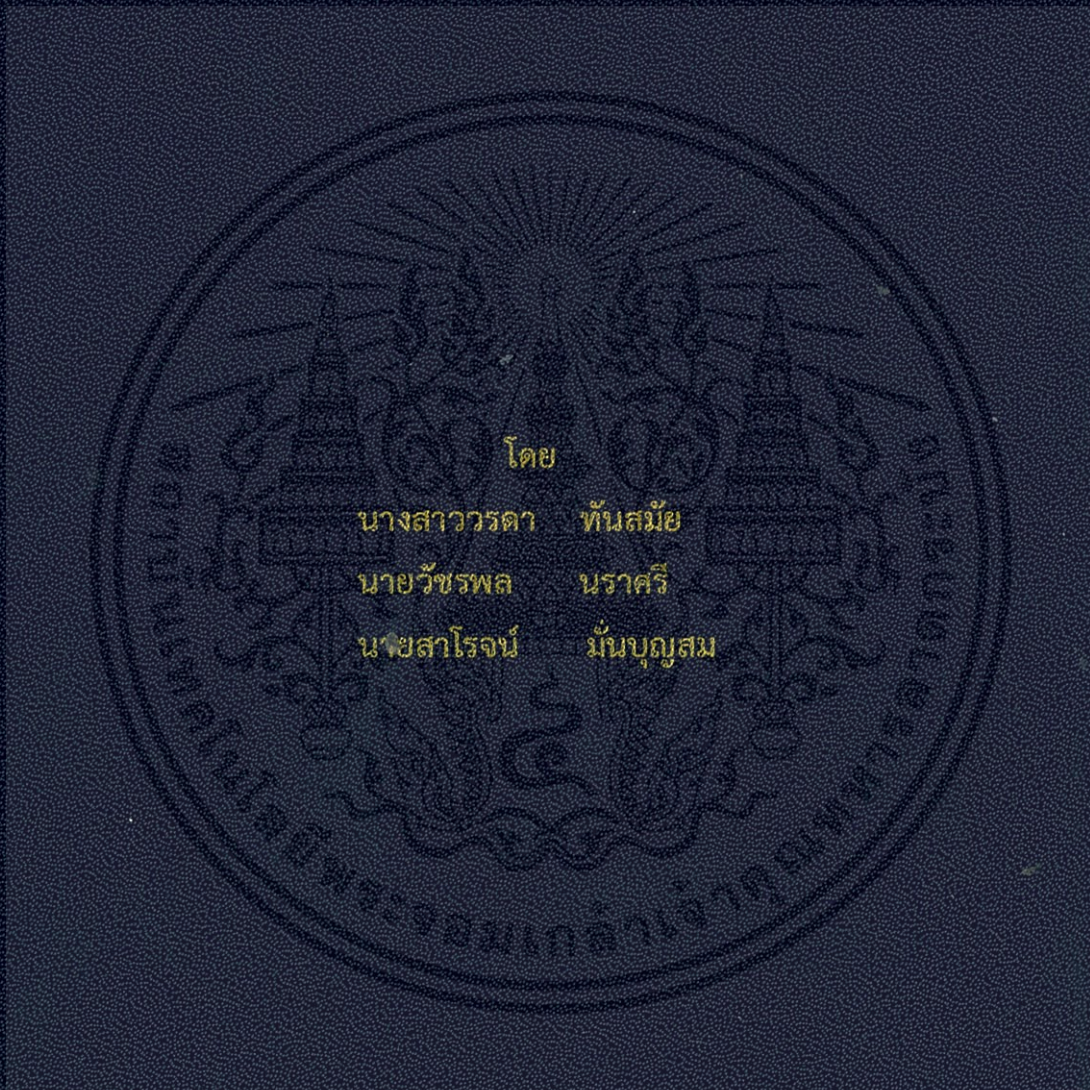


การศึกษาทดลองวัดของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ
ดิจิตอล (DVB-T2) ในกรุงเทพมหานคร
EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 PROPAGATION IN BANGKOK



โดย

นางสาววรรดา ทันสมัย
นายวัชรพล นราศรี
นายสาโรจน์ มั่นบุญสม

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาทดลองวัดของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ
ดิจิตอล (DVB-T2) ในกรุงเทพมหานคร
EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 PROPAGATION IN BANGKOK



โดย
นางสาวรดา ทันสมัย 53011397
นายวัชรพล นราศรี 53011452
นายสาโรจน์ มั่นบุญสม 53011672

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาทดลองวัดของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ

ดิจิตอล (DVB-T2) ในกรุงเทพมหานคร

EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 PROPAGATION IN BANGKOK

โดย

นางสาวรดา	ทันสมัย	53011397
นายวัชรพล	นราศรี	53011452
นายสาโรจน์	มันบุญสม	53011672

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.สถาพร พรหมวงศ์

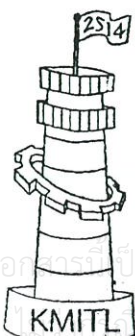
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

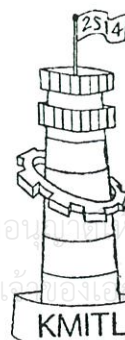


ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(.....) *พิชญ์*
อาจารย์ที่ปรึกษา

13/09/57

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(.....) *สถาพร*
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

09/10/57

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาทดลองวัดของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (DVB-T2)
ในกรุงเทพมหานคร

EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 PROPAGATION IN BANGKOK

ผู้จัดทำ

1. นางสาวรดา ทันสมัย 53011397
2. นายวัชรพล นราศรี 53011452
3. นายสาโรจน์ มั่นบุญสม 53011672

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานินพจน์นี้ไม่อาจเสร็จสมบูรณ์ได้ หากปราศจากคำแนะนำและการช่วยเหลือจาก ผศ.ดร. พิชญ์ สุพรรณกุล และ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ขอขอบคุณอาจารย์ทั้งสองสำหรับคำปรึกษาที่ดี คำแนะนำแนวความคิด การแก้ไขข้อผิดพลาดและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน การอนุญาตให้ใช้งานอุปกรณ์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงาน รวมถึงความรู้และประสบการณ์ที่ดี ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งใจและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่ๆที่ บมจ. อสมท. (ช่อง 9) ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือให้ในการจัดทำปฏิญานินพจน์ รวมถึงคำแนะนำ คำปรึกษา และสอนวิธีการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโท และปริญญาเอกในห้องโครงการสำหรับคำแนะนำ คำปรึกษา และสอนการใช้งานอุปกรณ์และโปรแกรมใช้งานต่างๆ รวมทั้งคอยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการทำงานเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ช่วยกันแบ่งเบางาน และช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด รวมทั้งสร้างกำลังใจให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้

นางสาวรดา ทันสมัย

นายวัชรพล นราศรี

นายสาโรจน์ มั่นบุญสม

ผู้จัดทำ

การศึกษาทดลองวัดของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์
ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล (DVB-T2) ในกรุงเทพมหานคร
EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 PROPAGATION IN
BANGKOK

โดย นางสาวรดา ทันสมัย 53011397
นายวัชรพล นราศรี 53011452
นายสาโรจน์ มั่นบุญสม 53011672

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. พิชญ์สุพรรณกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

คลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล (DVB-T2) เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินที่ก้าวหน้าและทันสมัย ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสัญญาณมีความคงทนและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่าในระบบอนาล็อกเดิม เพราะมีการเข้ารหัสของสัญญาณก่อนที่จะส่งออกไป

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลในกรุงเทพมหานคร โดยศึกษาคุณสมบัติ คำนวน และออกแบบสายอากาศ ให้สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิตอล เพื่อศึกษาทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล

ABSTRACT

DVB-T2 is transmission standard for digital terrestrial television system that is advance, Digital signal is stable and flexible to use more than analog signal .Signal is encrypted before being sent out.

This project presents a study, a design, and a fabrication of antenna. Bring antenna to use for receive a digital signal in DVB-T2 system for experimental study of DVB-T2 propagation in bangkok.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 สายอากาศไดโพลแบบลูปฟิรียอดิก	5
2.1.1 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแบบลูปฟิรียอดิก	5
2.1.2 หลักการทำงานสายอากาศไดโพลแบบลูปฟิรียอดิก	6
2.1.3 สมการที่ใช้ในการออกแบบ	7
2.1.4 คุณสมบัติของสายอากาศ	9
2.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ	13
2.3 ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น	17
2.3.1 ตัวแปรสุ่ม	17
2.3.2 ค่าเฉลี่ย	17
2.3.3 ความแปรปรวน	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	18
2.3.5 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น	19
2.3.6 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม	19
2.3.7 การแจกแจงข้อมูล	20
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์	22
3.1 การสร้างสายอากาศไดโพลแบบลูปทรีหรือดิก	22
3.1.1 การออกแบบสายอากาศ	22
3.1.2 การสร้างสายอากาศ	31
3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ	32
3.2.1 การออกแบบการทดลอง	32
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้	32
3.2.3 ขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูล	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง	38
4.1 ผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ	38
4.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน	38
4.1.2 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	39
4.1.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	40
4.1.4 อัตราขยาย	44
4.2 ผลการออกแบบจำลองช่องสัญญาณ	46
4.2.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในโพลาริซ์แบบแนวตั้ง	46
4.2.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในโพลาริซ์แบบแนวนอน	51
4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผล	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก ก มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล	61
ภาคผนวก ข ตำแหน่งของการวัด	77

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การส่งสัญญาณโทรทัศนระบบดิจิทัล	2
1.2 การรับสัญญาณโทรทัศนระบบดิจิทัล	2
1.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนต่างๆของโครงงาน	4
2.1 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแบบบล็อกพรีอดิก	5
2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ τ α และ σ	6
2.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	9
2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายกับความถี่และอัตราส่วนคลื่นนิ่งกับความถี่	10
2.5 การเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน	12
2.6 Multipath fading	16
3.1 รูปสายอากาศจากการจำลองโดยโปรแกรม CST	26
3.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการคำนวณ	26
3.3 ตัวอย่างการปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับ	26
3.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ปรับปรุง	28
3.5 ค่าอิมพีแดนซ์จาก Smith Chart	28
3.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า	29
3.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็ก	30
3.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใน 3 มิติ	31
3.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด	32
3.10 แผนที่แสดงตำแหน่งของการวัด	33
4.1 ผลจำลองด้วยโปรแกรม CST	38
4.2 ผลการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์	38
4.3 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	39
4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5	41
4.6	42
4.7	42
4.8	43
4.9	43
4.10	47
4.11	48
4.12	49
4.13	50
4.14	52
4.15	53
4.16	54
4.17	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบ	24
3.2 ค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบ	25
3.3 ค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบที่ปรับปรุง	27
3.4 ค่ากำลังของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวตั้ง)	34
3.5 ค่ากำลังของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวนอน)	35
4.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ	45
4.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวตั้ง)	46
4.3 ค่าความแรงของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวนอน)	51

บทที่ 1

บทนำ

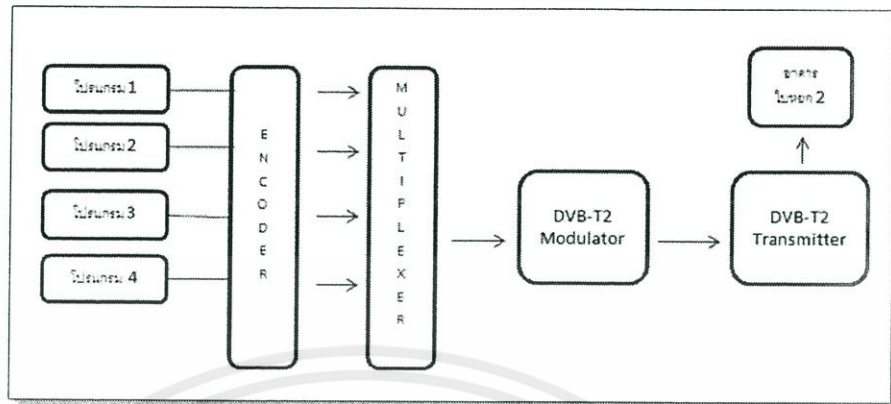
ระบบการส่งสัญญาณทีวีดิจิตอล คือการส่งผ่านของเสียงและวิดีโอโดยสัญญาณดิจิตอลที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งความคมชัดของภาพและเสียง การส่งข้อมูลแบบนี้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบอนาล็อกในหนึ่งช่องสัญญาณ จึงเรียกได้อีกอย่างว่า Multicasting การส่งสัญญาณเป็นแบบดิจิตอลจึงทำให้ได้คุณภาพของภาพและเสียงดีกว่า ระบบการรับส่งสัญญาณภาพและเสียงที่มีข้อมูลที่มีการเข้ารหัสเป็นดิจิตอล ที่มีค่า “0” กับ “1” เท่านั้น โดยมีกระบวนการต่างๆที่จะทำการแปลงสัญญาณภาพและเสียงให้เป็นดิจิตอล มีการบีบอัดข้อมูล ทำการเข้ารหัสข้อมูลก่อนที่จะทำการมอดูเลตข้อมูลดิจิตอลเหล่านั้นเพื่อส่งผ่านตัวกลางไปสู่ผู้รับปลายทาง ซึ่งคณะกรรมการสหภาพโทรคมนาคมสากล (ITU) กำหนดมาตรฐานดังนี้ 1.ระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านดาวเทียม (DVB-S The digital video broadcasting satellite system) , 2.ระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านสายเคเบิล (DVB-C The digital cable eleliverly system) และ 3. ระบบแพร่ภาพดิจิตอลภาคพื้นดิน (DVB-T The digital terrestrial television system)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

DVB-T2 เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลที่กำหนดและทันสมัยที่สุดที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดในขณะนี้ สัญญาณมีความคงทนและมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน การผสมสัญญาณ (Modulation) ระบบใหม่สุดคือ OFDM (Orthogonal frequency division multiplex) โดยการแบ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นความถี่ย่อยจำนวนมาก เพื่อให้ส่งสัญญาณที่มีความคงทน เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้งานในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพและเสียงและการบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (Portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (Mobile) การใช้เทคนิคใหม่นี้ทำให้ DVB-T2 มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า 50% ของประสิทธิภาพการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลอื่นๆที่ใช้งานในโลก

รูปที่ 1.1 แสดงการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยระบบการส่งสัญญาณทีวีดิจิตอลนั้น สามารถใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณได้มากขึ้น เช่น เดิม 1 ช่องใช้ได้ 1 รายการ เมื่อหันมาใช้ระบบดิจิตอล มีการบีบอัดสัญญาณ (Digital compression) และการเข้ารหัสสัญญาณ (Encoder) ก็จะสามารถส่งได้ถึง 4-6 รายการทางภาคพื้นดิน และ 8-10 รายการทางดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล[7]

