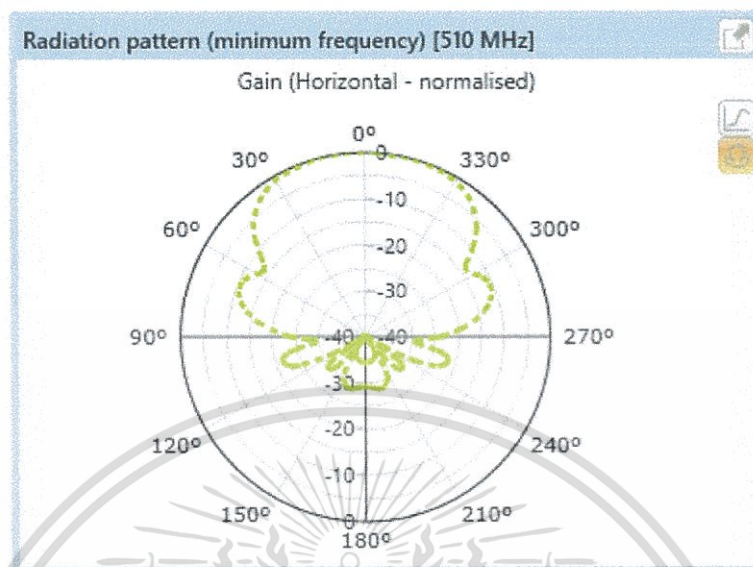


(ข)

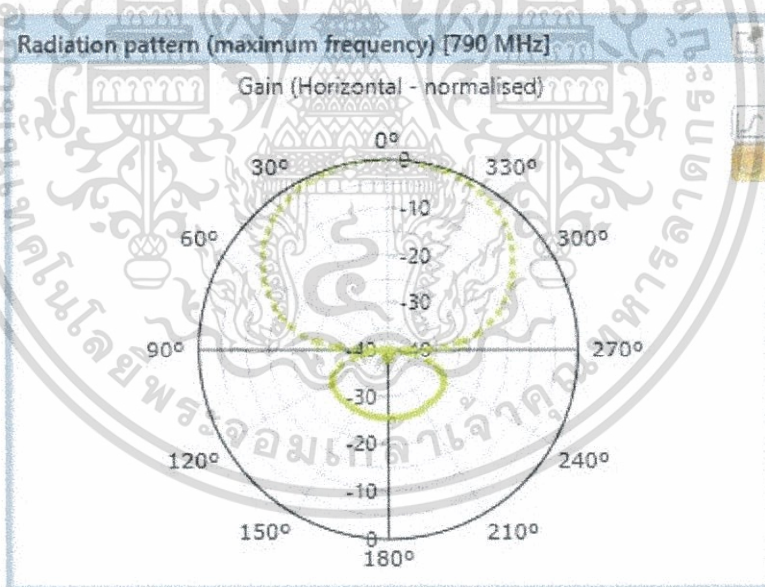
รูปที่ 3.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่

(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

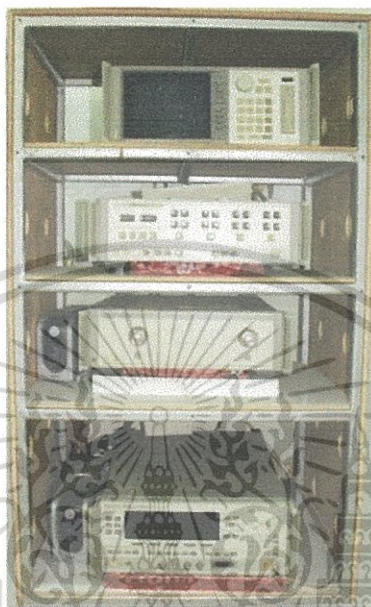
รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่

(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ อาทิ เช่น S-parameter (S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22}) รวมถึงบอกค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ โดยใช้ connector เชื่อมต่อระหว่างสายอากาศกับเครื่อง ซึ่งสายนำสัญญาณของเครื่องเน็ตเวิร์คออนไลน์เซอร์ต้องผ่านการปรับเทียบ(calibrate)ก่อน โดยหัว calibration มี 3 ประเภท คือ open , short และ load เป็นการทำให้ระดับของสัญญาณคงที่ก่อนวัดค่าจริงของสายอากาศ โดยรายชื่อเครื่องที่ประกอบอยู่เมื่อเรียงลำดับจากบนลงล่าง มีดังนี้

- 1) จอแสดงผล (Monitor)
- 2) ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-Parameter test)
- 3) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบสองพอร์ต (Network analyzer)
- 4) เครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Synthesized sweeper)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ชุดปรับเทียบ(Calibration)

ชุด Calibrate เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปรับสัญญาณให้เป็นระบบมาตรฐาน ซึ่งจะประกอบด้วยตัวคอนเนคเตอร์ SMA ชนิด Open, Short และ Load 50 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ตัวปรับเทียบมี 3 ประเภทด้วยกัน OPEN, SHORT และ LOAD

3.2.3 สายนำสัญญาณ(Cabel)

สายนำสัญญาณ เป็นสายนำสัญญาณที่ปลายด้านหนึ่งถูกเชื่อมเข้ากับพอร์ตของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และปลายอีกด้านหนึ่งเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศ เพื่อใช้ในการวัดสัญญาณ โดยจะต่อสายนำสัญญาณเข้ากับพอร์ตของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทั้งสองพอร์ต ซึ่งพอร์ตที่หนึ่งเป็นพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

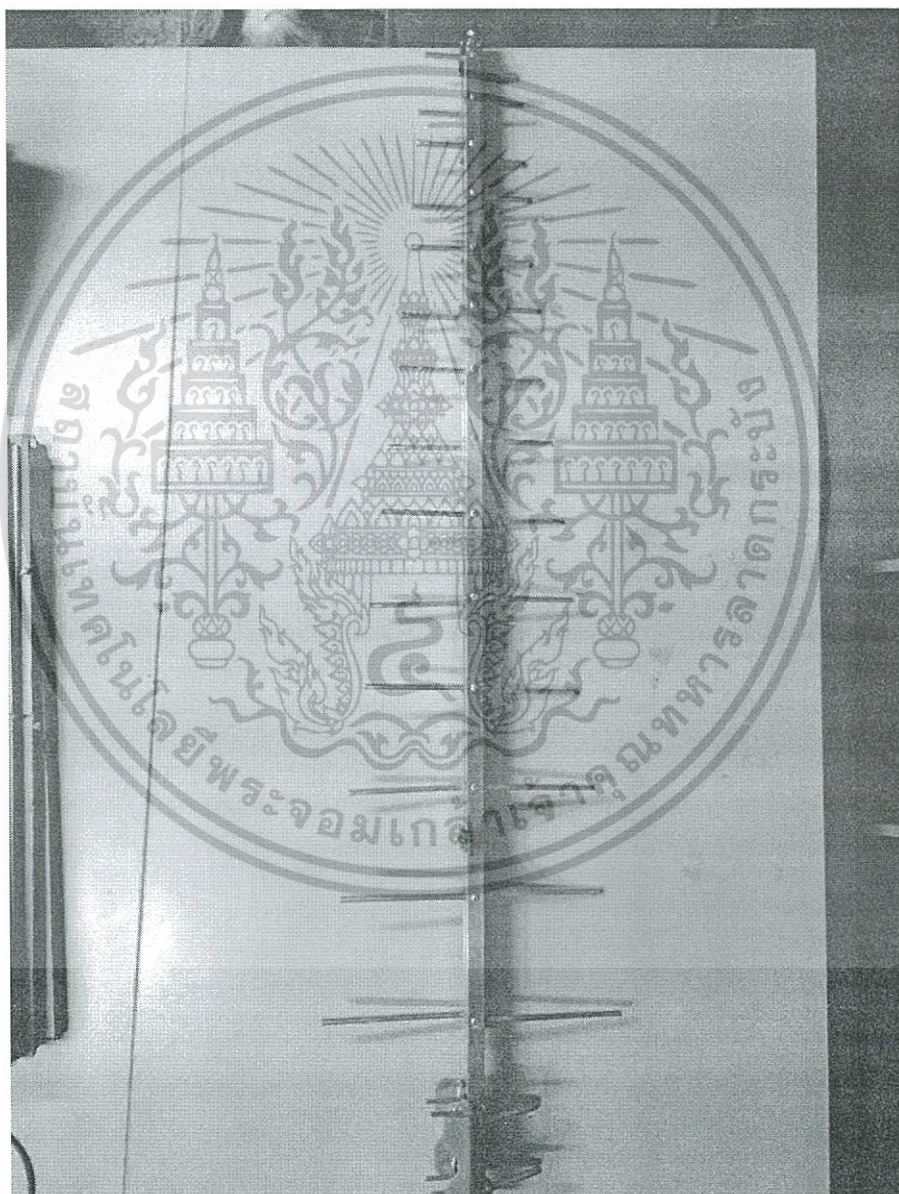


รูปที่ 3.8 สายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 สายอากาศรายคาบล็อก

สายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก เป็นสายอากาศที่สร้างขึ้นตอบสนองในช่วงความถี่มาตรฐาน DVB-T2 ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 510 MHz ถึง 790 MHz มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 สายอากาศรายคาบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 คำนวณ First Fresnel Zone

$$F_r = \sqrt{\lambda \frac{D_1 \times D_2}{D_3}}$$

$$F_r = \sqrt{\frac{3 \times 10^8}{510 \times 10^6} \times \frac{3.5 \times 3.5}{7}}$$

$$F_r = \sqrt{0.588 \times 1.75}$$

$$F_r = 1.014$$

โดยที่ F_r = เป็นรัศมี Fresnel Zone หน่วยเป็นฟุต

D_1 = เป็นระยะทางส่งระหว่างสถานีส่งถึงสิ่งกีดขวาง หน่วยเป็นเมตร

D_2 = เป็นระยะทางส่งระหว่างสิ่งกีดขวางถึงสถานีรับ หน่วยเป็นเมตร

D_3 = เป็นระยะทางส่งระหว่างสถานีส่งถึงสถานีรับ

λ = เป็นความยาวคลื่น หน่วยเป็นเมตร

3.3 แบบจำลองช่องสัญญาณ(Channel model)

3.3.1 การออกแบบการทดลอง

จากสายอากาศไดโพลแบบลูปพริออดิกที่สร้างมา นำสายอากาศที่ได้จากการสร้างมารับสัญญาณ โทรทัศน์แบบดิจิตอลโดยต่อเข้ากับเครื่องวัดสเปกตรัมเพื่อวัดระดับของสัญญาณจากสถานีส่งที่ส่งจากตึกใบหยก 2 โดยใช้สายอากาศไดโพลแบบลูปพริออดิกรับสัญญาณที่ความถี่ 626 MHz โดยใช้เครื่องวัดสเปกตรัมวัดค่าความแรงสัญญาณที่รับได้และทำการจัดเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด[12]

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

อุปกรณ์ที่ใช้วัดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.10 ซึ่งประกอบด้วย

3.2.2.1 เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (Spectrum analyzer)