สายอากาศไดโพลแบบล็อกพีริออดิก (Log-periodic dipole) เป็นสายอากาศประเภทหนึ่งที่ตั้งอยู่ในสายอากาศประเภทสายอากาศความถี่กว้าง (Broadband antenna) คุณสมบัติของสายอากาศ ชนิดนี้มีช่วงการตอบสนองความถี่กว้างอีกทั้งมีอัตราการขยายสูง จึงเป็นสายอากาศที่สามารถใช้ได้กับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

สายอากาศไดโพลแบบล็อกพีริออดิกนำมาใช้งานกับโทรทัศน์แบบดิจิทัลซึ่งระบบนี้มีความถี่เอชเอฟ โดยความถี่จะอยู่ในช่วง 300 ถึงความถี่ 3000 MHz โดยปัจจุบันประเทศไทย ออกอากาศ 2 คลื่นความถี่คือ 594 MHz และ 626 MHz ซึ่งคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้ประกาศให้มีการกำหนดความถี่ โดยเป็นแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการภาคพื้นดินในระบบอนาล็อกเดิม กำหนดความถี่วิทยุ 510 ถึง 790 MHz เพื่อนำมาใช้ในพื้นที่ที่มีการรับส่งสัญญาณ



รูปที่ 1.2 การรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.2 โดยการรับสัญญาณในระบบดิจิตอลของเครื่องรับในระบบอนาล็อกธรรมดา นั้น เพียงติดตั้งกล่องรับสัญญาณ (Set top box) ไว้ที่ด้านหน้าเพื่อแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นอนาล็อกก่อนที่รับสัญญาณจากสายอากาศและถ้ามีการบีบอัดสัญญาณด้วย ก็จะต้องมีเครื่องขยายสัญญาณจากสายอากาศและถ้ามีการบีบอัดสัญญาณด้วย ก็จะต้องมีเครื่องขยายสัญญาณออกให้เท่าเดิมจึงจะรับกันได้ หรือมีเครื่องที่รับได้เฉพาะสมาชิกบอกรับก็จะต้องมีเครื่องถอดรหัสสมาชิกบอกรับด้วย

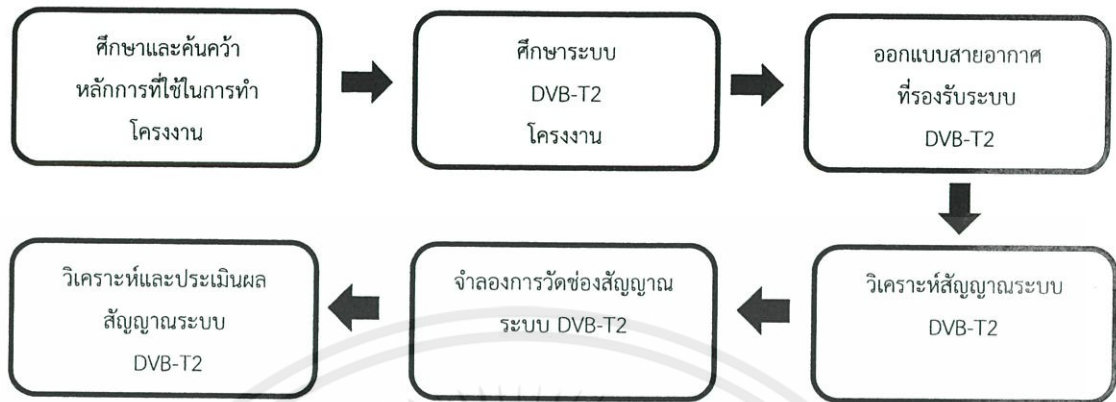
1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2)
- 2) ศึกษาคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
- 3) ออกแบบสายอากาศที่รับสัญญาณที่ใช้ในการทดลองวัดระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2)
- 4) วิเคราะห์และประเมินผลสัญญาณระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2) ในกรุงเทพมหานคร

1.3 ขอบเขตของปริิญาานิพนธ์

บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนต่างๆของโครงการแสดงไว้ในรูปที่ 1.3 ซึ่งประกอบไปด้วย

- 1) ศึกษาการสื่อสารภาคพื้นดินของระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2)
- 2) ศึกษาระบบระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2)
- 3) ออกแบบสายอากาศที่รับสัญญาณที่ใช้ทดลองวัดระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2)
- 4) ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2)
- 5) ทำการออกแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2)
- 6) ทำการวิเคราะห์และประเมินผลสัญญาณระบบโทรทัศน์แบบดิจิตอล (DVB-T2) ในกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนต่างๆของโครงการ

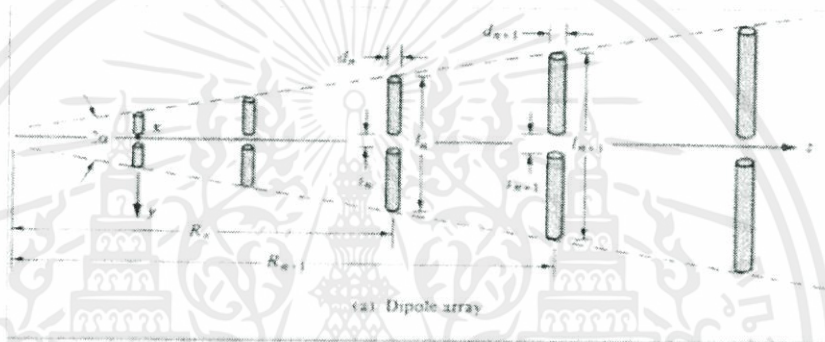
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก

2.1.1 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก[1]

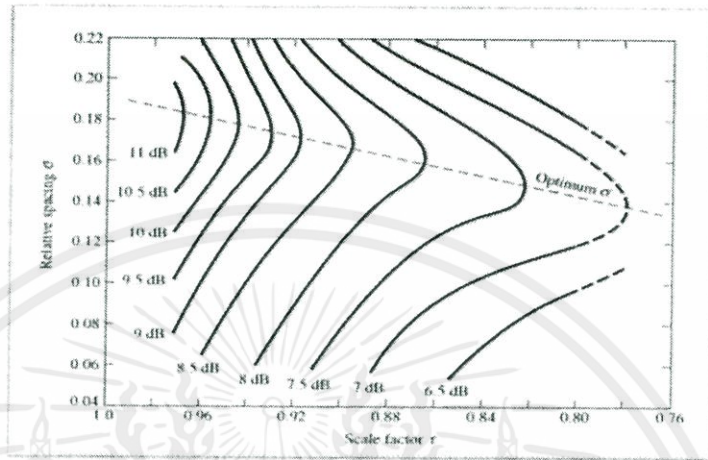
จากรูปที่ 2.1 เป็นโครงสร้างของสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้จาก

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

เนื่องจากสายอากาศล็อกพิริออดิกเป็นสายอากาศที่สามารถกำหนดช่วงความถี่ได้ตามต้องการ รวมทั้งสามารถกำหนดอัตราขยายและอินพุตอิมพีแดนซ์ได้ ในการออกแบบสายอากาศดังกล่าว จะต้องพิจารณาจากตัวแปร τ , α และ σ ดังสมการ

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

โดยที่กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ τ , α และ σ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ τ , α และ σ [1]

2.1.2 หลักการทำงานสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก

จากความสัมพันธ์ของสมการจะได้ว่าเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบที่สั้นที่สุดจะได้ความยาวของแต่ละองค์ประกอบและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบจะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนคงที่เมื่อค่า k เพิ่มขึ้นลักษณะการป้อนสัญญาณเข้าสายอากาศ เป็นการทำให้กระแสที่ไหลในองค์ประกอบที่ติดกันมีเฟสตรงข้ามกัน จึงทำให้ระบบทั้งหมดเกิดความสมดุล โดยการป้อนสัญญาณจะป้อนเข้าด้านที่มีองค์ประกอบสั้นที่สุด เมื่อมีพลังงานที่ความถี่หนึ่งๆเคลื่อนที่ไปตามสายนำสัญญาณ จนกระทั่งถึงส่วนที่ความยาวขององค์ประกอบและเฟสมีความสัมพันธ์กัน ทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นขึ้น ซึ่งบริเวณที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นนี้เรียกว่า Active region โดยความถี่หนึ่งๆ Active region จะเกิดขึ้นบริเวณใดบริเวณหนึ่งถ้าที่ความถี่ต่ำๆ Active region จะเกิดด้านที่องค์ประกอบยาว เมื่อความถี่ใช้งานสูงขึ้น Active region ก็จะไปเลื่อนมาทางด้านองค์ประกอบที่สั้นกว่าจนถึงองค์ประกอบที่สั้นที่สุด คือที่ความถี่ใช้งานสูงสุดและเหนือ Active region ขึ้นไปจะมีการแพร่กระจายคลื่นที่น้อยมากเมื่อเทียบกับบริเวณ Active region คลื่นที่แพร่กระจายจาก Active region จะมีทิศทางชี้ไปทางด้านที่มีองค์ประกอบสั้นเสมอ หรืออาจกล่าวได้ว่าบีม (Beam) จะมีทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นไปทางองค์ประกอบที่มีความยาวน้อยกว่า $\lambda/2$ ที่ความถี่ใช้งานหนึ่งๆ จึงจัดได้ว่าสายอากาศแบบลอคเพอริออดิกเป็นสายอากาศแบบเอ็นไฟร์

(Endfire antenna) คือสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นย้อนกลับไปทางด้านที่มีการป้อนสัญญาณเข้ามา

2.1.3 สมการที่ใช้ในการออกแบบ

การออกแบบสายอากาศโดยเริ่มจากการกำหนดช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยพิจารณาช่วงความถี่จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายกับความถี่ จะได้อัตราขยายที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้เลือกค่าของ 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

พิจารณาแบนวิดท์ที่ใช้ในการออกแบบ B_s (designed bandwidth) จากสมการ

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

และ

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

โดยที่ B_{ar} คือ แบนวิดท์บริเวณแอกทีฟ (active region bandwidth)

B คือ อัตราส่วนของช่วงความถี่ระหว่างความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุด

พิจารณาความยาวของสายอากาศหาได้จากสมการ

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

และ

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha \quad (2.7)$$

โดยที่ λ_{\max} คือความยาวคลื่นที่มากที่สุด และ v คือความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศมีค่า 3×10^8 เมตรต่อวินาที

พิจารณาจำนวนองค์ประกอบทั้งหมดได้จากสมการ

$$N = 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln(1/\tau)} \quad (2.8)$$

พิจารณาความยาวของไดโพลแต่ละองค์ประกอบได้จากสมการ

$$l_n = l_1 \times \tau^{n-1} \quad (2.9)$$

โดยที่

$$l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} \quad (2.10)$$

พิจารณาระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบหาได้จากสมการ

$$R_{n+1, n+2} = R_{1,2} \times \tau^n \quad (2.11)$$

โดยที่

$$R_{1,2} = \frac{1}{2} (l_1 - l_2) \cot \alpha \quad (2.12)$$

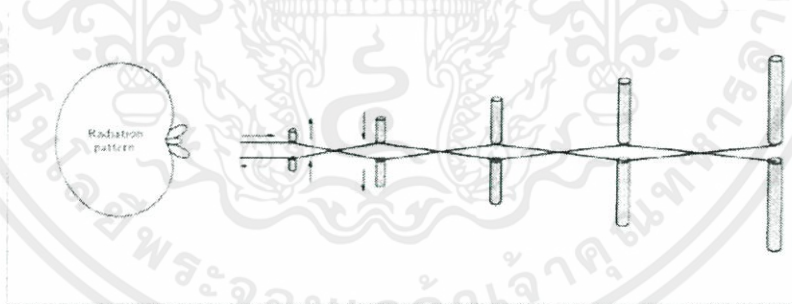
พิจารณาหาความถี่ของแต่ละองค์ประกอบได้จากสมการ

$$f_n = \frac{f_1}{\tau^{n-1}} \quad (2.13)$$

2.1.4 คุณสมบัติของสายอากาศ

2.1.4.1 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 2.3

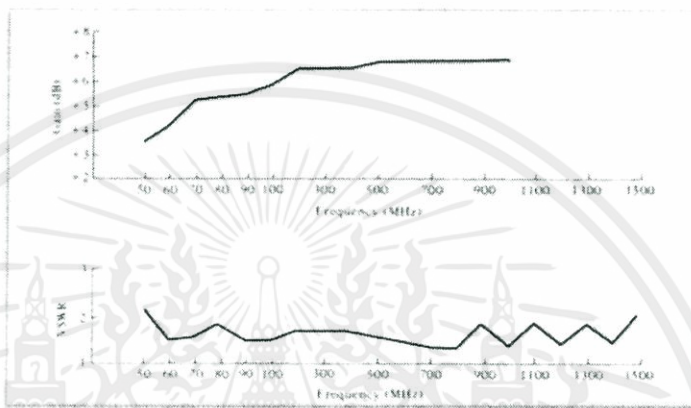


รูปที่ 2.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น [1]

2.1.4.2 อัตราขยาย (Gain)

เป็นความสามารถของสายอากาศในการรับส่งคลื่นวิทยุ สายอากาศแต่ละแบบมีอัตราขยายแตกต่างกัน สายอากาศแบบทิศทางเดียวจะมีอัตราการขยายมากกว่าสายอากาศแบบกึ่งรอบตัวและแบบรอบตัวโดยลำดับ ลักษณะการใช้งานจึงแตกต่างกันไป สายอากาศที่มี

อัตราขยายสูง จะสามารถรับ-ส่งคลื่นวิทยุได้ดีมาก ตัวเลขซึ่งมีหน่วยวัดอัตราการขยายได้แก่ dBi และ dBd เนื่องจากสายอากาศดังกล่าวสามารถที่จะกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ตามต้องการ โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายและความถี่และอัตราส่วนคลื่นนิ่งกับความถี่เป็นดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายกับความถี่และอัตราส่วนคลื่นนิ่งกับความถี่ [1]

การหาอัตราขยายของสายอากาศสามารถหาได้ดังสมการ

$$G_t(dB) + G_r(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_t}{P_r} \right) \tag{2.14}$$

โดยที่

- G_t คืออัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง
- G_r คืออัตราขยายของสายอากาศตัวรับ
- R คือระยะห่างของสายอากาศระหว่างตัวส่งกับตัวรับ
- λ คือความยาวคลื่นในอวกาศว่างที่ความถี่ใช้งาน
- P_t คือกำลังงานที่ส่งออกของสายอากาศตัวส่ง
- P_r คือกำลังงานที่รับได้ของสายอากาศตัวรับ

2.4.1.3 ลักษณะเฉพาะของอิมพีแดนซ์ (Characteristic impedance)

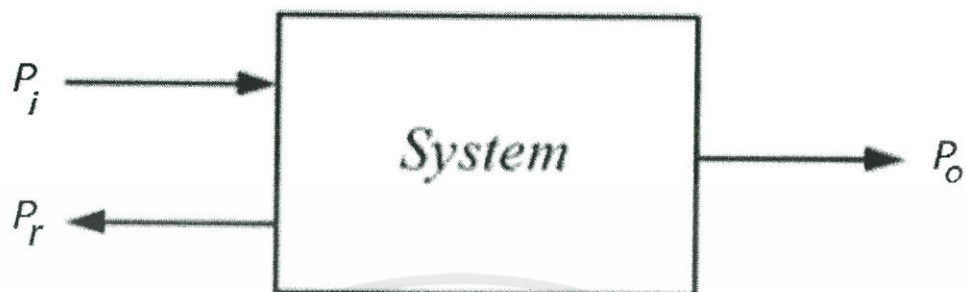
การเข้ากันของอิมพีแดนซ์ ลักษณะเฉพาะของอิมพีแดนซ์ เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการถ่ายโอนกำลังสูงสุดไปยังปลายสายจากสัญญาณ ขาเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input) ถึงสัญญาณขาออกหรือสัญญาณเอาพุต (Output) เมื่ออิมพีแดนซ์ของอินพุตเท่ากับ กับด้านเอาพุต หรือเรียกว่าอิมพีแดนซ์แมชซิ่ง (Impedance matching) นอกจากอิมพีแดนซ์ที่อินพุตและเอาพุต ต้องเท่ากันแล้วจำเป็นต้องใช้สายส่งสัญญาณอย่างเหมาะสมด้วย คือต่อเข้ากับสายส่งที่มีความต้านทานลักษณะเฉพาะที่เท่ากันที่อินพุตกับเอาพุตต้องเท่ากันแล้ว แต่ถ้ามีความต้านทานที่ต่างกัน กำลังอาจจะสะท้อนกลับเข้ามาสู่แหล่งจ่าย ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ โดยสามารถหาค่าลักษณะเฉพาะของอิมพีแดนซ์ได้จากสมการ

$$Z_a = 120 \left[\ln \left(\frac{l_n}{d_n} \right) - 2.25 \right] \quad (2.15)$$

2.4.1.4 ค่าความสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)

การสูญเสียจะเกิดขึ้น เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณกับสายอากาศมีค่าไม่เท่ากัน หรือที่เรียกกันว่าไม่แมตซ์กัน ก็จะทำให้การส่งกำลังไปยังสายอากาศไม่สามารถส่งได้อย่างสมบูรณ์ มีกำลังบางส่วนสะท้อนกลับเข้าไปในสายส่งซึ่งเรียกว่า เกิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับแต่หากสายอากาศและสายส่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากันหรือแมตซ์กัน ก็จะไม่มีการสูญเสียย้อนกลับ เนื่องจากสายอากาศเป็นการแผ่กระจายคลื่น ดังนั้นการพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ จึงใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า Scattering parameter และค่าการสูญเสียย้อนกลับ มีชื่อเรียกว่า S11 ค่าการสูญเสียหรือ S11 นี้ นิยมบอกเป็นหน่วย dB โดยค่าที่ยอมรับได้ในการออกแบบสายอากาศก็จะต้องมีค่า S11 น้อยกว่า -10 dB เนื่องจากเป็นการพิจารณาการสะท้อนของสัญญาณในสายส่งที่ส่งไปยังโหลด จึงสามารถพิจารณาใช้ค่า VSWR แทนได้ โดยพิจารณาค่า VSWR ที่ต่ำกว่า 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เห็นได้ว่าไม่ว่าจะใช้ค่า S11 หรือ VSWR ก็สามารถบ่งบอกถึงความแมตซ์ของสายส่งสัญญาณกับสายอากาศได้เช่นกัน พื้นฐานการคำนวณค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เป็น S11 พิจารณาได้จากรูปที่ 2.5

เมื่อส่งกำลังเข้าในระบบ จะเกิดการสะท้อนกลับ ของพลังงานเนื่องจากความไม่แมตซ์กันของอิมพีแดนซ์ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน [1]

โดยที่

P_i คือ กำลังงานของสัญญาณอินพุต

P_r คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

P_o คือ กำลังงานของสัญญาณเอาต์พุต

ซึ่งค่า Return loss สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$RL = -10 \log \left(\frac{P_r}{P_i} \right) \quad (2.16)$$

จากสมการจะพบว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอัตราส่วนของ P_r กับ P_i ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการส่งผ่าน หากว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับต่างมากๆ จะหมายถึง มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านกำลังไปยังโหลดได้สูง หรือมีประสิทธิภาพการส่งกำลังที่ดี

2.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ช่องสัญญาณหมายถึง สื่อกลางหรือตัวกลางที่ข่าวสารเดินทางผ่าน อาจจะเป็น อากาศ สายนำสัญญาณต่างๆ หรือกล่าวในเทอมของการสื่อสารไร้สายว่า ช่องสัญญาณคือสื่อกลาง ในการรับส่งข้อมูลระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ คุณสมบัติของสัญญาณที่เปลี่ยนไป ระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ จะขึ้นอยู่กับระยะทางที่สัญญาณเดินทางผ่านสิ่งแวดล้อม เช่น อาคาร ตึกสูง ต้นไม้ รูปแบบของสัญญาณที่รับมาได้จากสัญญาณที่ส่งมาระหว่างสายอากาศทั้งสองจะเรียกว่า “แบบจำลองช่องสัญญาณ”

ถ้าค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้แสดงได้ดังสมการ

$$P_r(d) = \frac{K}{d^n} + X \quad (2.17)$$

เมื่อ

K คือค่าคงที่

X คือตัวแปรสุ่มของการเกิด Multi-path Fading

d คือระยะทาง

n คือเลขชี้กำลังของการสูญเสียในเส้นทาง (Path loss exponent)

แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น (Linear regression model) เป็นแบบจำลองทางสถิติที่สามารถนำมาเป็นแบบสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลได้ เนื่องจากเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่และมีความสัมพันธ์กันในระดับใด ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย จะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ว่ามีความสัมพันธ์คล้อยตามกันไป ในทิศทางเดียวกันหรือไม่อาจจะต้องทำการวิเคราะห์โดยอาศัยค่าที่ทราบจากตัวแปรหนึ่งแล้วนำไปพยากรณ์ค่าของอีกตัวแปรหนึ่งว่ามีความแปรผันในสัดส่วนเท่าใดหรือในระดับใด การวิเคราะห์ในลักษณะของตัวเกณฑ์เพื่อใช้ในการพยากรณ์นี้ เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ซึ่งถ้าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ โดยมีค่าความชันใกล้เคียงกับ 1.00 หรือ -1.00 ย่อมหมายถึงว่าการพยากรณ์จะยังมีความถูกต้องมากขึ้น

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

$$y = Ax + B \quad (2.18)$$

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

$$E_i = y_i - Ax_i - B \quad (2.19)$$

Total Square Error คือ

$$\sum_{i=1}^N E_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 \quad (2.20)$$

ทำเงื่อนไข Least Square Error

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

$$\frac{\partial}{\partial B} \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 = 0 \quad (2.22)$$

จะได้

$$\sum_{i=1}^N x_i y_i - A \sum_{i=1}^N x_i^2 - B \sum_{i=1}^N x_i = 0 \quad (2.23)$$

$$\sum_{i=1}^N y_i - A \sum_{i=1}^N x_i - BN = 0 \quad (2.24)$$

จัดรูปใหม่ได้

$$A \sum_{i=1}^N x_i^2 + B \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad (2.25)$$

$$A \sum_{i=1}^N x_i + BN = \sum_{i=1}^N y_i \quad (2.26)$$

พิจารณาที่กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้

$$\overline{P_r(d)} = \frac{K}{d^n} \quad (2.27)$$

จะได้

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

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

เมื่อ d_0 คือ ระยะทางอ้างอิง (Reference distance) จะได้

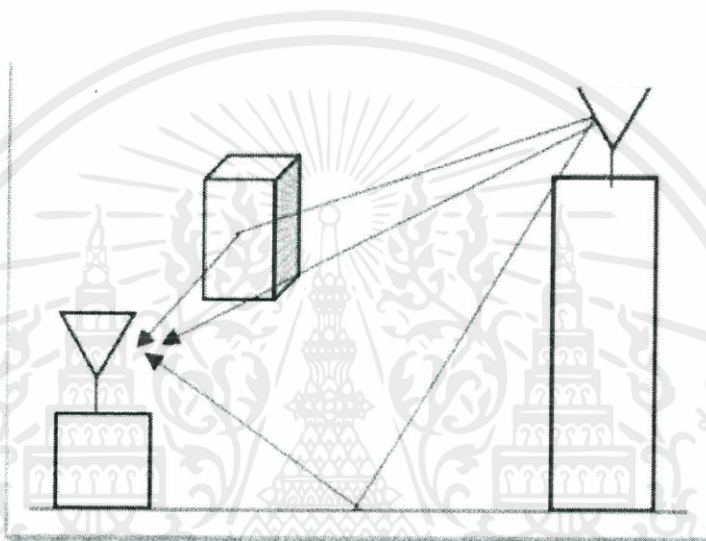
$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \overline{P_r(d_0)}[dB] \quad (2.30)$$

และกำหนดให้ $d_0 = 1$ m จะได้สมการกำลังของสัญญาณที่รับได้คือ

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log(d) + \overline{P_r(1)}[dB] \quad (2.31)$$

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

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



รูปที่ 2.6 Multipath fading [5]

โดยสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ Multipath fading สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$X = P_r(d) - \overline{P_r(d)} [dB] \quad (2.32)$$

และจะใช้ทฤษฎีทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.3 ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น

สัญญาณที่ไม่สามารถรู้ค่าได้แน่นอน หรือไม่สามารถรู้ค่าล่วงหน้าได้ สัญญาณประเภทนี้จะเกิดขึ้นในระบบสื่อสารทั้งในลักษณะที่เป็นสัญญาณที่ไม่ต้องการ คือเป็นสัญญาณรบกวน และสัญญาณที่ต้องการคือสัญญาณข้อมูลข่าวสาร เนื่องจากสัญญาณแรนดอมเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถรู้การเปลี่ยนแปลงที่แน่นอนได้ การจัดการกับสัญญาณประเภทนี้จึงต้องใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยประมาณคุณสมบัติของสัญญาณ โดยหาค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหาฟังก์ชันความหนาแน่นและแจกแจงความน่าจะเป็นเพื่อทำแบบจำลองทางสถิติ

2.3.1 ตัวแปรสุ่ม

นิยามเป็นฟังก์ชันที่มีค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสัญญาณรบกวนอยู่ในฟังก์ชันนั้น หรือเข้าใจง่ายๆว่าตัวแปรสุ่มนี้จะต้องประกอบไปด้วยข้อมูลแต่ละจุดของสัญญาณ ดังนั้นตัวแปรสุ่มจะมีค่าอยู่ในช่วงที่น้อยที่สุดไปถึงค่ามากที่สุดของข้อมูลสัญญาณ

2.3.2 ค่าเฉลี่ย

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

$$\bar{n} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} n(t) dt \quad (2.33)$$

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

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.34)$$

2.3.3 ความแปรปรวน

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

$$\sigma^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [n(t) - \bar{n}]^2 dt \quad (2.35)$$

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

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (2.36)$$

2.3.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [n(t) - \bar{n}]^2 dt} \quad (2.37)$$

การวิเคราะห์สัญญาณแบบดิสครีต ซึ่งจะเป็นข้อมูลแต่ละจุดสัญญาณ กำหนดให้มีข้อมูลของสัญญาณทั้งหมด N จุด ข้อมูลของแต่ละจุดแทนด้วย x_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ จะได้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเป็น

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (2.38)$$

2.3.5 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function)

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

$$f_x(x) = \frac{d}{dx} P\{X \leq x\} \quad (2.39)$$

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติสำคัญคือ

$$f_x(x) \geq 0 \quad (2.40)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) dx = 1 \quad (2.41)$$

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

$$P\{x_1 \leq X \leq x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} f_x(x) dx \quad (2.43)$$

2.3.6 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function)

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

$$F_x(x) = P\{X \leq x\} \quad (2.44)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ

$$F_x(-\infty) = 0 \quad (2.45)$$

$$F_x(\infty) = 1 \quad (2.46)$$

$$0 \leq F_x(x) \leq 1 \quad (2.47)$$

$$F_x(x_1) \leq F_x(x_2) \text{ เมื่อ } x_1 < x_2 \quad (2.48)$$

$$P\{x_1 \leq X \leq x_2\} = F_x(x_2) - F_x(x_1) \quad (2.49)$$

$$F_x(x^+) = F_x(x) \quad (2.50)$$

2.3.7 การแจกแจงข้อมูล

การแจกแจงความถี่ เป็นวิธีการจัดเรียงข้อมูลที่ได้จากการสอวัดเพื่อสะดวกในการแปลความหมาย เช่นการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) การแจกแจงแบบ T-distribution) การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-square distribution) และการแจกแจงแบบ F (F-distribution) เป็นต้น

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

$$Y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(X-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (2.51)$$

เมื่อ

Y คือ ส่วนสูงของเส้นโค้งเมื่อเขียนบนแกน X

N คือ จำนวนข้อมูล

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการแจกแจง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของการแจกแจง

X คือ ข้อมูลดิบ



บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญาบัตร

3.1 การสร้างสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก

3.1.1 การออกแบบสายอากาศ

เลือกชนิดสายอากาศที่สามารถทำงานได้ในช่วงความถี่กว้าง สามารถหาวัสดุที่เหมาะสมได้ไม่แพงจนเกินไปและเลือกสายอากาศที่ค่อนข้างแข็งแรงเหมาะกับการใช้งาน อุปกรณ์ที่เลือกใช้จะเป็นอะลูมิเนียมสำหรับการทำมุมสายอากาศและแต่ละองค์ประกอบ ใช้หัวคอนเนคเตอร์ชนิด N-type สำหรับเป็นจุดป้อนสัญญาณและสายนำสัญญาณชนิด RG-223 สำหรับใช้นำสัญญาณ