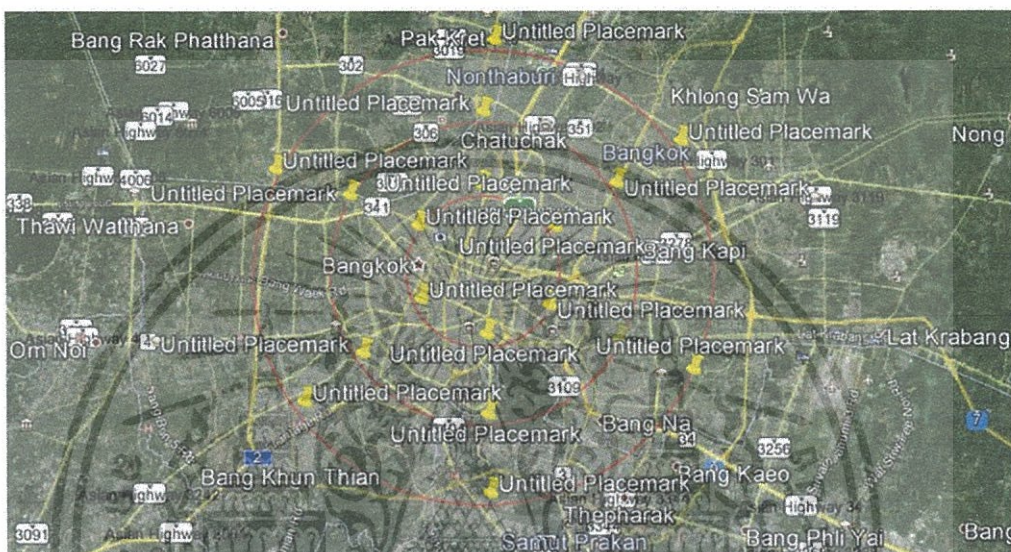
หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่เหมือนกับเครื่องออสซิโลสโคปที่ใช้ในการวัดรูปคลื่นที่แสดงรูปคลื่นในเชิงเวลา ส่วนเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่แสดงรูปคลื่นในเชิงความถี่เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่จะแสดงสัญญาณต่างๆที่ปรากฏอยู่ในแถบส่วนต่างๆของย่านความถี่ในรูปแถบความถี่ ซึ่งในการวัดสัญญาณสำหรับย่าน DVB-T2 นิยมวัดในหน่วย dB μ V

3.2.2.2 สายอากาศรับ (Received antenna) ใช้สายอากาศไดโพลแบบลูปพริออดิกเป็นสายอากาศรับ มีคุณสมบัติของ การตอบสนองความถี่กว้างอีกทั้งมีอัตรา การขยายสูง

3.2.3 ขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูล

1) ใช้สายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิกรับสัญญาณที่ความถี่ 626 MHz ห่างจากสถานีส่งที่ระยะ

5 , 10 และ 15 Km ตามลำดับและแสดงตำแหน่งของการวัดได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนที่แสดงตำแหน่งของการวัดทดลองช่องสัญญาณ DVB-T2

2) เก็บข้อมูลในตำแหน่งต่างๆที่กำหนดไว้ห่างจากสถานีส่งโดยรอบ รอบละ 6 จุด ในการเก็บค่าความแรงของสัญญาณนั้น ใช้เครื่องวัดสเปกตรัมวัดระดับความแรงของสัญญาณโดยตั้งสายอากาศรับสูง 3 m และ 5 m โดยวัดทั้ง 2 แนวทั้งในโพลาไรซ์แบบแนวตั้งและโพลาไรซ์แบบแนวนอน

3) ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ทั้งโพลาไรซ์แบบแนวตั้งและโพลาไรซ์แบบแนวนอน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ค่ากำลังของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาไรซ์แบบแนวนอน)

ตำแหน่งที่	5 km		10 km		15 km	
	3 m	5 m	3 m	5 m	3 m	5 m
ตำแหน่งที่ 1	-40.20	-39.50	-41.80	-40.10	-42.80	-41.90
ตำแหน่งที่ 2	-39.80	-37.90	-51.80	-45.60	-48.90	-47.90
ตำแหน่งที่ 3	-39.60	-40.10	-44.10	-41.30	-52.30	-49.60
ตำแหน่งที่ 4	-40.50	-40.90	-43.90	-43.80	-45.70	-43.90
ตำแหน่งที่ 5	-43.40	-38.20	-40.70	-41.70	-53.50	-50.30
ตำแหน่งที่ 6	-39.90	-39.90	-41.20	-40.60	-53.70	-48.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ค่ากำลังของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวตั้ง)

ตำแหน่งที่	5 km		10 km		15 km	
	3 m	5 m	3 m	5 m	3 m	5 m
ตำแหน่งที่ 1	-47.60	-44.90	-47.60	-44.20	-45.30	-43.60
ตำแหน่งที่ 2	-44.30	-41.40	-56.40	-54.80	-52.60	-50.70
ตำแหน่งที่ 3	-47.80	-45.10	-48.70	-46.60	-58.10	-55.30
ตำแหน่งที่ 4	-50.90	-47.80	-47.60	-46.30	-49.80	-46.20
ตำแหน่งที่ 5	-52.40	-48.70	-46.20	-43.50	-57.40	-56.10
ตำแหน่งที่ 6	-46.10	-43.40	-44.60	-41.40	-59.50	-56.70

4) จากข้อมูลที่ได้จากการวัดกำลังของสัญญาณที่รับได้นำไปศึกษาและออกแบบจำลองช่องสัญญาณ วิเคราะห์และประเมินผลสัญญาณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์อาศัยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น เพื่อวิเคราะห์การสูญเสียในเส้นทางตามสมการที่ 2.31 ในหน่วย dBm

$$\overline{P_r(d)}[dBm] = -10n \log(d) + \overline{P_r(1)}[dBm]$$

4.1) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความสูงของสายอากาศรับ 3 m โพลาริซ์แบบแนวนอน พิจารณาสมการที่ 2.24 และ 2.25 จะได้

$$17.2305A + 17.25037B = -782.811$$

$$17.25037A + 18B = -803.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้สมการจะได้ $A = -10n = -17.8746$, $n = 1.7875$ และ $B = P_r(1)[dB] = -27.5254$ และแทนค่าลงในสมการที่ 2.30 จะได้สมการของการสูญเสียในเส้นทางคือ

$$P_r(1)[dB] = -17.8746 \log(d) - 27.5254$$

4.2) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความสูงของสายอากาศรับ 5 m โพลาริซ์แบบแนวนอน พิจารณาสมการที่ 2.24 และ 2.25 จะได้

$$17.2305A + 17.25037B = -748.869$$

$$17.25037A + 18B = -770.3$$

แก้สมการจะได้ $A = -10n = -15.2446$, $n = 1.5245$ และ $B = P_r(1)[dB] = -28.1847$ และแทนค่าลงในสมการที่ 2.30 จะได้สมการของการสูญเสียในเส้นทางคือ

$$P_r(1)[dB] = -15.2446 \log(d) - 28.1847$$

4.3) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความสูงของสายอากาศรับ 3 m โพลาริซ์แบบแนวตั้ง พิจารณาสมการที่ 2.24 และ 2.25 จะได้

$$17.2305A + 17.25037B = -872.697$$

$$17.25037A + 18B = -902.9$$

แก้สมการจะได้ $A = -10n = -10.5929$, $n = 1.0593$ และ $B = P_r(1)[dB] = -40.0098$ และแทนค่าลงในสมการที่ 2.30 จะได้สมการของการสูญเสียในเส้นทางคือ

$$P_r(1)[dB] = -10.5929 \log(d) - 40.0098$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความสูงของสายอากาศรับ 5 m
โพลาริซแบบแนวตั้ง พิจารณาสมการที่ 2.24 และ 2.25 จะได้

$$17.2305A + 17.25037B = -829.372$$

$$17.25037A + 18B = -856.7$$

แก้สมการจะได้ $A = -10n = -11.9538$, $n = 1.1954$ และ $B = P_r(1)[dB] = -36.1385$ และแทนค่าลงในสมการที่ 2.30 จะได้สมการของการสูญเสียในเส้นทางคือ

$$P_r(1)[dB] = -11.9538 \log(d) - 36.1385$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

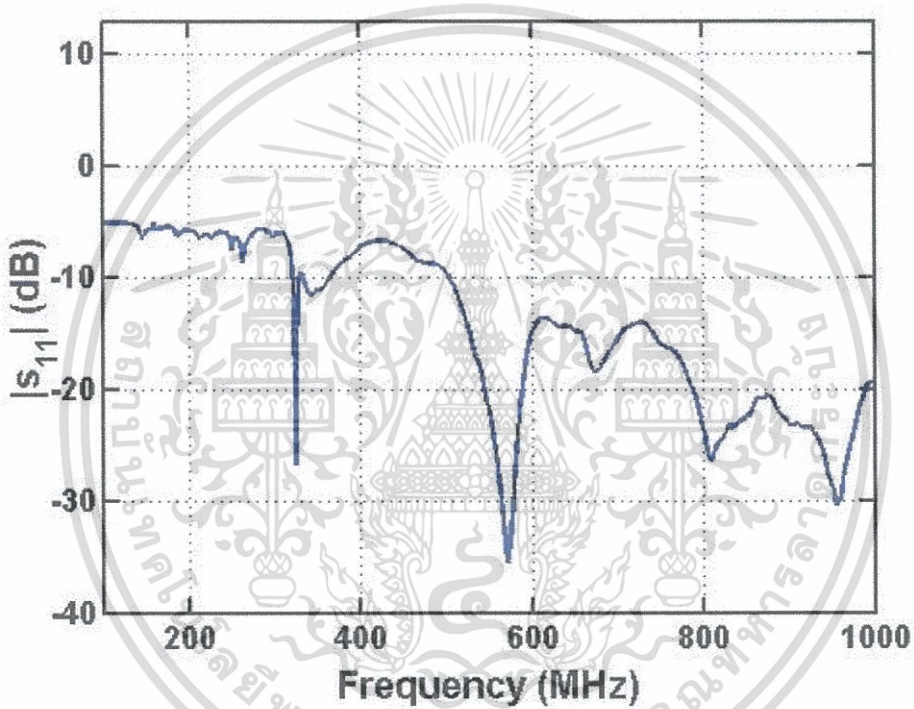
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

4.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

4.1.1.1 ผลการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์



รูปที่ 4.1 $|S_{11}|$ ของคุณลักษณะของสายอากาศสี่อวกพีรียดิก

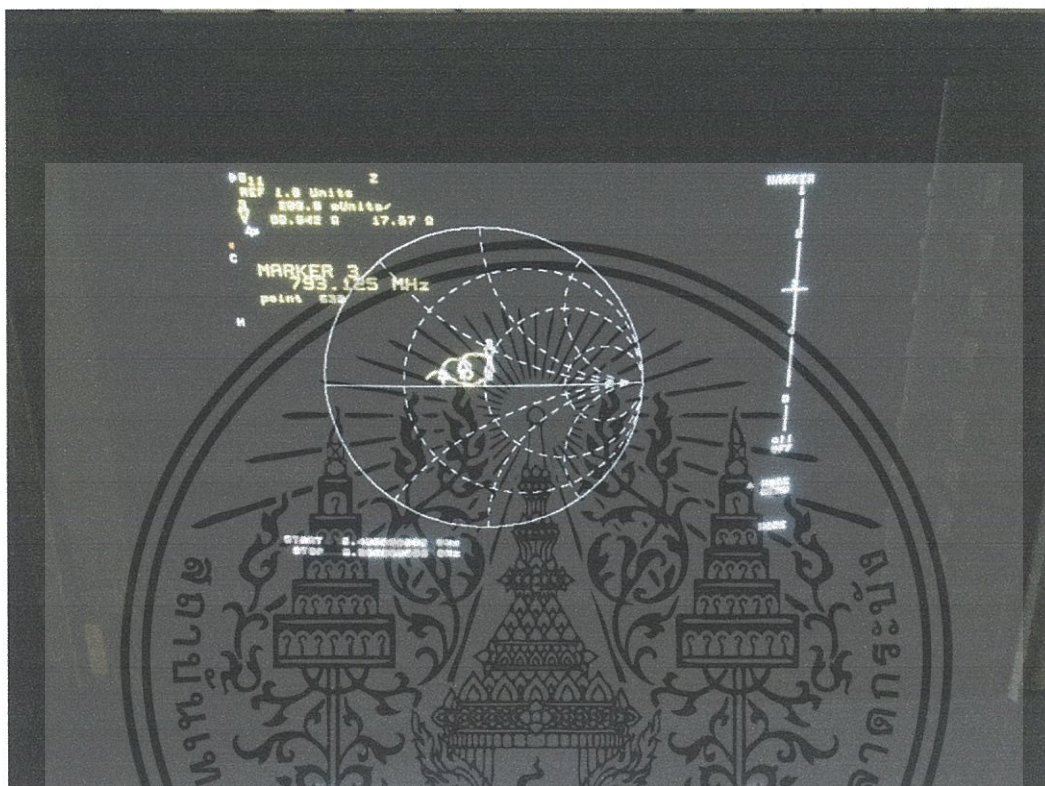
4.1.1.2 วิเคราะห์ผล

จากผลการการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์สายอากาศ จะพบว่าสายอากาศจะสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ DVB-T2 ซึ่งก็คือช่วง 510-790 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดสอบอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

จากการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ได้ผลทดสอบ ดังรูปที่ 4.2

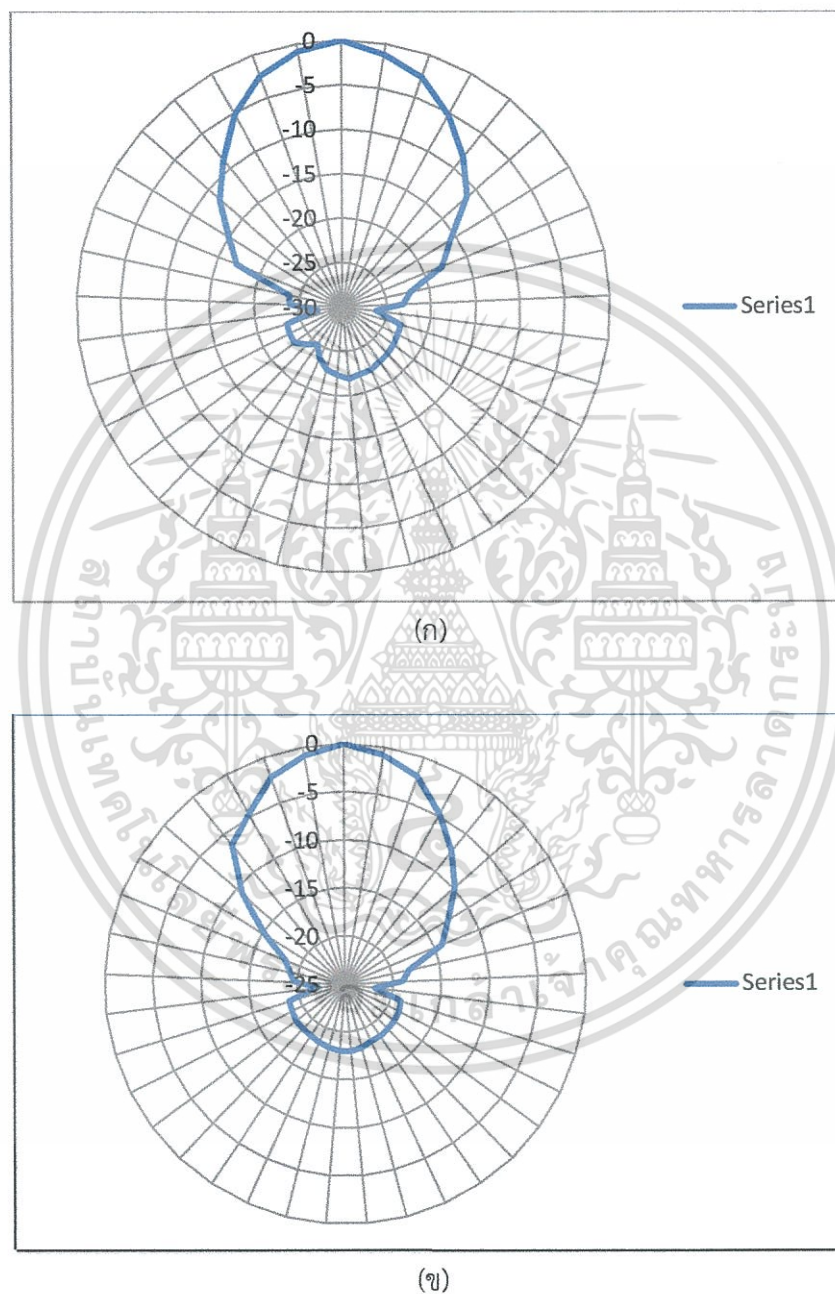


รูปที่ 4.2 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

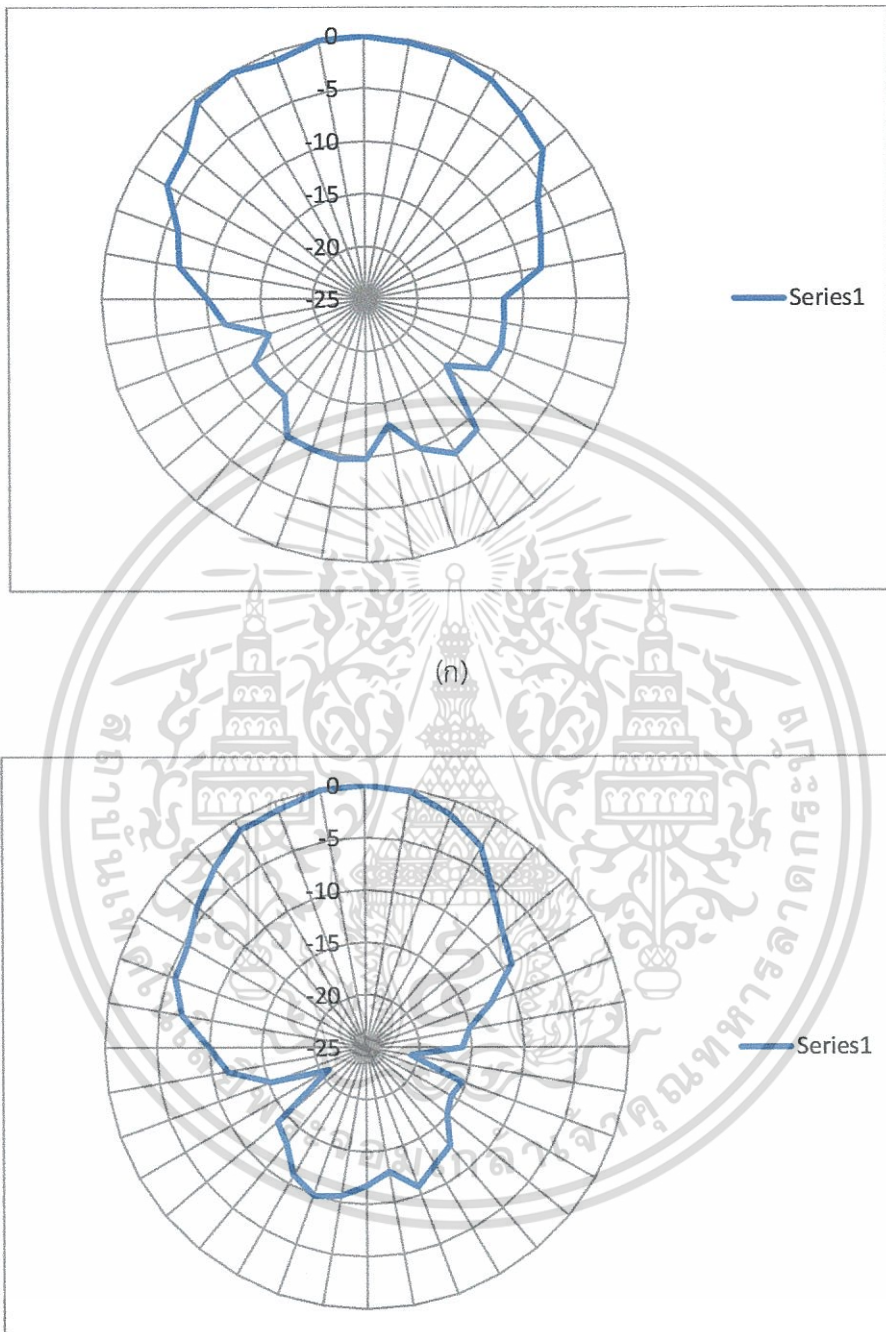
4.1.3.1 ผลการวัดแพทเทิลของสายอากาศที่ได้จากการสร้าง



รูปที่ 4.3 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่

(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่

(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 อัตราขยาย

พิจารณาอัตราขยายของสายอากาศได้จากสมการที่ 2.13

4.1.4.1 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อวางสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า

1) คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 510MHz

$$G_{0t} + G_{0r} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right)$$

$$5 + G_{0r} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(1.3)}{0.58} \right) - 16.75$$

$$G_{0r} (dBi) = 7.24$$

2) คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 790MHz

$$G_{0t} + G_{0r} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right)$$

$$5 + G_{0r} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(1.3)}{0.38} \right) - 13.1$$

$$G_{0r} (dBi) = 14.5$$

4.1.4.2 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อวางสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก

1) คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 510MHz

$$G_{0t} + G_{0r} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right)$$

$$5 + G_{0r} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(1.3)}{0.58} \right) - 19.88$$

$$G_{0r} (dBi) = 4.11$$

2) คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 790MHz

$$G_{0r} + G_{0r} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right)$$

$$5 + G_{0r} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(1.3)}{0.38} \right) - 18.37$$

$$G_{0r}(\text{dBi}) = 9.23$$

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ

ความถี่ (MHz)	อัตราขยายทดสอบ วางตามระนาบ สนามไฟฟ้า (dBi)	อัตราขยายทดสอบ วางตามระนาบ สนามแม่เหล็ก (dBi)
510	7.24	4.11
790	14.5	9.23

จากตารางค่าอัตราขยายของสายอากาศ พบว่าสายอากาศที่ได้จากการสร้างนั้นครอบคลุมช่วงความถี่ 510 ถึง 790 MHz และสายอากาศมีทิศทางเป็นทิศทางตรง โดยมีอัตราขยายเฉลี่ยอยู่ที่ 10.87 dBi

4.2 ผลการออกแบบจำลองช่องสัญญาณ

4.2.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในโพลาริซ์แบบแนวนอน

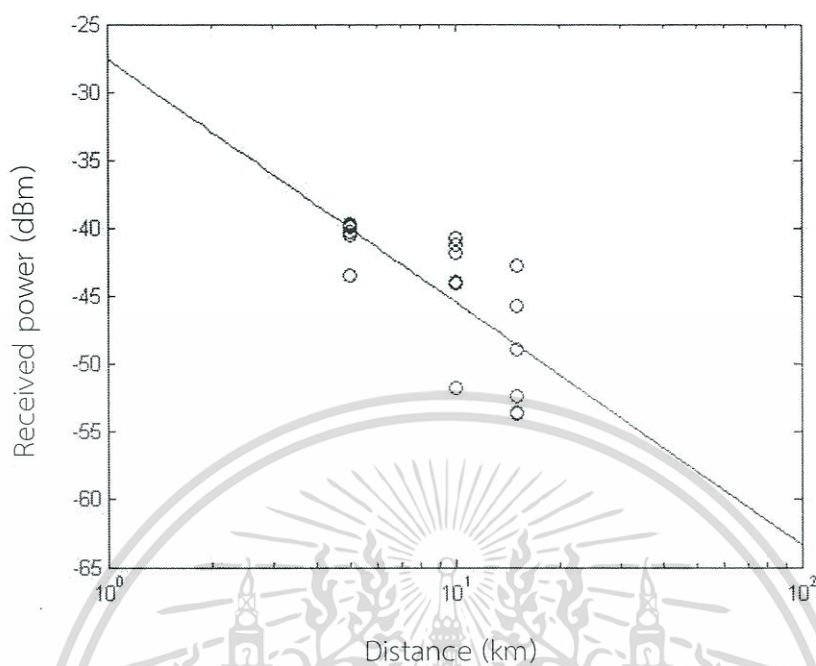
ตารางที่ 4.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวนอน)

ระยะทาง	5 km		10 km		15 km	
	3 m	5 m	3 m	5 m	3 m	5 m
ความสูงของ สายอากาศ รับ						
1	-40.20	-39.50	-41.80	-40.10	-42.80	-41.90
2	-39.80	-37.90	-51.80	-45.60	-48.90	-47.10
3	-39.60	-40.10	-44.10	-41.30	-52.30	-49.50
4	-40.50	-40.90	-43.90	-43.80	-45.70	-43.70
5	-43.40	-38.20	-40.70	-41.70	-53.50	-50.30
6	-39.90	-39.20	-41.20	-40.60	-53.70	-48.90

4.2.1.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองริเกรสชันเชิงเส้นที่
ความสูง 3 m โพลาริซ์แบบแนวนอน จากสมการที่ 2.30 จะได้

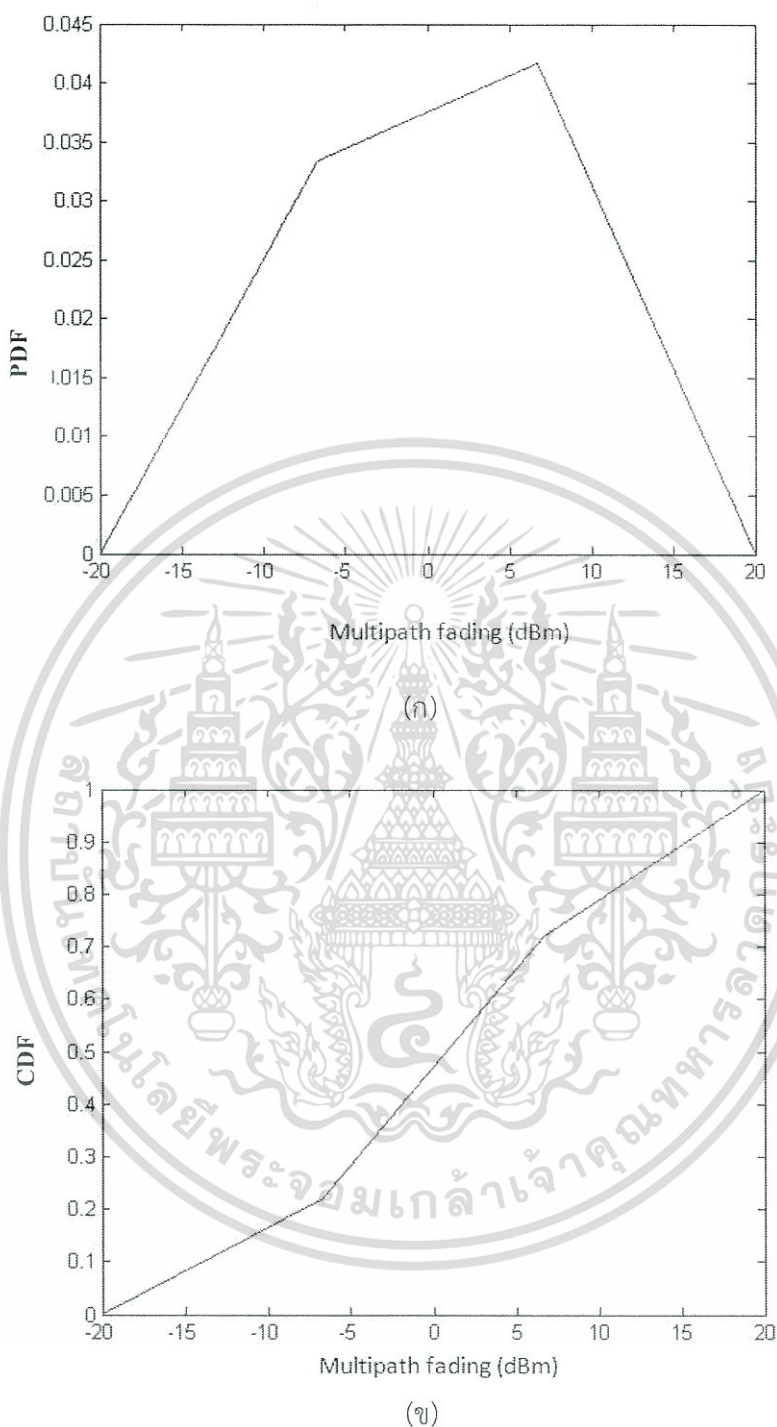
$$P_r [dBm] = -17.8746 \log(d) - 27.5254$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของการ
โพลาไรซ์แนวนอนที่ระยะความสูง 3 m

กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นตามรูปที่ 4.5 ซึ่งจะได้พารามิเตอร์เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของการโพลาไรซ์แบบแนวนอนที่ระยะความสูง 3 m โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีค่า 27.53 dBm ซึ่งผลที่ได้เห็น โดยกราฟแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ 3 ระยะ คือ 5 ,10 และ 15 กิโลเมตร มีค่า -40.57 , -43.92 และ -49.48 dBm ตามลำดับโดยคิดจากค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.6 Multipath fading factor

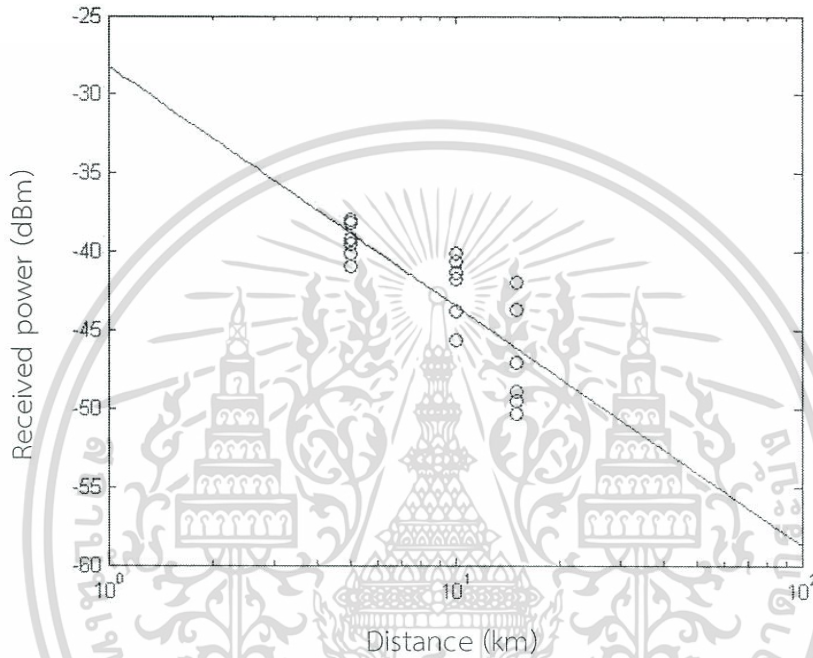
(ก) PDF (ข) CDF

รูปที่ 4.6 (ก) และ 4.6 (ข) แสดง PDF และ CDF ของตัวร่วมของการเกิด Multipath fading โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรณีการโพราไรซ์แบบแนวอนที่ระยะความสูง 3 m มีค่าเป็น 4.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

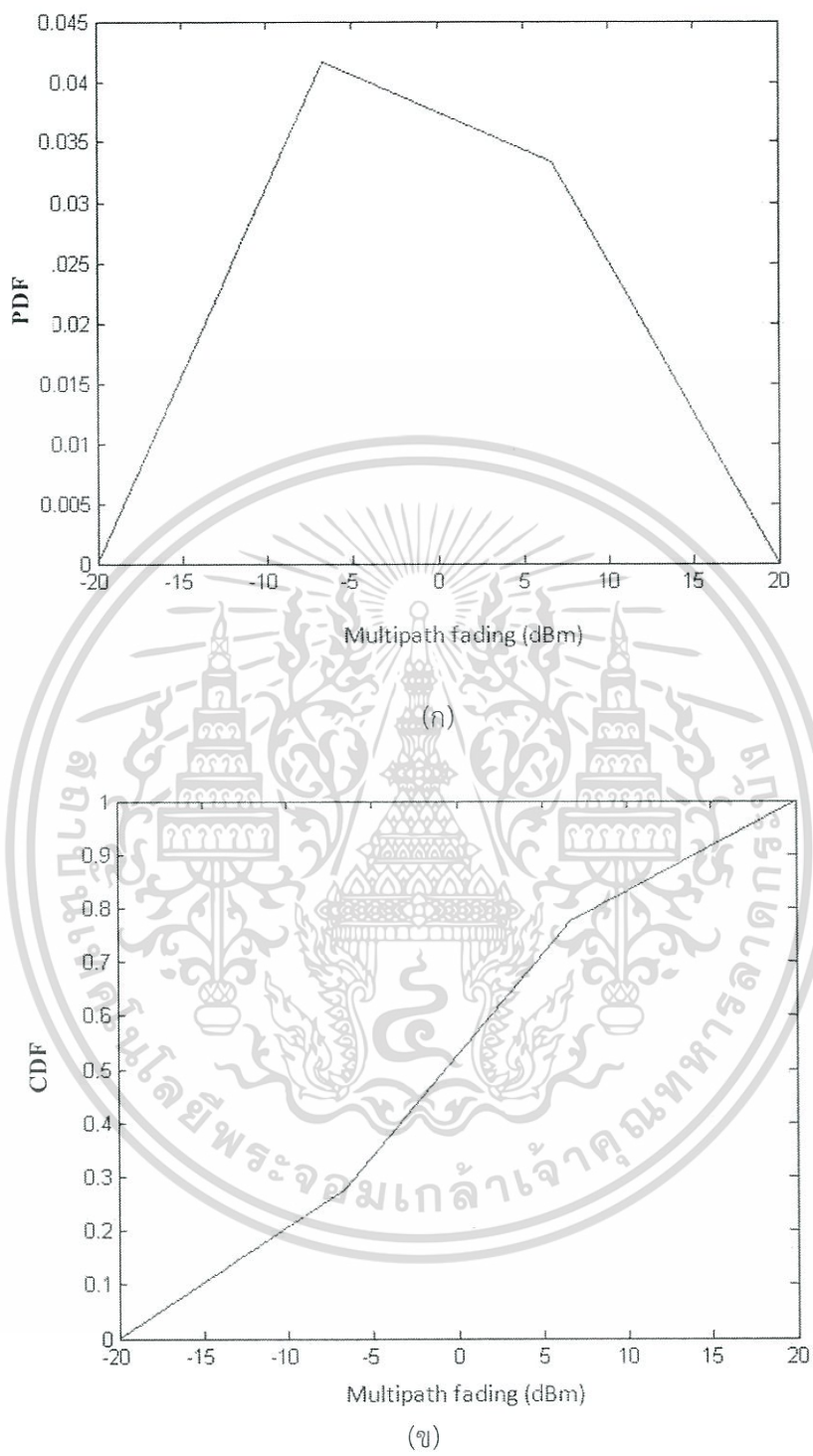
4.2.1.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นที่ความสูง 5 m โพลาริซ์แบบแนวนอน จากสมการที่ 2.30 จะได้

$$P_r[\text{dBm}] = -15.2446 \log(d) - 28.1847$$



รูปที่ 4.7 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของการโพลาไรซ์แนวนอนที่ระยะความสูง 5 m

กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นตามรูปที่ 4.7 ซึ่งจะได้พารามิเตอร์เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของการโพลาไรซ์แบบแนวนอนที่ระยะความสูง 5 m โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีค่า -28.18 dBm ซึ่งผลที่ได้เห็นโดยกราฟแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ 3 ระยะ คือ 5 ,10 และ 15 กิโลเมตร มีค่า -39.30 , -42.108 และ -46.90 dBm ตามลำดับโดยคิดจากค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.8 Multipath fading factor

(ก) PDF (ข) CDF

รูปที่ 4.8 (ก) และ 4.8 (ข) แสดง PDF และ CDF ของตัวร่วมของการเกิด Multipath fading โดยค่าส่วน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันวิจัยการช่างานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาไปเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกรณีของการโพลาริซ์แบบแนวนอนจะเห็นว่าที่ความสูง 3 m และความสูง 5 m มีค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร เท่ากับ -27.53 dBm และ -28.18 dBm ตามลำดับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.94 และ 3.82 dBm ตามลำดับ