3.1.1.3 การคำนวณพารามิเตอร์ของสายอากาศ

ในการคำนวณกำหนดให้ใช้ค่า $\tau = 0.918$, $\sigma = 0.169$ และค่าสภาพเจาะจงทิศทาง 9 dBi หาค่า ครึ่งมุมตามแนวแกนของสายอากาศ จากสมการที่ 2.2

$$\begin{aligned}\alpha &= \tan^{-1}\left(\frac{1-\tau}{4\sigma}\right) \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{1-0.918}{4 \times 0.169}\right) \\ &= 6.916^\circ\end{aligned}$$

หาแบนวิดท์ที่ใช้ในการออกแบบ B_s (Designed bandwidth) จากสมการที่ 2.4

$$\begin{aligned}B_s &= BB_{ar} = B[1.1 + 7.7(1-\tau)^2 \cot \alpha] \\ &= \frac{900 \times 10^6}{400 \times 10^6} [1.1 + 7.7(1-0.918)^2 \cot 6.916] \\ &= 3.435 \text{ MHz}\end{aligned}$$

หาความยาวของสายอากาศหาได้จากสมการที่ 2.6

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha \\
 &= \frac{0.75}{4} \left(1 - \frac{1}{3.435}\right) \cot(6.916^\circ) \\
 &= 1.095m
 \end{aligned}$$

หาจำนวนองค์ประกอบทั้งหมดได้จากสมการที่ 2.8

$$\begin{aligned}
 N &= 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln(1/\tau)} \\
 &= 1 + \frac{\ln(3.435)}{\ln(1/0.916)} \\
 &= 15.064 \gg 16
 \end{aligned}$$

หาระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบหาได้จากสมการที่ 2.12

$$\begin{aligned}
 R_{1,2} &= \frac{1}{2} (l_1 - l_2) \cot \alpha \\
 &= \frac{1}{2} (37.5 - 34.425) 8.244 \\
 &= 12.675cm
 \end{aligned}$$

และจากสมการที่ 2.11

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

สามารถหาค่าระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบได้ดังแสดงในสมการที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบ

ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ	ความยาว (cm)
R1,2	12.67
R2,3	11.63
R3,4	10.68
R4,5	9.80
R5,6	9.00
R6,7	8.26
R7,8	7.58
R8,9	6.96
R9,10	6.39
R10,11	5.86
R11,12	5.38
R12,13	4.94
R13,14	4.54
R14,15	4.16
R15,16	3.82

หาความยาวของไดโพลแต่ละองค์ประกอบได้จากสมการที่ 2.10

$$\begin{aligned}
 l_1 &= \frac{\lambda_{\max}}{2} \\
 &= \frac{0.75}{2} \\
 &= 0.3750m
 \end{aligned}$$

และจากสมการที่ 2.9

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบได้ดังแสดงในตารางที่ 3.2

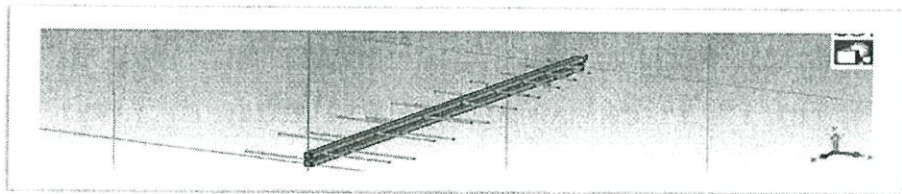
ตารางที่ 3.2 ค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบ

ลำดับที่	ความยาว (m)
1	0.37
2	0.34
3	0.31
4	0.29
5	0.26
6	0.24
7	0.22
8	0.20
9	0.18
10	0.17
11	0.15
12	0.14
13	0.13
14	0.12
15	0.11
16	0.10

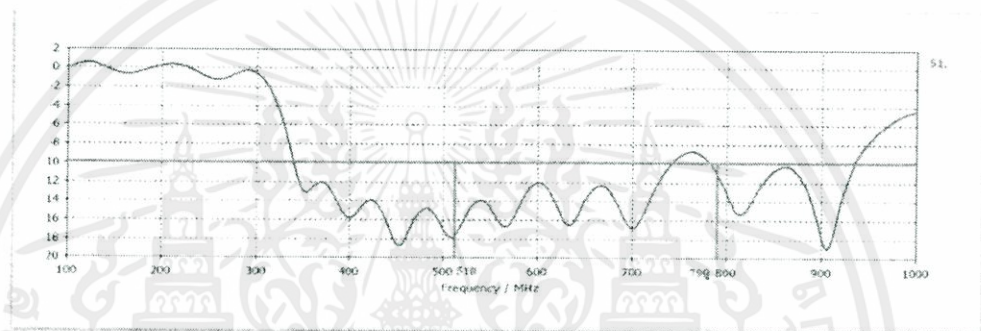
3.1.1.4 การจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม CST

1) ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ

ไดโพลแบบลูปฟิรูดิกดังแสดงในรูปที่ 3.1 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

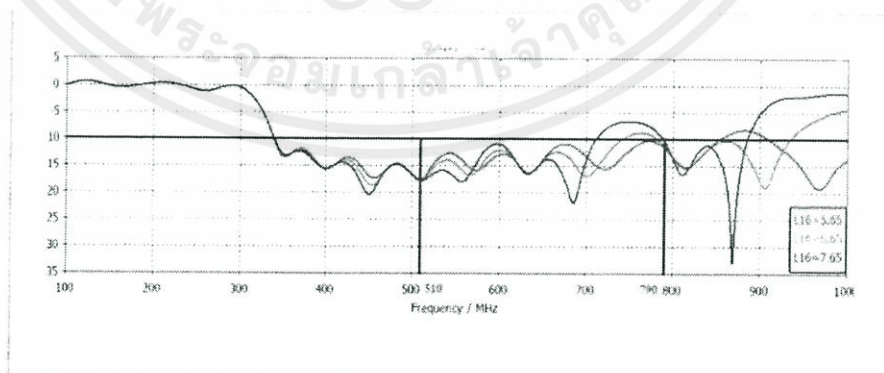


รูปที่ 3.1 รูปสายอากาศจากการจำลองโดยโปรแกรม CST



รูปที่ 3.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการคำนวณ

จากผลการจำลองพบว่าช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งานตั้งแต่ความถี่ 510 MHz ถึงความถี่ MHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ ต่ำกว่า -10 dB ยกเว้นในช่วงประมาณความถี่บริเวณ 760 MHz ทำให้ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขสายอากาศ โดยยึดค่าจากการคำนวณ



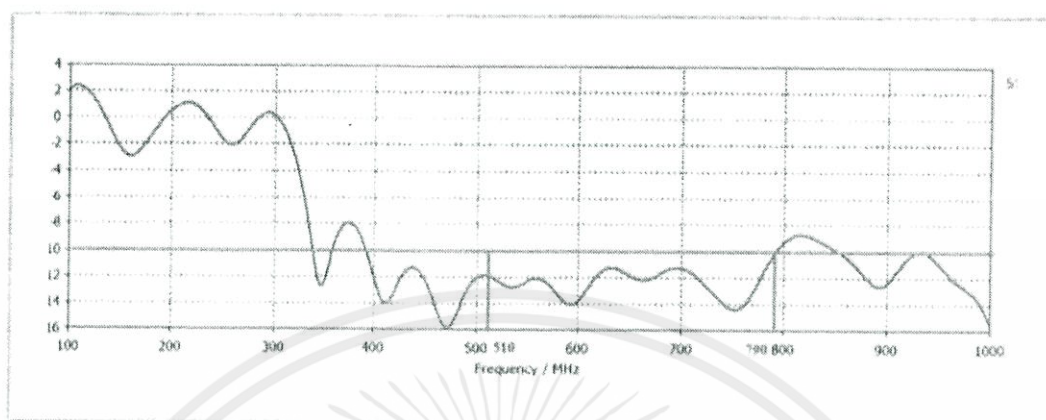
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับ จากรูปตัวอย่างผลการจำลองจากการปรับปรุงความยาวขององค์ประกอบที่สั้นที่สุด พบว่ามีผลต่อช่วงความถี่ในย่านความถี่ 700 MHz ถึงความถี่ 790 MHz จะเห็นว่าถ้าความยาวขององค์ประกอบยาวมากกว่าการคำนวณ ($L_{16}=7.65$ cm) พบว่าจะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับไม่ได้ตามต้องการ ในขณะที่ถ้าความยาวขององค์ประกอบยาวน้อยกว่าการคำนวณ ($L_{16}=5.65$ cm) พบว่าจะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับได้ตามต้องการในย่านความถี่ที่กำหนดจากการจำลองการปรับปรุงความยาวขององค์ประกอบ ค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบที่ปรับปรุง แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ แสดงไว้ในรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ค่าความยาวของแต่ละองค์ประกอบที่ปรับปรุง

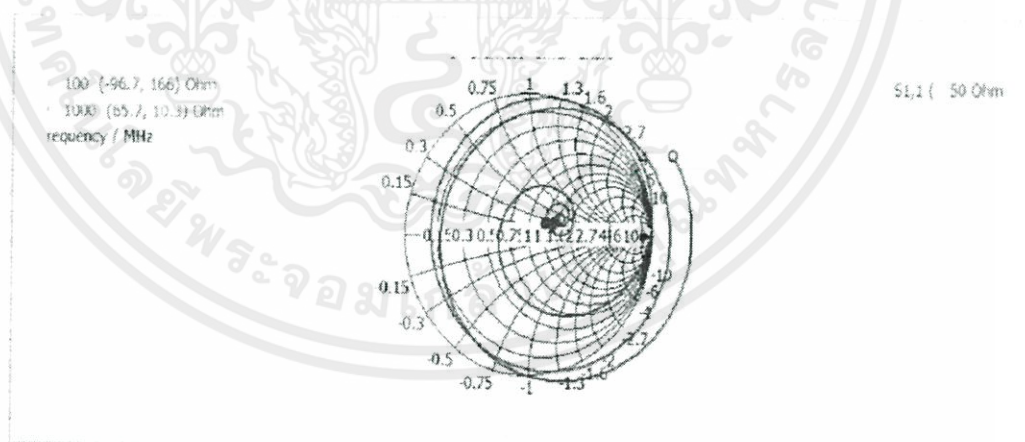
ลำดับที่	ความยาว (m)
1	0.27
2	0.24
3	0.21
4	0.19
5	0.16
6	0.14
7	0.12
8	0.10
9	0.08
10	0.07
11	0.05
12	0.04
13	0.03
14	0.02
15	0.01
16	0.01



รูปที่ 3.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ปรับปรุง

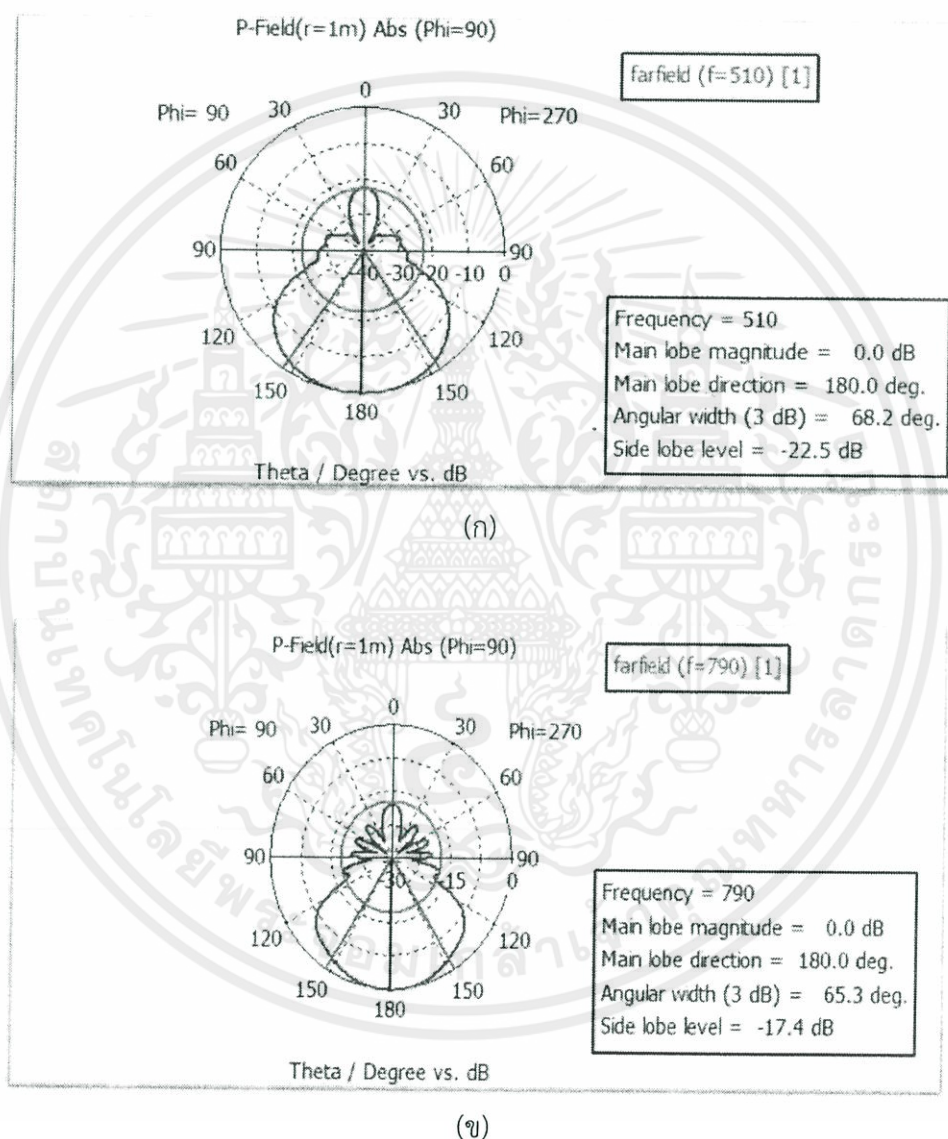
จากการจำลองการปรับปรุงความยาวของแต่ละองค์ประกอบ พบว่ามีช่วงความถี่ในย่านความถี่ 510 MHz ถึงความถี่ 790 MHz พบว่าจะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับตามต้องการ

2) ผลการจำลองค่าอิมพีแดนซ์จาก Smith Chart ของสายอากาศไดโพลแบบลูปหรือดิกแสดงไว้ในรูปที่ 3.5