4.2.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในโพลาริซ์แบบแนวตั้ง

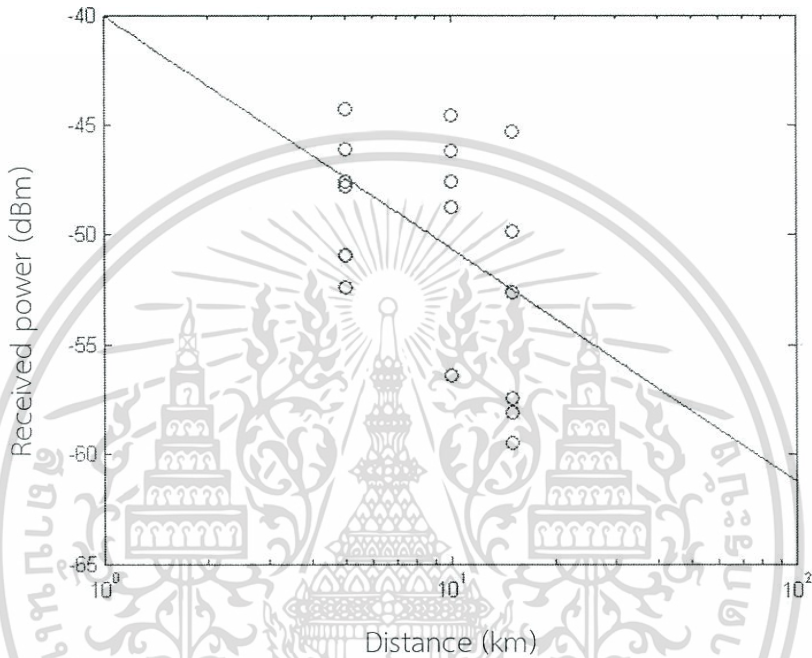
ตารางที่ 4.3 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวตั้ง)

ระยะทาง	5 km		10 km		15 km	
	3 m	5 m	3 m	5 m	3 m	5 m
1	-47.60	-44.90	-47.60	-44.20	-45.30	-43.60
2	-44.30	-41.40	-56.40	-54.80	-52.60	-50.70
3	-47.80	-45.10	-48.70	-46.60	-58.10	-55.30
4	-50.90	-47.80	-47.60	-46.30	-49.80	-46.20
5	-52.40	-48.70	-46.20	-43.50	-57.40	-56.10
6	-46.10	-43.40	-44.60	-41.40	-59.50	-56.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

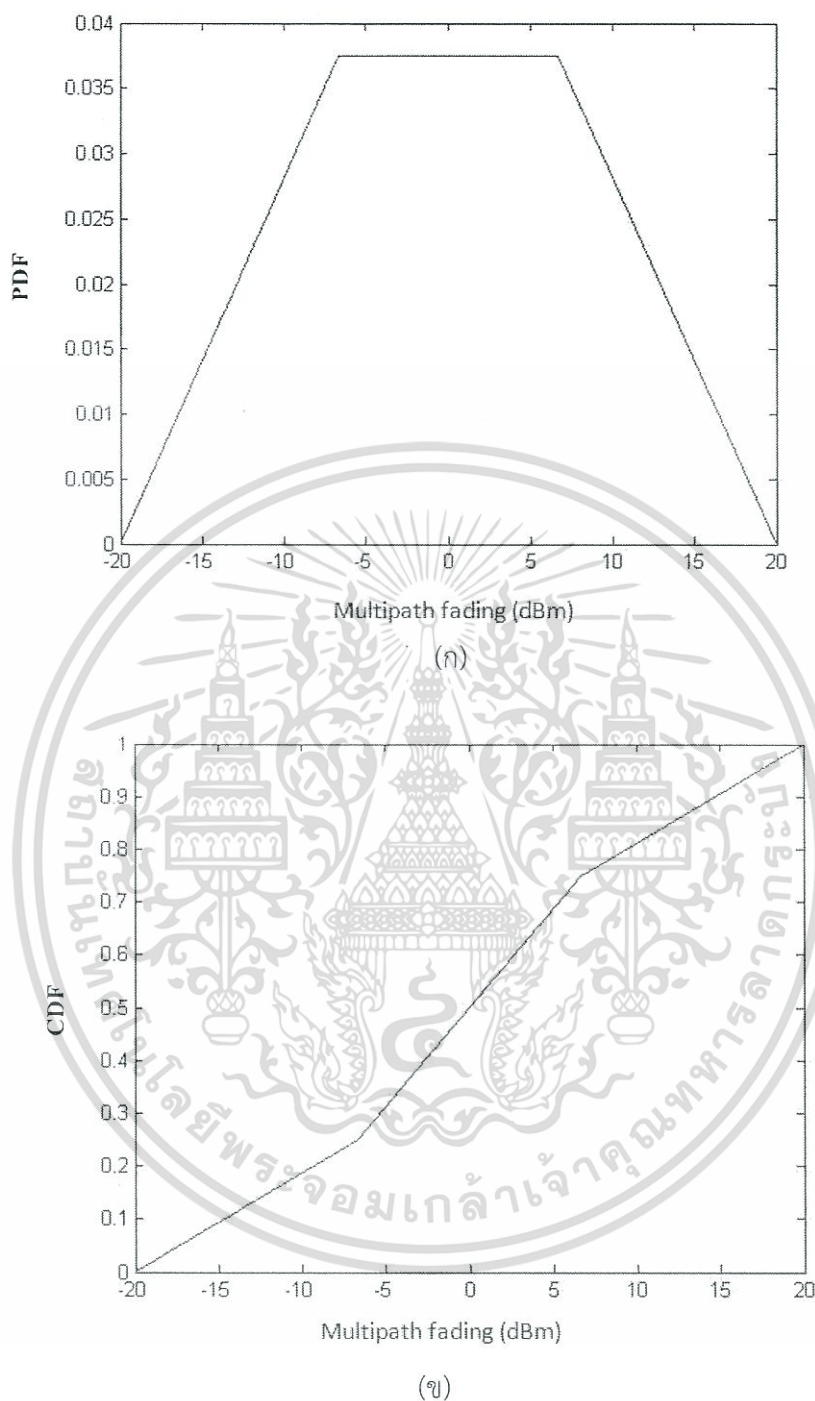
4.2.2.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นที่ความสูง 3 เมตร โพลาริซ์แบบแนวตั้ง จากสมการที่ 2.30 จะได้

$$P_r[\text{dBm}] = -10.5925 \log(d) - 40.0098$$



รูปที่ 4.9 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของการโพลาไรซ์แนวตั้งที่ระยะความสูง 3 m

กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นตามรูปที่ 4.9 ซึ่งจะได้พารามิเตอร์เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของการโพลาไรซ์แบบตั้งที่ระยะความสูง 3 m โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีค่า -40.01 dBm ซึ่งผลที่ได้เห็นโดยกราฟแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ 3 ระยะ คือ 5 ,10 และ 15 กิโลเมตร มีค่า -48.18 , -48.52 และ -53.78 dBm ตามลำดับโดยคิดจากค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.10 Multipath fading factor

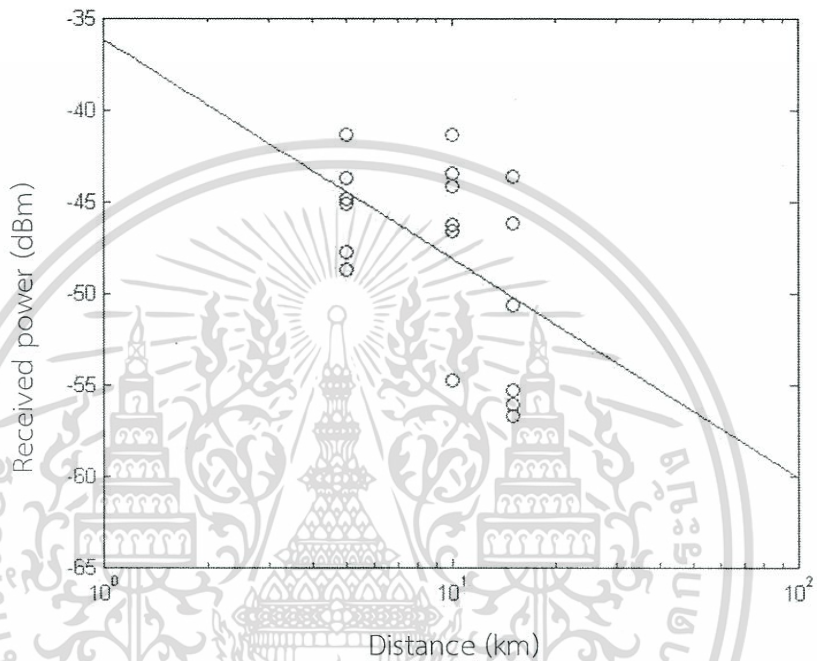
(ก) PDF (ข) CDF

รูปที่ 4.10 (ก) และ 4.10 (ข) แสดง PDF และ CDF ของตัวร่วมของการเกิด Multipath fading โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรณีการโพราไรซ์แบบแนวนอนที่ระยะความสูง 3 m มีค่า เป็น 4.72 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

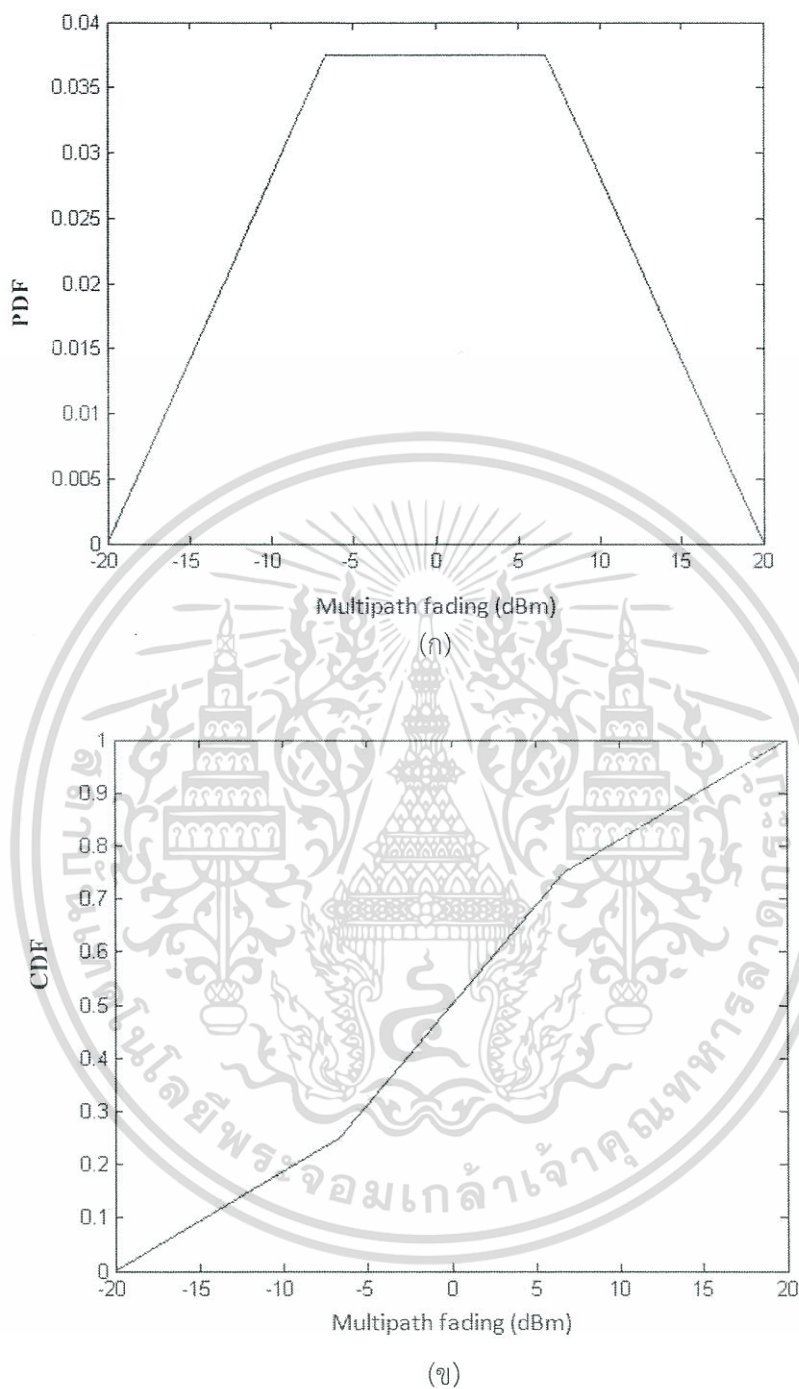
4.2.2.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นที่ความสูง 5 m โพลาริซ์แบบแนวตั้งจากสมการที่ 2.30 จะได้

$$P_r[\text{dBm}] = -11.5938 \log(d) - 36.1385$$



รูปที่ 4.11 การสูญเสียเชิงวิถีเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของการโพลาไรซ์แนวตั้งที่ระยะความสูง 5 m

กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นตามรูปที่ 4.11 ซึ่งจะได้พารามิเตอร์เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของการโพลาไรซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 5 m โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีค่า -36.14 dBm ซึ่งผลที่ได้เห็นโดยกราฟแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ 3 ระยะ คือ 5 ,10 และ 15 กิโลเมตร มีค่า -45.30 , -46.13 และ -51.43 dBm ตามลำดับโดยคิดจากค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.12 Multipath fading factor

(ก) PDF (ข) CDF

รูปที่ 4.12 (ก) และ 4.12 (ข) แสดง PDF และ CDF ของตัวร่วมของการเกิด Multipath fading โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรณีการโพราไรซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 5 m มีค่าเป็น 4.91 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกรณีของการโพลาริซ์แบบแนวตั้งจะเห็นว่าที่ความสูง 3 m และความสูง 5 m มีค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร เท่ากับ -40.01 dBm และ -36.14 dBm ตามลำดับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.72 และ 4.91 dBm ตามลำดับ

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลข้อมูลที่ได้จากการวัดกำลังของสัญญาณและผลจากการจำลองช่องสัญญาณด้วยวิธีแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นจะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นนั้นสามารถดูและวิเคราะห์ได้เป็นบางช่วง บางเขตในกรุงเทพมหานคร จึงเป็นการวิเคราะห์ผลสัญญาณเบื้องต้นภายในกรุงเทพมหานครเท่านั้น ดังนั้นค่าที่ออกมาจึงไม่เป็นเชิงเส้นเท่าที่ควร เนื่องจากเพราะข้อมูลของจำนวนตำแหน่งสัญญาณนั้นมีไม่ครอบคลุม ทำให้ไม่สามารถเห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่าง ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้กับระยะทางได้ชัดเจน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและสร้างสายอากาศโดยอาศัยการตรวจสอบพื้นฐานการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ด้วยการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศได้แก่ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศ ทำให้ได้สายอากาศที่สามารถนำมาใช้งานจริงด้วยการทดลองรับสัญญาณระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล รวมถึงการใช้สายอากาศดังกล่าวในการออกแบบการจำลองช่องสัญญาณ

5.1 สรุปผล

5.1.1 สรุปผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ

ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ จะเห็นได้ว่าค่า S11 มีค่าต่ำกว่า -10 dB ทั้งช่วงความถี่ 510-790 MHz ส่วนประสิทธิภาพของสายอากาศพบว่าสายอากาศนั้นสามารถใช้งานได้จริงโดยรวมแล้วสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศไดโพลแบบลูปทรีหรือดิกสามารถใช้งานในช่วงความถี่ 510-790 MHz ได้

5.1.2 สรุปผลการศึกษาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จากกราฟจะเห็นได้ว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นไปในรูปแบบ directional หรือ ก็คือมีทิศทางพุ่งไปในทิศทางเดียวซึ่งก็ตรงกับทฤษฎีทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศไดโพลแบบลูปทรีหรือดิก สามารถนำไปใช้งานได้

5.1.3 สรุปผลวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยายของสายอากาศตามที่ได้จากการสร้างคือ 10.5 dBi โดยวัดทั้งในแนวระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าสายอากาศที่ได้จากการสร้างนั้นจะมีอัตราขยาย

5.1.4 สรุปผลแบบจำลองช่องสัญญาณ

ในการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองช่องสัญญาณ โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ แบบจำลอง ริเกอร์สชันเชิงเส้นทำให้ได้แบบจำลองกำลังสัญญาณที่รับได้ โดยจะแสดงได้ด้วย สมการและกราฟกล่าว คือ เมื่อระยะยิ่งไกลออกไปมากเท่าไรค่าความแรงของสัญญาณก็จะลดลงไป มากเท่านั้นจึงทำให้สัญญาณที่รับได้นั้นมีค่าลดลง ซึ่งเกิดจากการสูญเสียในเส้นทาง นอกจากนั้นยัง อาศัยแบบจำลองทางสถิติซึ่งจะประกอบไปด้วยกราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและ กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมทำให้ได้มาซึ่งกราฟของการเกิดเพดดิ้ง กล่าวคือ ในระยะทางที่ห่าง จากเครื่องส่งเท่ากันพบว่าค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้และวัดได้มานั้นมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากการ สูญเสียที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมดังเช่นการ บดบังจากตึก อาคารสูง การสะท้อนของสัญญาณที่พื้น

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูล

ตัวแปรที่ศึกษา	โพลาริซแบบแนวตั้ง		โพลาริซแบบแนวนอน	
	ความสูง 3 m	ความสูง 5 m	ความสูง 3 m	ความสูง 5 m
กำลังของสัญญาณ รับได้ระยะ 1 km (dBm)	-40.01	-36.14	-27.53	-28.18
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	4.91	4.72	4.94	3.82

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า กรณีการโพลาริซแบบแนวตั้งพบว่าที่ความสูง 5 เมตร มีค่า กำลังของสัญญาณรับได้มากกว่าที่ความสูง 3 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 3.87 dBm นั่นคือ ที่ความสูง 5 เมตร เกิดการสูญเสียน้อยกว่าที่ความสูง 3 เมตร นอกจากนั้นที่ความสูง 3 เมตร ยังมีค่าส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าการเกิดเพดดิ้งที่มากกว่าที่ความสูง 5 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 0.19 dBm

ในกรณีของโพลาริซแบบแนวนอนพบว่า ที่ความสูง 5 เมตร มีค่ากำลังของสัญญาณ รับได้ มากกว่าที่ความสูง 3 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 0.65 dBm นั่นคือที่ความสูง 5 เมตร เกิดการสูญเสีย น้อยกว่าที่ความสูง 3 เมตร นอกจากนั้นที่ความสูง 3 เมตร ยังมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่า การเกิดเพดดิ้งที่มากกว่าที่ความสูง 5 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 1.12 dBm

สรุปได้ว่าทั้งในกรณีการโพราไรซ์แบบแนวตั้งและกรณีการโพราไรซ์แบบแนวนอนที่ ความสูง 5 เมตร เกิดการสูญเสียน้อยกว่าที่ความสูง 3 เมตร รวมถึงการเกิดเฟดดิ้งของสัญญาณที่น้อยกว่าด้วยเช่นกันซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของสายอากาศ จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าที่ความสูงของสายอากาศ 5 เมตร ทั้งในกรณีการ โพลาไรซ์แบบแนวตั้งและแนวนอนสามารถรับสัญญาณได้ดีกว่าสายอากาศที่ความสูง 3 เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

สายอากาศที่ได้จากการสร้างมานั้น มีค่าการสูญเสียย้อนกลับซึ่งสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการ แต่ยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร ด้วยสาเหตุเนื่องจากวัสดุที่นำมาสร้างมีข้อจำกัดหลายอย่างทั้งทางด้านโครงสร้าง ราคาและการจัดหาวัสดุ ทำให้ต้องเลือกหาวัสดุที่สามารถหาได้โดยทั่วไป ซึ่งผลการทดลองข้างต้นยังมีข้อผิดพลาดอยู่แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้และสามารถยอมรับได้ แต่จากการนำสายอากาศที่ได้จากการสร้างขึ้นไปทำการทดลองใช้งานจริงจึงพบว่าสายอากาศที่ได้จากการสร้างชนิดลูปพริออกติกนี้สามารถใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ ทั้งนี้ทั้งนั้นสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงจะสามารถรับสัญญาณได้ดีแต่มีข้อเสียของสายอากาศชนิดลูปพริออกติกที่ได้จากการสร้างนี้ คือ เป็นสายอากาศทิศทางเดียวจึงจำเป็นต้องหันสายอากาศรับไปในทิศทางที่ถูกต้องจึงจะสามารถรับสัญญาณได้ดังนั้นในการเลือกใช้งานสายอากาศรับจึงควรพิจารณาจากความต้องการเป็นหลักเพื่อให้ได้สายอากาศที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้งาน

บรรณานุกรม

- [1] John D.Kraus, Ronald J,Marhefka, “*Antennas For All Application*”, The McGraw-Hill, 1997.
- [2] Log Periodic Dipole Array , “*Antenna Theory*” , <http://www.antenna-theory.com/>, 2009
- [3] John Wiley & Sons: New Jersey, “*Antenna theory - analysis and design*”, Constantine A. Balanis, 2005.
- [4] ไม่นอย ไกรฤกษ์. “*ทฤษฎีสายอากาศ.*” พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ ,2535
- [5] มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล , สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.
- [6] W.L.Stutzman and G.A Thiele, “*Antenna Theory and design*” ,New York:J.Wiley,1981.
- [7] J.D. Kraus,“*Electromagnetics.New York:Mc Graw-Hill*” , Feb.1984.
- [8] R.S. Elliot, “*Antenna Theory and Design*”, Englewood Cliffs,NJ.:prent-Hall,1984.
- [9] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์(2536).”*วิศวกรรมสายอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 3).*”, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. มิ.ย 2536
- [10] Constantine A. Balanis, “*Antenna theory - analysis and design 3rd ed.*”, John Wiley & Sons : New Jersey,2005.

[11] Walter Fischer , “*Digital Video and Audio Broadcasting Technology 3rd ed.*”, A Practical Engineering Guide , 2010.

[12] แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล , สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.

[13] Jay L. Devore. “*Probability and Statistics for Engineering and the Sciences. 4th ed*”,Wadsworth ,Wadsworth Publishing Company,1995.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล เพื่อให้ประชาชนผู้ใช้บริการสามารถใช้งานเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดังกล่าวเพื่อรับชมกิจการโทรทัศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มาตรฐานและคุณภาพด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ซึ่งเป็นการคุ้มครองผู้บริโภค และเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมในภาพรวม

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๒๗ (๑๐) และ (๒๔) และมาตรา ๓๗ แห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. ๒๕๕๓ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๓๖ มาตรา ๔๑ มาตรา ๔๓ มาตรา ๔๕ มาตรา ๔๖ มาตรา ๔๗ มาตรา ๖๑ และมาตรา ๖๔ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ จึงกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ดังมีรายละเอียดตามมาตรฐานเลขที่ กสทช. มส. 4002 - 2555 แนบท้ายประกาศนี้

ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๒ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๕

พันเอก นที ศุกลรัตน์

ประธานกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์

ปฏิบัติหน้าที่แทน ประธานกรรมการกิจการกระจายเสียง

กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กสทช. มส. 4002-2555



มาตรฐานทางเทคนิค
สำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์

และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

87 ถนนพหลโยธิน ซอย 8 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400

โทร. 0 2271 0151-60 เว็บไซต์ www.nbt.go.th

1. ขอบข่าย

มาตรฐานทางเทคนิคนี้ ระบุลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ทั้งที่เป็นเครื่องรับแบบมีจอภาพแสดงผล หรือ integrated Digital Television (iDTV) และเครื่องรับแบบไม่มีจอภาพแสดงผล หรือ Set-Top-Box ซึ่งสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลในระบบ Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2) ได้ทั้งแบบมาตรฐานความคมชัดปกติ (Standard Definition: SD) และแบบมาตรฐานความคมชัดสูง (High Definition: HD)

2. ข้อกำหนดทั่วไปทางเทคนิค (General Requirements)

2.1 ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้าและความปลอดภัย

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าและความปลอดภัยตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก. 1195-2536 [1]

2.2 ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Compatibility)

ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน CISPR 13 [2] หรือ มอก. 2185-2547 [3]

2.3 การติดตั้งและใช้งาน

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องมาพร้อมกับคู่มือการติดตั้งและใช้งานทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2.4 รีโมทคอนโทรล (Remote Control)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องมาพร้อมกับรีโมทคอนโทรลซึ่งมีปุ่มนูนสัมผัส (Tactile marking) บนปุ่มกดตัวเลข '5'

3. ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านหัวต่อและส่วนต่อเชื่อม (Connectors and Interfaces)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องมีหัวต่อและส่วนต่อเชื่อมเป็นไปตามข้อกำหนดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดด้านเทคนิคด้านหัวต่อและส่วนเชื่อมต่อ

ประเภทของหัวต่อ	ข้อกำหนด
หัวต่อภาครับขาเข้า (RF Input Connector)	หัวต่อแบบตัวเมีย (female connector) เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60169-2 [4] โดยมีความต้านทานสัญญาณขาเข้า (input impedance) 75 โอห์ม ทั้งนี้ สำหรับเครื่องรับแบบไม่มีจอภาพแสดงผลจะต้องรองรับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ให้กับสายอากาศแบบแอคทีฟ (active antenna) โดยผู้ใช้ต้องสามารถเปิด/ปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เอง และมีสถานะเริ่มต้นเป็นปิด (off)
หัวต่อภาครับขาออก (RF Loop-through)	เครื่องรับแบบไม่มีจอภาพแสดงผลต้องมีหัวต่อแบบตัวผู้ (male connector) เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60169-2
หัวต่อสัญญาณภาพและเสียง	เครื่องรับแบบไม่มีจอภาพแสดงผลต้องมีหัวต่อสัญญาณขาออกดังนี้ ๑. หัวต่อแบบ RCA (RCA-phonó socket) สำหรับสัญญาณเสียงขาออกแบบสเตอริโอ (stereo audio) ซึ่งมาพร้อมกับสายสัญญาณ ๒. หัวต่อแบบ RCA (RCA-phonó socket) สำหรับสัญญาณภาพขาออกแบบคอมโพสิต (composite) ซึ่งมาพร้อมกับสายสัญญาณ ๓. หัวต่อแบบ HDMI ซึ่งสามารถป้องกันการทำสำเนา (HDCP) สำหรับสัญญาณขาออกดิจิทัล ซึ่งมาพร้อมกับสายสัญญาณ

4. ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านภาครับสัญญาณและภาคถอดรหัสสัญญาณ (RF Tuner and Decoder Requirements)

4.1 คุณสมบัติด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ (Radio Frequency Requirements)

คุณสมบัติด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 คุณสมบัติ และข้อกำหนดด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ

คุณสมบัติ	ข้อกำหนด
ย่านความถี่วิทยุสำหรับภาครับสัญญาณ	470-862 เมกะเฮิร์ตซ์
ความกว้างช่องสัญญาณ (bandwidth)	8 เมกะเฮิร์ตซ์
ตัวเลขแสดงสัญญาณรบกวน (noise figure)	ไม่เกิน 6 dB
ความไวในการรับสัญญาณ (sensitivity)	น้อยกว่า -78.3 dBm สำหรับกรณีขนาดของ FFT 32K (Extended), การมอดูเลตสัญญาณแบบ 256-QAM, อัตราการเข้ารหัส 2/3, ระบบสายอากาศแบบ SISO, และมีแบบรูปสัญญาณไพลอต PP7
การปรับเลื่อนความถี่ช่องสัญญาณ (Channel Offset)	ต้องสามารถรับสัญญาณคลื่นพาห้ที่ถูกปรับเลื่อน (Offset) จากความถี่ศูนย์กลางตามปกติได้ถึง ± 125 กิโลเฮิร์ตซ์

4.2 วิธีการทำงานของระบบ DVB-T2 (DVB-T2 Operating Modes)

วิธีการทำงานของภาครับสัญญาณและภาคถอดรหัสสัญญาณในระบบ DVB-T2 ให้เป็นตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI EN 302 755 [5] ทั้งนี้ ต้องรองรับการทำงานดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทำงานของภาครับสัญญาณและภาคถอดรหัสสัญญาณที่ต้องรองรับในระบบ DVB-T2

ลักษณะของการทำงาน	การทำงานที่ต้องรองรับ
ขนาดของ FFT (FFT size)	1K, 2K, 4K, 8K (Normal), 8K (Extended), 16K (Normal), 16K (Extended), 32K (Normal), และ 32K (Extended)
การมอดูเลตสัญญาณ (modulation)	QPSK, 16-QAM, 64-QAM และ 256-QAM
อัตราการเข้ารหัส (code rate)	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
ช่วงเวลาป้องกัน (guard interval)	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
แบบรูปสัญญาณไพลอต (pilot pattern)	PP1 ถึง PP7
รูปแบบของการรับบริการ	๑. รองรับบริการทั้งในลักษณะ Single PLP (Mode A) และ Multiple PLP (Mode B) ๒. รองรับการทำงานของโครงข่ายแบบความถี่เดียว (Single Frequency Network: SFN) ตามมาตรฐาน ETSI TS 101 191 [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านการดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณและกระแสนิ่ง (De-multiplexing and Transport Stream)

การดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณและการถอดรหัสสัญญาณสำหรับกระแสนิ่ง MPEG-2 (MPEG-2 Transport Stream) ของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ETSI TS 101 154 [7] และมาตรฐาน ISO/IEC 13818-1 [8]

6. ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านสัญญาณภาพและเสียง (Video and Audio)

ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านสัญญาณภาพและเสียงสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ต้องเป็นไปตามมาตรฐานดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อกำหนดด้านสัญญาณภาพและเสียง

ลักษณะของการทำงาน	มาตรฐานที่ต้องรองรับ
การถอดรหัสสัญญาณภาพ	MPEG-4 AVC/H.264 ตามมาตรฐาน ISO/IEC 14496-10 [9]
การแสดงผลภาพ	รองรับการแสดงผลความคมชัดสูง ความละเอียด 1920x1080 แบบ interlace (1080i) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 25 ภาพต่อวินาที และอัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9
	รองรับการแสดงผลความคมชัดสูง ความละเอียด 1280x720 แบบ progressive (720p) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 50 ภาพต่อวินาที และอัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9
	รองรับการแสดงผลความคมชัดปกติ ความละเอียด 720x576 แบบ interlace (576i) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 25 ภาพต่อวินาที และอัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9 และ 4:3
การถอดรหัสสัญญาณเสียง	การถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ 2 ช่องเสียง (stereo) แบบ MPEG-4 HE AACv2 ตามมาตรฐาน ISO/IEC 14496-3 [10]

ทั้งนี้ การแสดงผลของสัญญาณภาพต้องรองรับรูปแบบการแสดงผลตามข้อกำหนดของ Active Format Description (AFD) ในมาตรฐาน ETSI TS 101 154 โดยต้องรองรับอย่างน้อย 2 รูปแบบ ดังตารางที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 รูปแบบการแสดงผลของสัญญาณภาพ

สัญญาณภาพขาเข้า				การแสดงผลของสัญญาณภาพที่ออกอากาศ	
สัญญาณภาพต้นทาง		อัตราส่วนภาพที่ออกอากาศ	รหัส AFD	16:9	4:3
อัตราส่วนภาพจากสัญญาณภาพต้นทาง	ภาพจากสัญญาณภาพขาเข้า				
16:9		16:9	1000		
4:3		4:3	1001		

7. ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านการประมวลผลและแสดงผลข้อมูล

7.1 หน่วยประมวลผลและหน่วยความจำ (Processor and Memory)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องมีหน่วยประมวลผลและหน่วยความจำที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่าดังต่อไปนี้

- (๑) หน่วยความจำแบบ DDRAM ที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 64 เมกะไบต์
- (๒) หน่วยความจำแบบ Flash ที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 8 เมกะไบต์
- (๓) หน่วยประมวลผลที่มีความเร็วไม่น้อยกว่า 300 เมกะเฮิร์ตซ์

7.2 ชุดอักขระ (Character Set)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องรองรับชุดอักขระตามมาตรฐาน ETSI EN 300 468[11] ในตารางรหัสอักขระ 00 (Character code table 00 – Latin alphabet with Unicode equivalents) และตารางรหัสอักขระ 07 (Character code table 07 - Latin/Thai alphabet with Unicode equivalents)

7.3 ภาษาในเมนูที่แสดงบนจอภาพ (On Screen Display: OSD)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องรองรับการแสดงผลเมนูบนจอภาพเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยมีค่าเริ่มต้นเป็นภาษาไทยหรือผู้ใช้ต้องสามารถเลือกภาษาได้ในการใช้งานครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 ระบบคำบรรยายใต้ภาพ (Subtitling System)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องรองรับระบบคำบรรยายใต้ภาพตามมาตรฐาน ETSI EN 300 743 [12] โดยต้องรองรับการถอดรหัสและการแสดงผลแบบ Display Definition Segment (DDS) ตามมาตรฐานดังกล่าวด้วย

7.5 การรองรับการแสดงผลภาพและเสียงหลายภาษา

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องรองรับการรับฟังเสียงและการแสดงผลคำบรรยายใต้ภาพได้หลายภาษา โดยผู้ใช้ต้องสามารถกำหนดภาษาหลักได้เองตามต้องการ อย่างน้อยต้องรองรับภาษาดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ภาษาที่เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องรองรับ

ภาษา	รหัสภาษาตามมาตรฐาน ISO 639-3 [13]
ไทย	THA
อังกฤษ	ENG
เสียงต้นฉบับ	QAA

7.6 บริการและหมายเลขช่อง

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องสามารถรับสัญญาณทุกสัญญาณที่มีการให้บริการในพื้นที่นั้นๆ โดยการตรวจกวาดค้นหาสัญญาณตลอดย่านความถี่วิทยุที่กำหนดในข้อ 4.1

ทั้งนี้ ทุกบริการจะมีหมายเลขช่อง (LCN) และต้องจัดช่องรายการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลที่มีค่า ONID (Original Network ID) ของประเทศไทยเป็นลำดับแรก โดยมีแผนหมายเลขช่องเริ่มจากหมายเลข 1 ถึงหมายเลข 999 และมีการจัดกลุ่มช่องรายการเป็นดังนี้

- (๑) หมายเลข 1 ถึงหมายเลข 799 เป็นหมายเลขช่องสำหรับช่องรายการภายในประเทศ ซึ่งมีค่า ONID เป็น 0x22FC
- (๒) หมายเลข 800 ถึงหมายเลข 999 เป็นหมายเลขช่องสำหรับช่องรายการที่มีค่า ONID อื่นๆ

หากโครงข่ายสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงดังนี้

- (๑) เพิ่มหรือลดจำนวนมัลติเพล็กซ์
- (๒) เปลี่ยนช่องความถี่วิทยุของมัลติเพล็กซ์
- (๓) เพิ่มหรือลดจำนวนช่องรายการ
- (๔) เปลี่ยนหมายเลขช่องรายการ
- (๕) การเปลี่ยนแปลงอื่นใดบนโครงข่ายที่กระทบต่อช่องรายการ