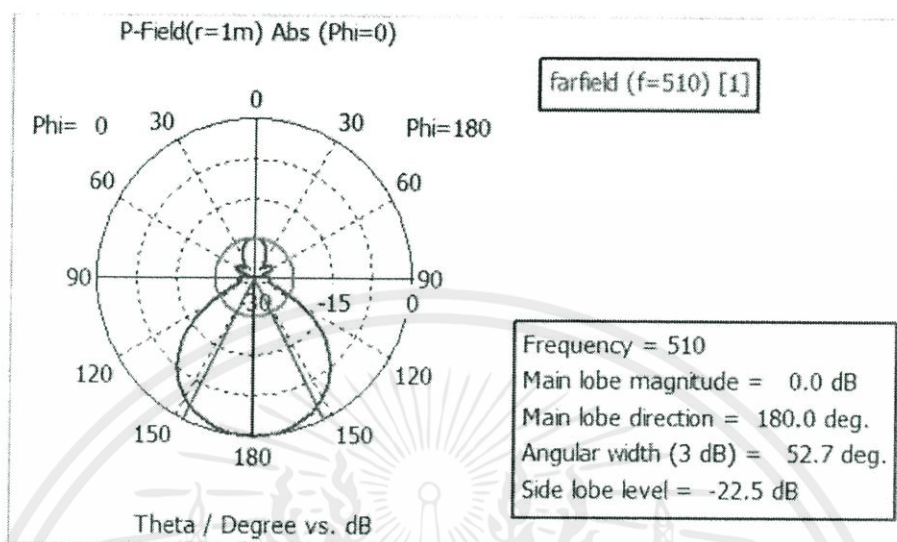
รูปที่ 3.5 ค่าอิมพีแดนซ์จาก Smith Chart

3) ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิกในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงในรูป 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ รูปที่ 3.8 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใน 3 มิติ

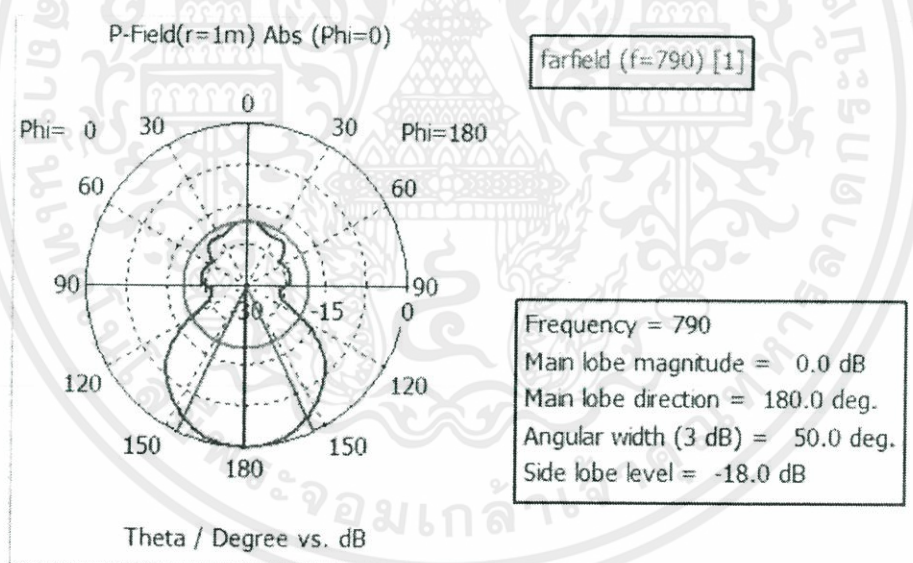


รูปที่ 3.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่

(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz



(ก)

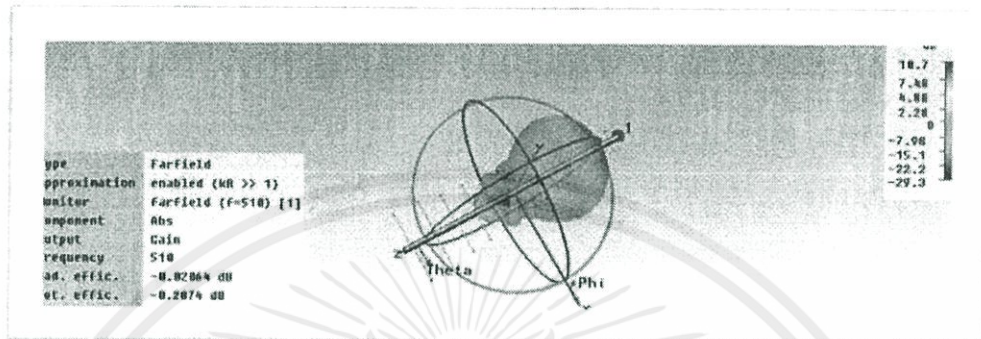


(ข)

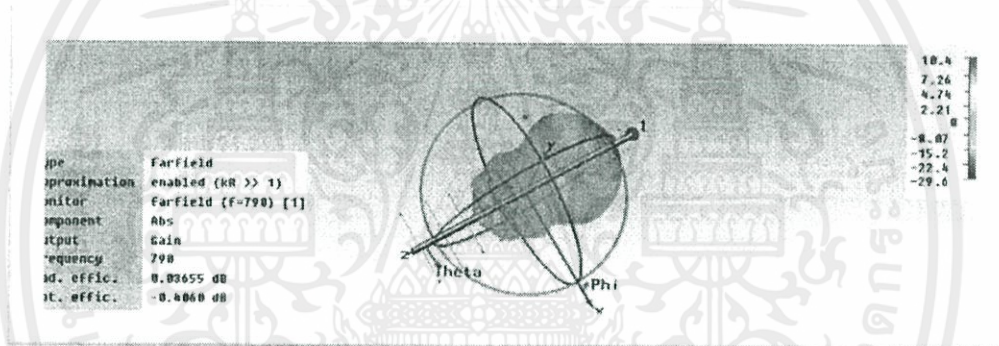
รูปที่ 3.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่

(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเทียบกับสายอากาศ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใน 3 มิติที่ความถี่

(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz

3.1.2 การสร้างสายอากาศ

จากการจำลองสายอากาศ ทำให้ทราบค่าโครงสร้างต่างๆของสายอากาศรวมทั้งคุณสมบัติโดยรวมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในหัวข้อนี้จึงต้องนำค่าดังกล่าวมาสร้างเป็นสายอากาศไดโพลแบบลูปหรืออดิก เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติในขั้นตอนต่อไปได้ สำหรับการสร้างสายอากาศแบบไดโพลแบบลูปหรืออดิก นั้นมีวิธีสร้าง ดังนี้

- 1) นำค่าต่างๆของโครงสร้างของสายอากาศที่ได้จากการจำลองสายอากาศด้วยโปรแกรมจำลองสายอากาศ CST MICROWAVE STUDIO

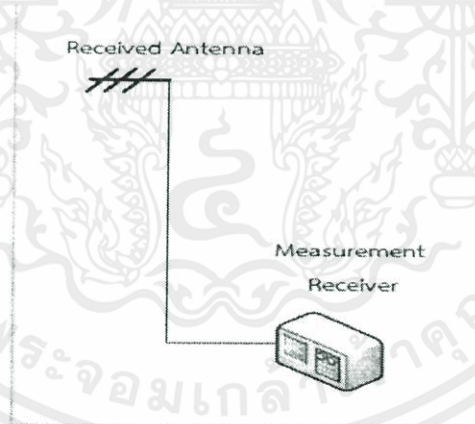
2) นำแบบที่สร้างขึ้นจากข้อที่ 1 โดยใช้ลวดมึนนิยมน ตามโครงสร้างที่ได้จำลองไว้

3) หลังจากได้โครงสร้างสายอากาศแล้ว นำไปบัดกรีต่อคอนเนคเตอร์ ชนิด N-TYPE กับสายนำสัญญาณของสายอากาศ

3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

3.2.1 การออกแบบการทดลอง

จากสายอากาศไดโพลแบบลูปหรือดิกที่สร้างมา นำสายอากาศที่ได้มารับสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัลโดยต่อเข้ากับเครื่องวัดสเปกตรัมเพื่อวัดระดับของสัญญาณจากสถานีส่งที่จากตึกใบหยก 2 โดยใช้สายอากาศไดโพลแบบลูปเพื่อบริการรับสัญญาณที่ความถี่ 594 MHz ใช้เครื่องวัดสเปกตรัมวัดค่าความแรงสัญญาณที่รับได้และทำการจัดเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด [7]

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้

อุปกรณ์ที่ใช้วัดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 ซึ่งประกอบด้วย

3.2.2.1 เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (spectrum analyzer)

หลักการการทำงานของเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ เหมือนกับเครื่องออสซิลอสโคปที่ใช้ในการวัดรูปคลื่นที่แสดงรูปคลื่นในเชิงเวลา ส่วนเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่แสดงรูปคลื่นในเชิงความถี่ เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่จะแสดงสัญญาณต่างๆที่ปรากฏอยู่ในแถบส่วนต่างๆของย่านความถี่ในรูปแถบความถี่ ซึ่งในการวัดสัญญาณสำหรับย่าน DVB-T2 นิยมวัดในหน่วย dB μ V

3.2.2.2 สายอากาศรับ (Received antenna)

ใช้สายอากาศไดโพลแบบลูปฟิรูดิกเป็นสายอากาศรับ มีคุณสมบัติของการตอบสนองความถี่กว้างอีกทั้งมีอัตราขยายสูง

3.2.3 ขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูล

1) ใช้สายอากาศไดโพลแบบลูปฟิรูดิกรับสัญญาณที่ความถี่ 594 MHz ห่างจากสถานีส่งที่ระยะ 8 , 14 และ 25 Km ตามลำดับและแสดงตำแหน่งของการวัดได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนที่แสดงตำแหน่งของการวัด

2) เก็บข้อมูลในระยะต่างๆที่ห่างจากสถานีส่งโดยรอบ รอบละ 10 จุด ในการเก็บค่าความแรงของสัญญาณนั้น ใช้เครื่องวัดสเปคตรัมวัดระดับความแรงของสัญญาณโดยตั้งสายอากาศรับสูง 1.5 m และ 5 m และวัดทั้งโพลาริซ์แบบแนวตั้งและแนวนอน

3) ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ทั้งโพลาริซ์แบบแนวตั้งและแนวนอน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 ค่ากำลังของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวตั้ง)

ระยะทาง	8 km		14 km		25 km	
	1.5 m	5 m	1.5 m	5 m	1.5 m	5 m
ความสูงของสายอากาศรับ						
ตำแหน่งที่ 1	-52	-52	-56	-50	-60	-56
ตำแหน่งที่ 2	-54	-55	-65	-64	-62	-60
ตำแหน่งที่ 3	-65	-62	-67	-65	-55	-62
ตำแหน่งที่ 4	-52	-55	-69	-66	-71	-72
ตำแหน่งที่ 5	-68	-60	-68	-60	-53	-62
ตำแหน่งที่ 6	-54	-53	-68	-67	-68	-67
ตำแหน่งที่ 7	-55	-53	-59	-60	-62	-61
ตำแหน่งที่ 8	-52	-52	-62	-59	-62	-58
ตำแหน่งที่ 9	-51	-49	-52	-50	-56	-50
ตำแหน่งที่ 10	-51	-49	-46	-32	-63	-50

ตารางที่ 3.5 ค่ากำลังของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวนอน)

ระยะทาง	8 km		14 km		25 km	
	1.5 m	5 m	1.5 m	5 m	1.5 m	5 m
ตำแหน่งที่ 1	-52	-51	-47	-44	-62	-52
ตำแหน่งที่ 2	-51	-50	-67	-65	-57	-52
ตำแหน่งที่ 3	-64	-57	-61	-57	-52	-51
ตำแหน่งที่ 4	-50	-53	-62	-58	-53	-54
ตำแหน่งที่ 5	-56	-50	-50	-47	-56	-48
ตำแหน่งที่ 6	-51	-49	-68	-62	-68	-62
ตำแหน่งที่ 7	-57	-54	-56	-56	-59	-57
ตำแหน่งที่ 8	-57	-54	-57	-56	-59	-57
ตำแหน่งที่ 9	-49	-49	-46	-55	-42	-38
ตำแหน่งที่ 10	-50	-42	-37	-24	-61	-60

4) จากข้อมูลที่ได้จากการวัดกำลังของสัญญาณที่ได้รับได้ นำไปศึกษาและออกแบบจำลองช่องสัญญาณ วิเคราะห์และประเมินผลสัญญาณ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์อาศัยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น เพื่อวิเคราะห์การสูญเสียในเส้นทาง ตามสมการที่ 2.31 ในหน่วย dBm

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

4.1) กำลังของสัญญาณที่ได้รับได้ที่ความสูงของสายอากาศรับ 1.5 เมตร โพลาริซ์แบบแนวตั้ง พิจารณาสมการที่ 2.25 และ 2.26 จะได้

$$40.83A + 34.47B = -2056.93$$

$$34.47A + 30.00B = -1777.93$$

แก้สมการจะได้ $A = -10n = -11.7357$, $n = 1.1736$ และ $B = P_r(1)[dB] = -45.77$ และแทนค่าในสมการที่ 2.31 จะได้สมการของการสูญเสียในเส้นทางคือ

$$P_r[dBm] = -11.7357 \log(d) - 45.77$$

4.2) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความสูงของสายอากาศรับ 5 เมตร โพลาริซ์แบบแนวตั้ง พิจารณาสมการที่ 2.25 และ 2.26 จะได้

$$40.83A + 34.47B = -1911.55$$

$$34.47A + 30.00B = -1656.69$$

แก้สมการจะได้ $A = -10n = -6.5469$, $n = 0.6547$ และ $B = P_r(1)[dB] = -47.70$ และแทนค่าในสมการที่ 2.31 จะได้สมการของการสูญเสียในเส้นทางคือ

$$P_r[dBm] = -6.5469 \log(d) - 47.70$$

4.3) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความสูงของสายอากาศรับ 1.5 เมตร โพลาริซ์แบบแนวนอน พิจารณาสมการที่ 2.25 และ 2.26 จะได้

$$40.83A + 34.47B = -1980.01$$

$$34.47A + 30.00B = -1710.69$$

แก้สมการจะได้ $A = -10n = -11.7872$, $n = 1.1787$ และ $B = P_r(1)[dB] = -43.48$ และแทนค่าในสมการที่ 2.31 จะได้สมการของการสูญเสียในเส้นทางคือ

$$P_r[dBm] = -11.7872 \log(d) - 43.48$$

4.4) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความสูงของสายอากาศรับ 5 เมตร โพลาริซแบบแนวนอน พิจารณาสมการที่ 2.25 และ 2.26 จะได้

$$40.83A + 34.47B = -1802.19$$

$$34.47A + 30.00B = -1563.69$$

แก้สมการจะได้ $A = -10n = -4.5019$, $n = 0.4502$ และ $B = P_r(1)[dB] = -46.95$ และแทนค่าในสมการที่ 2.31 จะได้สมการของการสูญเสียในเส้นทางคือ

$$P_r[dBm] = -4.5019 \log(d) - 46.95$$

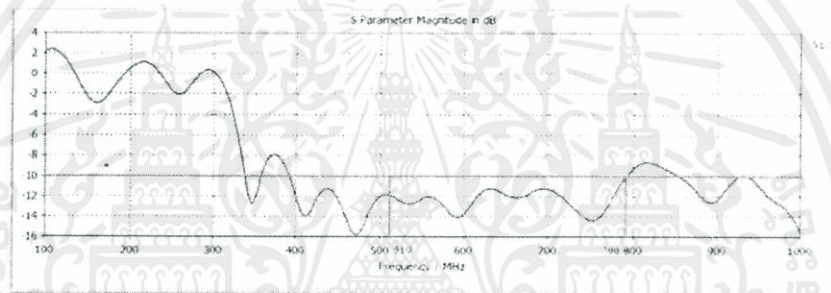
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

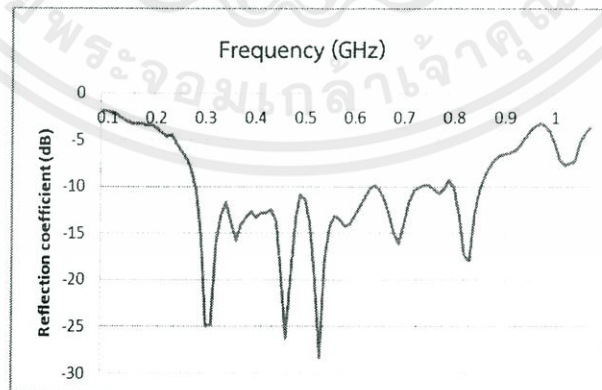
4.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

4.1.1.1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST



รูปที่ 4.1 ผลจำลองด้วยโปรแกรม CST

4.1.1.2 ผลการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์



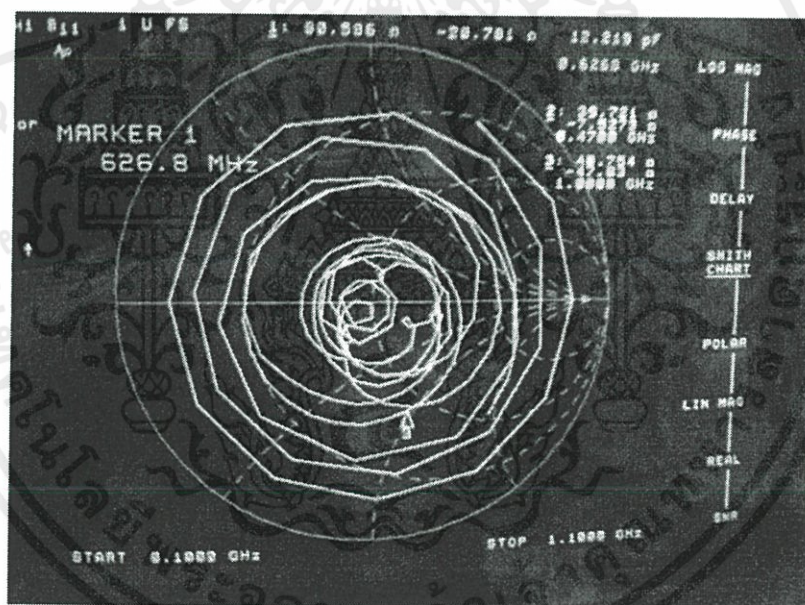
รูปที่ 4.2 ผลการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์

4.1.1.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

จากผลการจำลองและผลจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ พบว่าในช่วงความถี่ที่ใช้งานคือช่วง 510-790 MHz โดยค่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST จะมีค่าทั้งต่ำกว่าและสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ เป็นเพราะว่าในการวัดจริง คลื่นที่แพร่กระจายออกไปนั้นมีการสะท้อนจากสิ่งต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นพื้น กำแพง ทำให้ค่าที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน

4.1.2 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

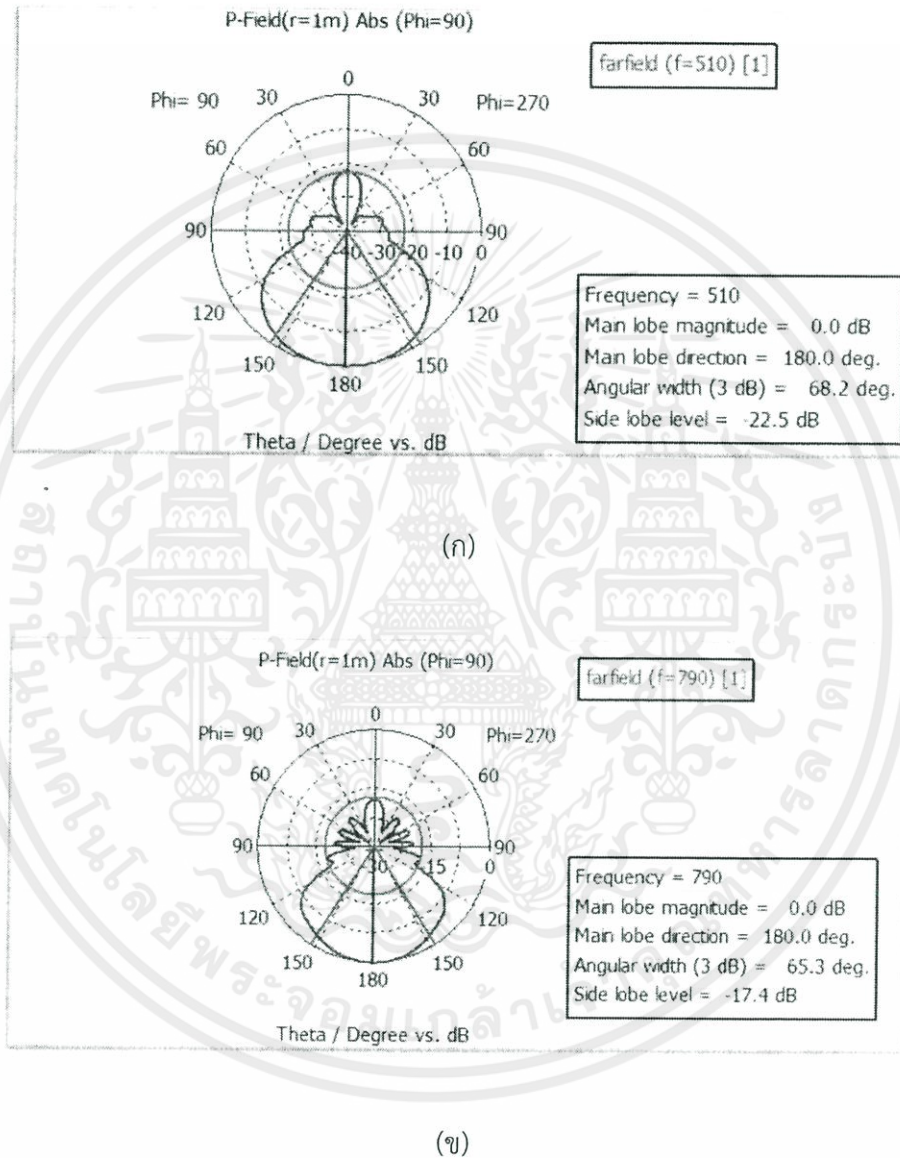
จากการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ได้ผลทดสอบดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

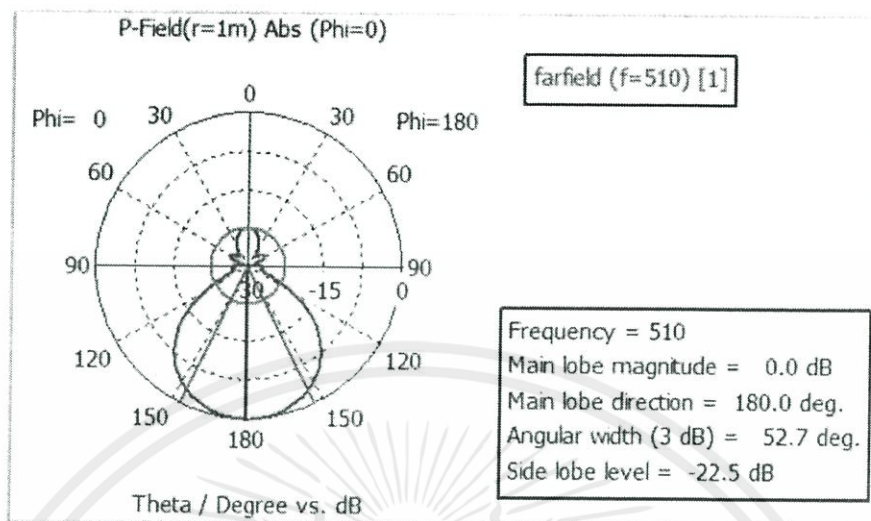
4.1.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

4.1.3.1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST

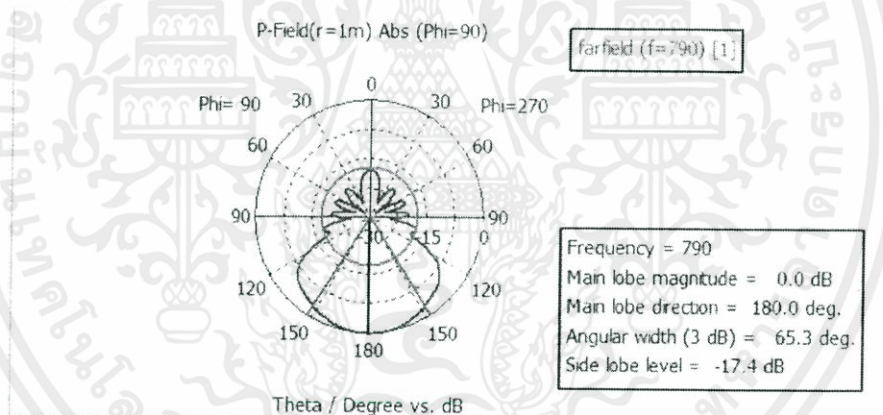


รูปที่ 4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่

(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz



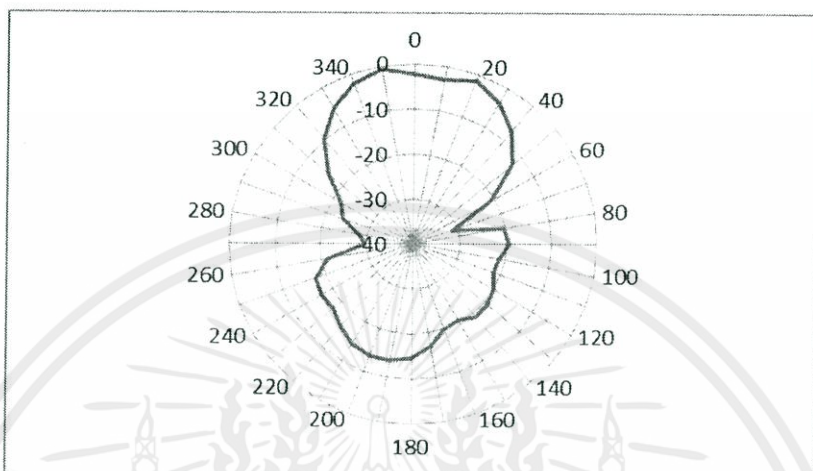
(ก)



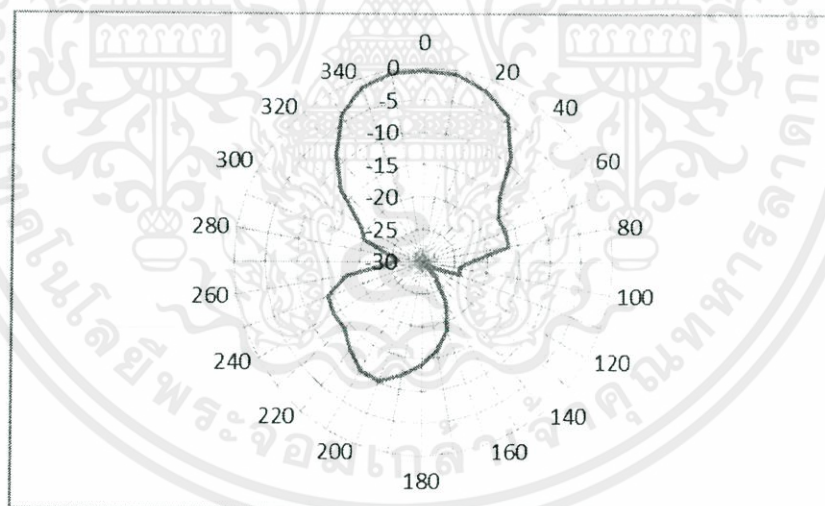
(ข)

รูปที่ 4.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่มีความถี่
(ก) 510 MHz และ (ข) 790 MHz

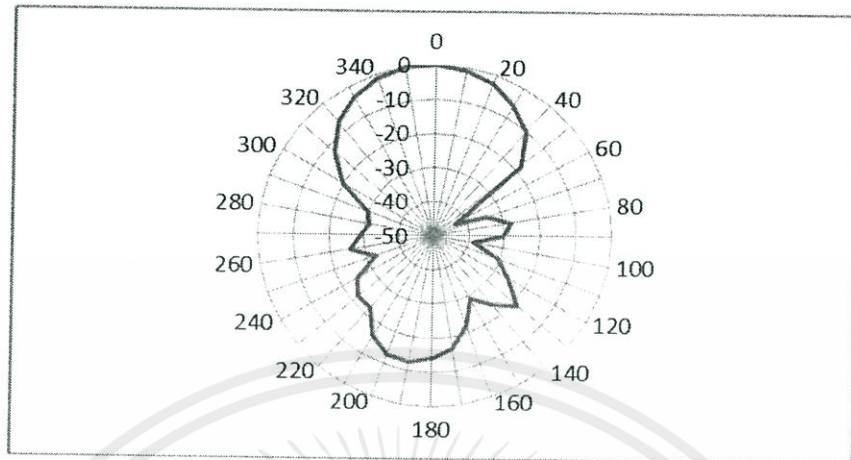
4.1.3.2 ผลจากการวัดที่ห้องไร้การสะท้อน (Anechoic chamber)