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องสามารถปรับเปลี่ยนและแสดงช่องรายการได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 ตัวบอกรายการ (Logical Channel Descriptor)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องรองรับการทำงานตามข้อกำหนดของตัวบอกรายการ เวอร์ชัน 2 (Logical Channel Descriptor version 2) ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับการจัดลำดับช่องรายการตามเขตบริการ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 โครงสร้างตัวบอกรายการ

โครงสร้าง	จำนวนบิต	ประเภทข้อมูล
Logical_channel_v2_descriptor (){		
descriptor_tag	8	Uimsbf
descriptor_length	8	Uimsbf
for (i=0;i<N;i++){		
channel_list_id	8	Uimsbf
channel_list_name_length	8	Uimsbf
for (i=0;i<N;i++){		
char	8	Uimsbf
}		
country_code	24	Uimsbf
descriptor_length	8	Uimsbf
for (i=0;i<number_of_services;i++){		
service_id	16	Uimsbf
visible_service_flag	1	Bslbf
reserved_future_use	5	Bslbf
logical_channel_number	10	Uimsbf
}		
}		
}		

ทั้งนี้ พารามิเตอร์ต่างๆ มีคำอธิบาย ดังต่อไปนี้

descriptor_tag: ต้องมีค่าเป็น 0x87 (หรือ 135 ในระบบเลขฐานสิบ)

descriptor_length: เป็นข้อมูลขนาด 8 บิต ระบุขนาดความยาวของตัวบอก (descriptor)

channel_list_id: เป็นข้อมูลขนาด 8 บิต และใช้กำหนดกลุ่มของช่องรายการ (channel list) สำหรับเขตบริการแต่ละเขต โดยค่าดังกล่าวจะต้องไม่ซ้ำกันในโครงข่าย (original network)

ในกรณีการตรวจค้นหาสัญญาณแล้วพบกลุ่มของช่องรายการมากกว่าหนึ่งกลุ่ม ผู้ใช้จะต้องสามารถเลือกได้ว่า จะรับชมรายการตามกลุ่มใด โดยเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลจะต้องจัดเรียงช่องรายการตามกลุ่มนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

channel_list_name_length: เป็นข้อมูลขนาด 8 บิต และใช้ระบุจำนวนไบต์ของข้อมูลถัดจากข้อมูลนี้ (ข้อมูลชื่อกลุ่มของช่องรายการ หรือ name of the channel list) ซึ่งเป็นการระบุจำนวนอักขระในชื่อกลุ่มของช่องรายการ ซึ่งชื่อดังกล่าวมีขนาดได้สูงสุด 23 ไบต์

char: เป็นข้อมูลอักขระขนาด 8 บิต โดยสายอักขระ (string of characters) ใช้สำหรับระบุชื่อกลุ่มของช่องรายการ โดยข้อมูลดังกล่าวต้องอ้างอิงจากชุดอักขระตามตารางรหัสอักขระ 00 (Character code table 00 – Latin alphabet with Unicode equivalent) ตามมาตรฐาน ETSI EN 300 468

country_code: เป็นข้อมูลขนาด 24 บิต และใช้ระบุชื่อประเทศแบบสามอักขระตามมาตรฐาน ISO 3166 [14] โดยแต่ละอักขระจะได้รับการเข้ารหัสให้มีขนาด 8 บิตตามมาตรฐาน ISO 8859-1 [15] และถูกบรรจุตามลำดับในข้อมูลขนาด 24 บิตนี้ ทั้งนี้ ข้อมูลนี้ต้องถูกกำหนดเป็น “THA”

service_id: ใช้ระบุหมายเลขบริการ (service ID) บนกระแสขนส่ง (transport stream)

visible_service_flag: กำหนดเป็น 1 เมื่อต้องแสดงช่องรายการ (visible) และเป็น 0 เมื่อไม่ต้องแสดงช่องรายการ (not visible)

reserved_future_use: สำหรับข้อมูลนี้ทุกบิตจะต้องถูกกำหนดให้เป็น 1 โดยเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลจะต้องเพิกเฉยต่อข้อมูลนี้

logic_channel_number: หมายเลขช่องรายการ

7.8 ผังรายการอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Program Guide: EPG)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องรองรับการประมวลผลและแสดงผลผังรายการอิเล็กทรอนิกส์จากตาราง DVB SI EIT p/f และตาราง DVB SI EIT Schedule ตามมาตรฐาน ETSI EN 300 468 โดยการแสดงผลต้องประกอบด้วยข้อมูลอย่างน้อยดังนี้

- (๑) วัน เดือน ปี และเวลาปัจจุบัน
- (๒) เวลาเริ่มรายการปัจจุบัน (now/present) และรายการถัดไป (next/follow)
- (๓) เวลาจบรายการปัจจุบัน (now/present) และรายการถัดไป (next/follow)
- (๔) หมายเลขช่อง (LCN)
- (๕) ชื่อตอน และ/หรือ ชื่อเรื่องของรายการ
- (๖) คำอธิบายโดยย่อ
- (๗) ประเภทรายการ

ทั้งนี้ เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลจะต้องสามารถเก็บและแสดงผลผังรายการอิเล็กทรอนิกส์ล่วงหน้าได้ไม่น้อยกว่า 7 วัน (24 ชั่วโมงต่อวัน)

7.9 การแสดงผลระดับความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) และคุณภาพของสัญญาณ (Signal Quality)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องสามารถแสดงผลระดับความแรงและคุณภาพของสัญญาณผ่านทางหน้าจอของตัวเครื่องรับหรือผ่านทางจอภาพแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้เป็นปัจจุบัน (System Software Update : SSU)

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องรองรับการปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้เป็นปัจจุบันตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI TS 102 006 [16] โดยอย่างน้อยต้องรองรับการทำงานลักษณะ simple profile

9. การแสดงความสอดคล้องตามมาตรฐานทางเทคนิค

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลให้แสดงความสอดคล้องตามมาตรฐานทางเทคนิคที่กำหนดไว้ในประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ว่าด้วยการตรวจสอบและรับรองมาตรฐานของเครื่องวิทยุคมนาคมและอุปกรณ์ในกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ ทั้งนี้ ในระหว่างที่ประกาศดังกล่าวข้างต้นยังไม่มีผลใช้บังคับ ให้ใช้หลักการรับรองตนเองของผู้ประกอบการ (Supplier's Declaration of Conformity : SDoC) โดยให้ผู้ประกอบการ ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย หรือผู้นำเข้าซึ่งเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลที่มีหน้าที่รับผิดชอบต่อเครื่องรับสัญญาณนั้น จะต้องจัดทำคำยืนยันเป็นลายลักษณ์อักษรว่า เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลมีความสอดคล้องตามมาตรฐานทางเทคนิคที่กำหนดในประกาศฉบับนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อภิธานศัพท์

AFD	Active Format Description
AVC	Advanced Video Coding
BsIbf	Bit serial, leftmost bit first
DDS	Display Definition Segment
DVB-T2	Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System
EPG	Electronic Program Guide
EIT	Event Information Table
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
FFT	Fast Fourier Transform
HDCP	High-Bandwidth Digital Content Protection
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HDTV	High Definition Television
iDTV	Integrated Digital Television
LCN	Logical Channel Number
MPEG	Moving Pictures Expert Group
OSD	On Screen Display
ONID	Original Network ID
PLP	Physical Layer Pipe
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RCA	Radio Corporation of America
RF	Radio Frequency
SD	Standard Definition
SDoC	Supplier's Declaration of Conformity
SDTV	Standard Definition Television
SFN	Single Frequency Network
SI	Service Information

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STB Set-Top-Box, which is equivalent to a digital Terrestrial receiver
Uimsbf Unsigned integer most significant bit first



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มอก. 1195-2536 เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าประธาน สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย และงานทั่วไปที่มีลักษณะคล้ายกัน เฉพาะด้านความปลอดภัย
- [2] CISPR 13:2009 : Sound and television broadcast receivers and associated equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement
- [3] มอก. 2185-2547 เครื่องรับการกระจายเสียงและสัญญาณโทรทัศน์และบริภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง : ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ
- [4] IEC 60169-2: Radio-frequency connectors. Part 2: Coaxial unmatched connector
- [5] ETSI EN 302 755 v1.3.1 (2012-04): Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)
- [6] ETSI TS 101 191 v1.4.1 (2004-06): Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization
- [7] ETSI TS 101 154 v1.10.1 (2011-06): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream
- [8] ISO/IEC 13818-1:2007 : "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems"
- [9] ISO/IEC 14496-10:2012 : Information Technology – Coding of audio visual objects – Part 10: Advanced Video Coding
- [10] ISO/IEC 14496-3:2009 : Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 3: Audio
- [11] ETSI EN 300 468 v1.13.1 (2012-08): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems
- [12] ETSI EN 300 743 v1.4.1 (2011-10): Digital Video Broadcasting (DVB); Subtitling systems
- [13] ISO 639-3: Codes for the representation of names of languages — Part 3: Alpha-3 code for comprehensive coverage of languages
- [14] ISO 3166: Codes for the representation of names of countries and their subdivisions

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] ISO 8859-1: Information technology — 8-bit single-byte coded graphic character sets — Part 1: Latin alphabet No. 1
- [16] ETSI TS 102 006 v1.3.2 (2008-07): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for System Software Update in DVB Systems



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่/จังหวัด	ตำแหน่ง	ระยะทาง
ศาลเยาวชนและครอบครัวกลาง เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°47'54.03"N Longitude : 100°32'32.54"E	5.04
โรงเรียนนานาชาติเดอะรีเจ้นท์ เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°46'11.38"N Longitude : 100°35'4.29"E	5.71
ธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาบีคซี พระราม 4 เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°43'10.03"N Longitude : 100°34'16.73"E	5.02
ห้างแม็คโครนราธิวาส เขตสาทร กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°42'30.90"N Longitude : 100°32'15.27"E	4.96
ซอยเจริญนคร 14 เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°43'21.06"N Longitude : 100°30'25.43"E	5.21
สะพานพระราม 8 เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°46'3.14"N Longitude : 100°29'52.34"E	4.12

ที่ระยะ 5 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่/จังหวัด	ตำแหน่ง	ระยะทาง
ร้านบ้านคุณแม่ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°50'36.83"N Longitude : 100°32'28.01"E	4.83
ซอยลาดพร้าว 101 เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°47'9.55"N Longitude : 100°37'35.44"E	5.14
ซอยปทุมวิภา 15 เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°41'43.53"N Longitude : 100°36'42.38"E	5.06
หอนาฬิกาลาดโพธิ์ อ.พระประแดง สมุทรปราการ	Latitude : 13°39'49.31"N Longitude : 100°32'17.16"E	5.02
ซอยจอมทอง 13 เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°41'41.45"N Longitude : 100°28'14.48"E	5.03
ซอยร่มรื่น 2/5 เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°47'13.32"N Longitude : 100°27'19.23"E	4.68

ที่ระยะ 10 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่/จังหวัด	ตำแหน่ง	ระยะทาง
ซอยบ้านประชาชื่น 21 อ.ปากเกร็ด นนทบุรี	Latitude : 13°53'12.38"N Longitude : 100°32'32.05"E	5.16
ซอยเสรีไทย 21 เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°47'38.40"N Longitude : 100°40'22.74"E	4.96
พาร์คแลนด์ เขตบางนา กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°39'57.09"N Longitude : 100°38'47.16"E	5.00
ซอยสุขสวัสดิ์ 76 อ.พระประแดง สมุทรปราการ	Latitude : 13°37'6.69"N Longitude : 100°32'6.17"E	5.05
ซอยเอกชัย83/1 เขตบางบอน กรุงเทพมหานคร	Latitude : 13°40'10.30"N Longitude : 100°25'55.61"E	5.09
หมู่บ้านกาญจนาภิเษก 3 ซอย6 เขตบางกรวย นนทบุรี	Latitude : 13°48'29.56"N Longitude : 100°24'51.06"E	5.07

ที่ระยะ 15 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้