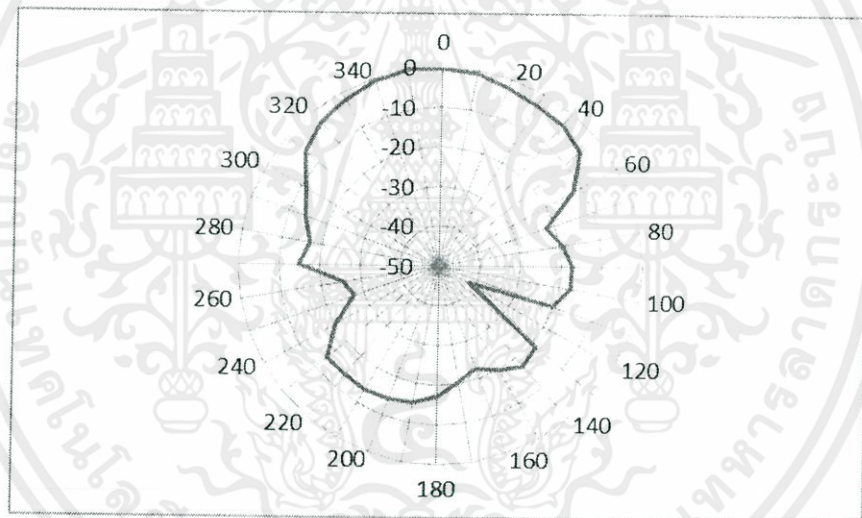
รูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นตามขวาง ความถี่ 510 MHz



รูปที่ 4.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นตามยาว ความถี่ 510 MHz



รูปที่ 4.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นตามขวาง ความถี่ 790 MHz



รูปที่ 4.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นตามยาว ความถี่ 790 MHz

4.1.3.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบการจำลองและการวัดผล อาจมีค่าคลาดเคลื่อน เนื่องจากการสูญเสียที่อุปกรณ์ต่างๆ เช่น สายนำสัญญาณ หัวคอนเนคเตอร์ เป็นต้น ซึ่งทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไปจากผลที่ได้จำลองไว้ แต่อยู่ในค่าที่ยอมรับได้

4.1.4 อัตราขยาย

พิจารณาอัตราขยายของสายอากาศได้จากสมการที่ 2.14

4.1.4.1 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อวางสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า

1) คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 510MHz

อัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานเป็น 7 dBi

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

$$G_{0r} + 7 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(2.44)}{0.588} \right) - 24.5$$

$$G_{0r} (dBi) = 7.84$$

2) คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 790MHz

อัตราขยายของสายมาตรฐานเป็น 2 dBi

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

$$G_{0r} + 2 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(3.79)}{0.379} \right) - 24.3$$

$$G_{0r} (dBi) = 10.68$$

4.1.4.2 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อวางสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก

1) คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 510MHz

อัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานเป็น 7 dBi

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

$$G_{0r} + 7 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(2.44)}{0.588} \right) - 28.1$$

$$G_{0r} (dBi) = 4.24$$

2) คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 790MHz
อัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานเป็น 7 dBi

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

$$G_{0r} + 7 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(3.79)}{0.379} \right) - 26.1$$

$$G_{0r} (\text{dBi}) = 8.88$$

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ

ความถี่ (MHz)	อัตราขยายทดสอบ วางตามระนาบ สนามไฟฟ้า (dBi)	อัตราขยายทดสอบ วางตามระนาบ สนามแม่เหล็ก (dBi)	อัตราขยายจาก โปรแกรมจำลอง (dBi)
510	7.84	4.42	9.48
790	10.68	8.88	9.17

จากตารางค่าอัตราขยายของสายอากาศ พบว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นนั้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราขยายที่ได้จากการจำลอง ส่วนทางด้านแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น สายอากาศไดโพลแบบบล็อกพีริออดิกมีลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบมีทิศทาง กล่าวคือ จากผลการทดสอบสายอากาศนั้นมีการเกิดลาคลื่นย่อยอยู่ แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่สามารถเห็นลาคลื่นหลักของสายอากาศได้อย่างชัดเจน ซึ่งตรงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลองนั่นเอง

4.2 ผลการออกแบบจำลองช่องสัญญาณ

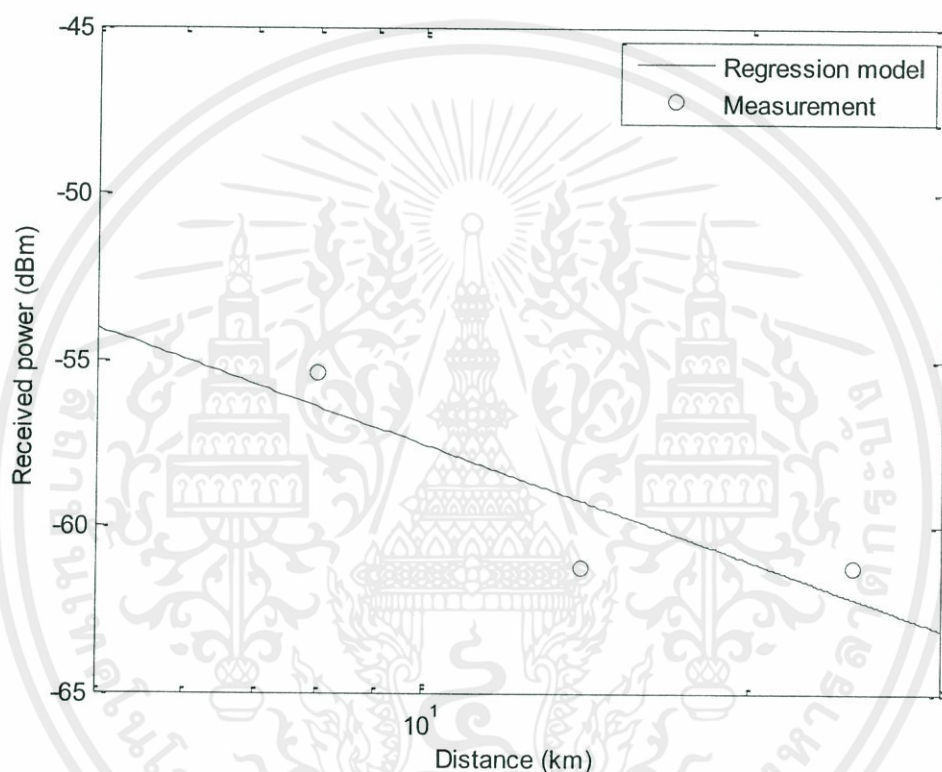
4.2.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในโพลาริซ์แบบแนวตั้ง

ตารางที่ 4.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวตั้ง)

ระยะทาง	8 km		14 km		25 km	
	1.5 m	5 m	1.5 m	5 m	1.5 m	5 m
ความสูงของสายอากาศรับ						
ตำแหน่งที่ 1	-52	-52	-56	-50	-60	-56
ตำแหน่งที่ 2	-54	-55	-65	-64	-62	-60
ตำแหน่งที่ 3	-65	-62	-67	-65	-55	-62
ตำแหน่งที่ 4	-52	-55	-69	-66	-71	-72
ตำแหน่งที่ 5	-68	-60	-68	-60	-53	-62
ตำแหน่งที่ 6	-54	-53	-68	-67	-68	-67
ตำแหน่งที่ 7	-55	-53	-59	-60	-62	-61
ตำแหน่งที่ 8	-52	-52	-62	-59	-62	-58
ตำแหน่งที่ 9	-51	-49	-52	-50	-56	-50
ตำแหน่งที่ 10	-51	-49	-46	-32	-63	-50

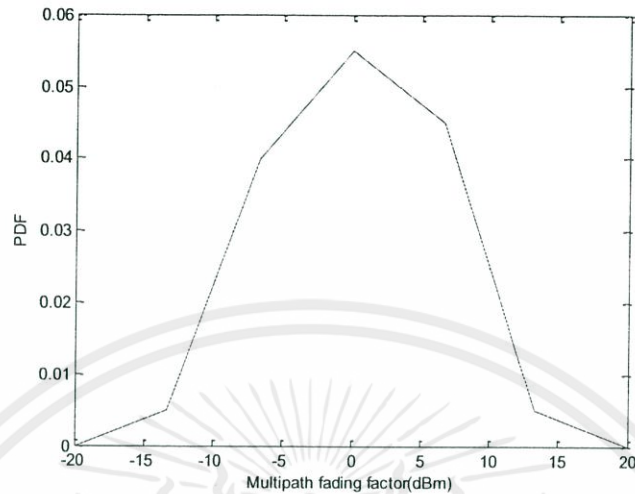
4.2.1.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นที่ความสูง 1.5 เมตร โพลาริซ์แบบแนวตั้ง จากสมการที่ 2.31 จะได้

$$P_r[dBm] = -11.7357 \log(d) - 45.77$$

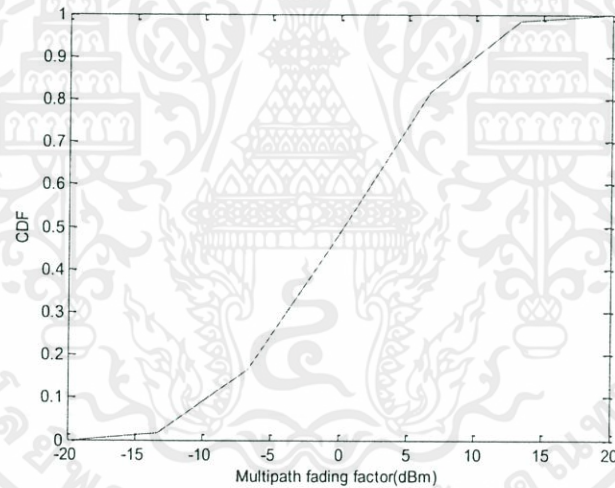


รูปที่ 4.10 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของการโพลาไรซ์แนวตั้งที่ระยะความสูง 1.5 เมตร

ได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นตามรูปที่ 4.10 ซึ่งจะได้พารามิเตอร์เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของการโพลาไรซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 1.5 เมตร โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีค่า 45.77 dBm ซึ่งผลที่ได้เห็นโดยกราฟแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ 3 ระยะ คือ 8 ,14 และ 25 กิโลเมตร มีค่า -55.40 , -61.20 และ -61.20 dBm ตามลำดับโดยคิดจากค่าเฉลี่ย



(ก)



(ข)

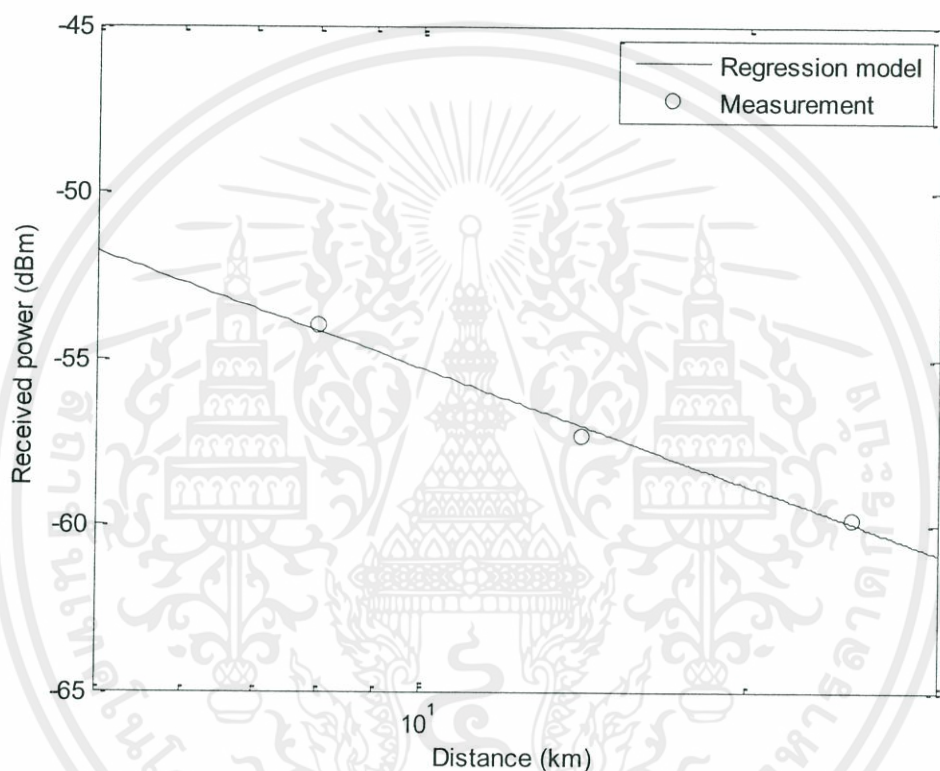
รูปที่ 4.11 Multipath fading factor

(ก) PDF (ข) CDF

รูปที่ 4.11 (ก) และ 4.11 (ข) แสดง PDF และ CDF ของตัวร่วมของการเกิด Multipath fading โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรณิการโพราไรซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 1.5 เมตร มีค่าเป็น 6.48 dBm

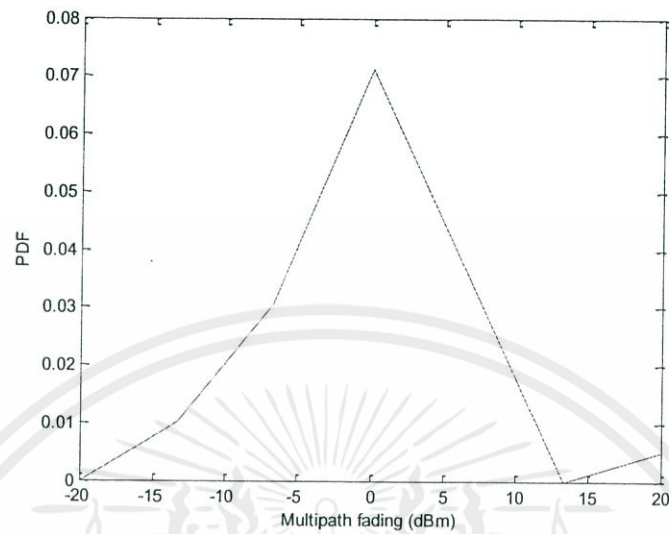
4.2.1.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นที่ความสูง 5 เมตร โพลาริซ์แบบแนวตั้ง จากสมการที่ 2.31 จะได้

$$P_r[\text{dB}] = -6.5469 \log(d) - 47.70$$

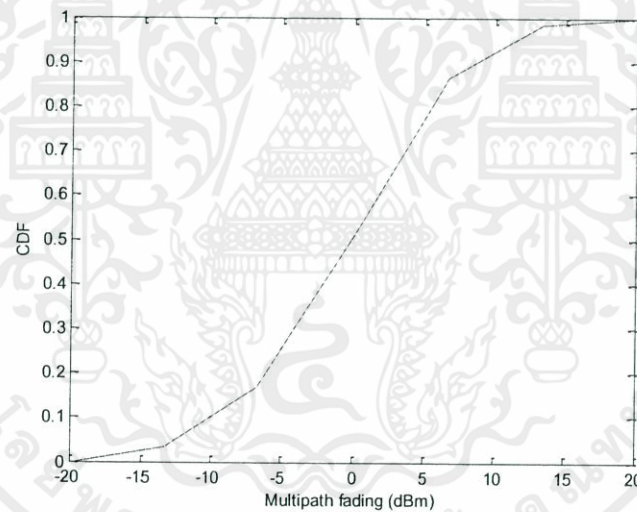


รูปที่ 4.12 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของการโพลาไรซ์แนวตั้งที่ระยะความสูง 5 เมตร

กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นตามรูปที่ 4.12 ซึ่งจะได้พารามิเตอร์เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของการโพลาไรซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 1.5 เมตร มีค่า 0.65 โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีค่า -47.70 dBm ซึ่งผลที่ได้เห็นโดยกราฟแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ 3 ระยะ คือ 8 ,14 และ 25 กิโลเมตรกิโลเมตร มีค่า -54.00 , -57.3 และ -59.80 dBm ตามลำดับโดยคิดจากค่าเฉลี่ย



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 Multipath fading factor

(ก) PDF (ข) CDF

รูปที่ 4.13 (ก) และ 4.13 (ข) แสดง PDF และ CDF ของตัวร่วมของการเกิด Multipath fading โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรณีการโพราไรซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 5 เมตร มีค่าเป็น 7.48 dBm

จากกรณีของการโพลาริซ์แบบแนวตั้ง จะเห็นว่าที่ความสูง 1.5 เมตรและความสูง 5 เมตร มีค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร เท่ากับ -45.77 dBm และ -47.70 dBm ตามลำดับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.48 และ 7.48 dBm ตามลำดับ

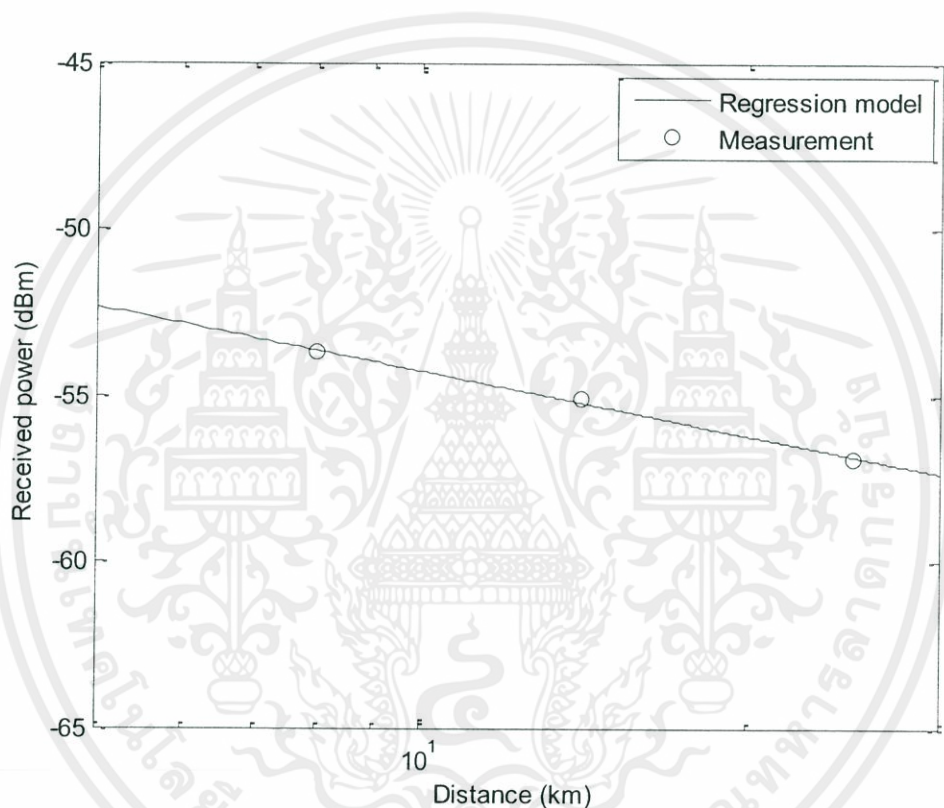
4.2.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้ในโพลาริซ์แบบแนวนอน

ตารางที่ 4.3 ค่าความแรงของสัญญาณในหน่วย dBm (โพลาริซ์แบบแนวนอน)

ระยะทาง	8 km		14 km		25 km	
	1.5 m	5 m	1.5 m	5 m	1.5 m	5 m
ความสูงของสายอากาศรับ						
ตำแหน่งที่ 1	-52	-51	-47	-44	-62	-52
ตำแหน่งที่ 2	-51	-50	-67	-65	-57	-52
ตำแหน่งที่ 3	-64	-57	-61	-57	-52	-51
ตำแหน่งที่ 4	-50	-53	-62	-58	-53	-54
ตำแหน่งที่ 5	-56	-50	-50	-47	-56	-48
ตำแหน่งที่ 6	-51	-49	-68	-62	-68	-62
ตำแหน่งที่ 7	-57	-54	-56	-56	-59	-57
ตำแหน่งที่ 8	-57	-54	-57	-56	-59	-57
ตำแหน่งที่ 9	-49	-49	-46	-55	-42	-38
ตำแหน่งที่ 10	-50	-42	-37	-24	-61	-60

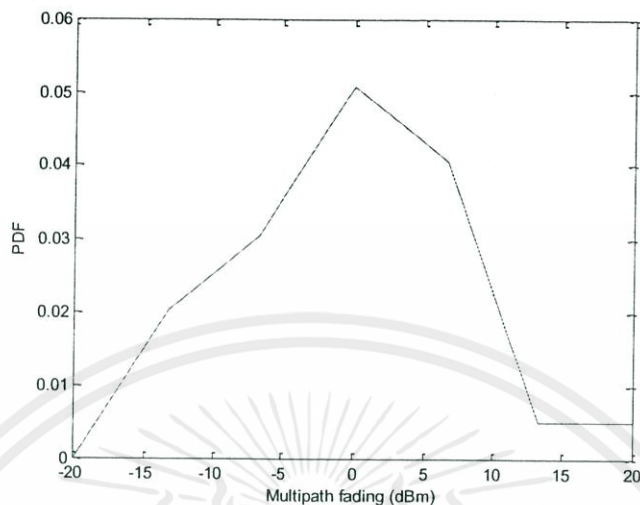
4.2.2.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นที่ความสูง 1.5 เมตร โพลาริซ์แบบแนวนอน จากสมการที่ 2.31 จะได้

$$P_r[\text{dBm}] = -11.7872 \log(d) - 43.48$$

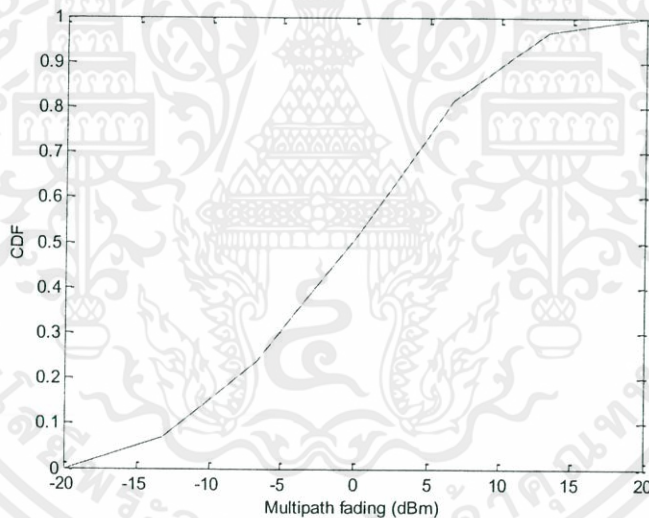


รูปที่ 4.14 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของการโพลาไรซ์แนวนอนที่ระยะความสูง 1.5 เมตร

กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นตามรูปที่ 4.14 ซึ่งจะได้พารามิเตอร์เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของการโพลาไรซ์แบบแนวนอนที่ระยะความสูง 1.5 เมตร โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีค่า -43.48 dBm ซึ่งผลที่ได้เห็นโดยกราฟแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ 3 ระยะ คือ 8 ,14 และ 25 กิโลเมตร มีค่า -53.70 , -55.10 และ -56.90 dBm ตามลำดับโดยคิดจากค่าเฉลี่ย



(ก)



(ข)

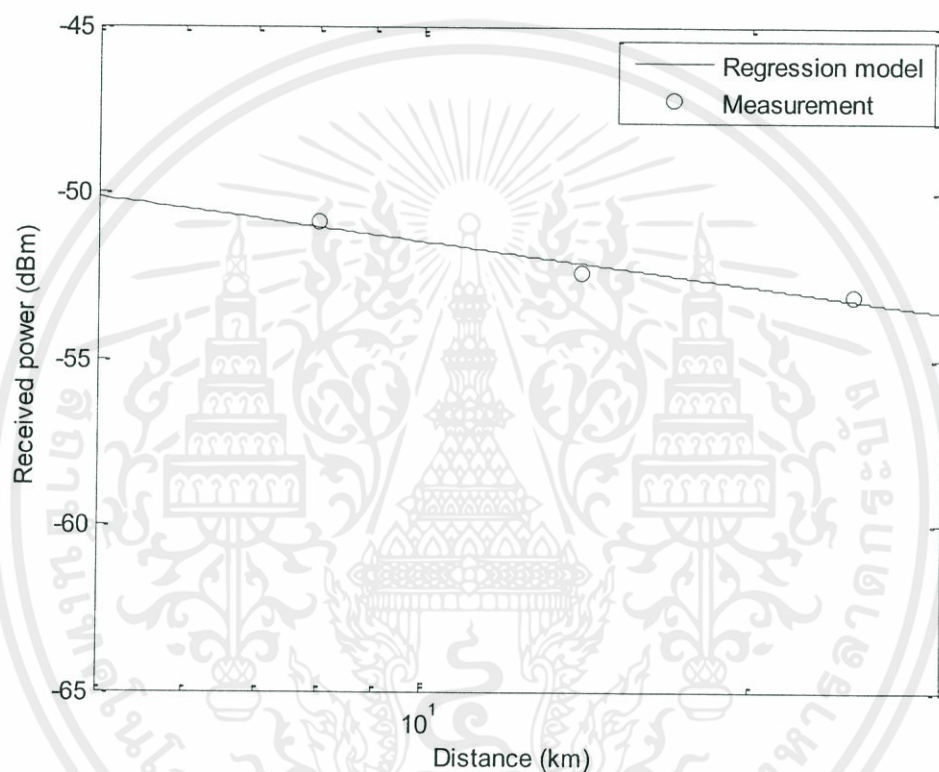
รูปที่ 4.15 Multipath fading factor

(ก) PDF (ข) CDF

รูปที่ 4.15 (ก) และ 4.15 (ข) แสดง PDF และ CDF ของตัวร่วมของการเกิด Multipath fading โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรณีการโพราไรซ์แบบแนวนอนที่ระยะความสูง 1.5 เมตร มีค่าเป็น 7.27 dBm

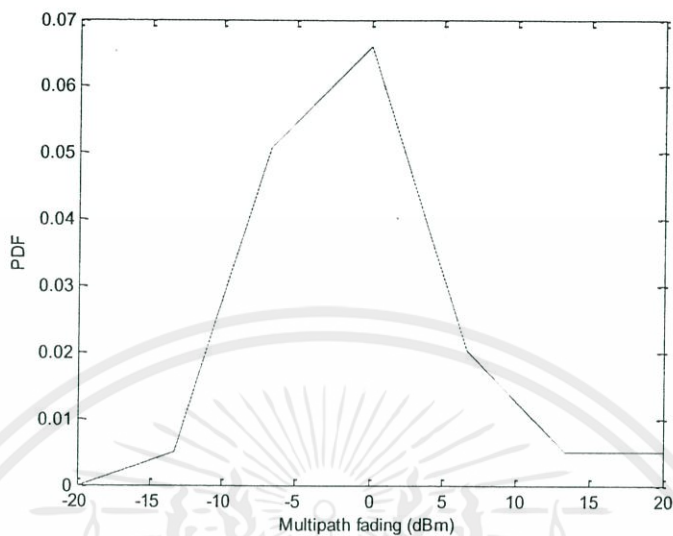
4.2.2.2 กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นที่ความสูง 5 เมตร โพลาริซ์แบบแนวนอน จากสมการที่ 2.31 จะได้

$$P_r[\text{dBm}] = -4.5019 \log(d) - 46.95$$

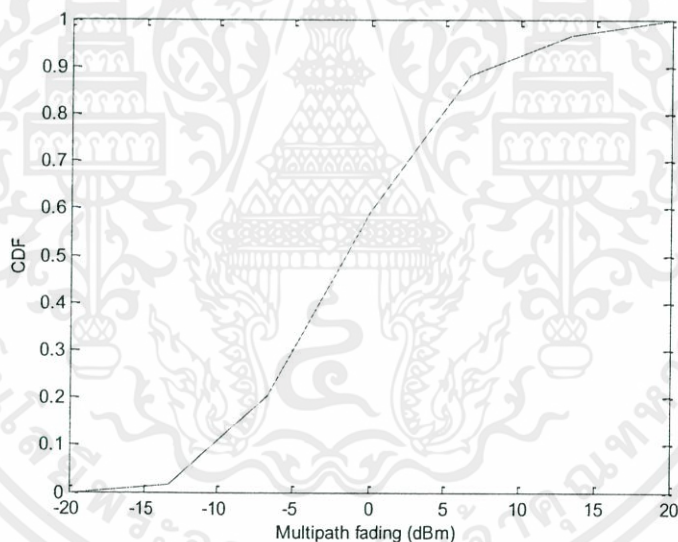


รูปที่ 4.16 การสูญเสียเชิงวิถีเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของการโพลาไรซ์แนวนอน ที่ระยะความสูง 5 เมตร

กำลังของสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นตามรูปที่ 4.16 ซึ่งจะได้พารามิเตอร์เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของการโพลาไรซ์แบบแนวนอนที่ระยะความสูง 5 เมตร มีค่า 1.18 โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีค่า -46.95 dBm ซึ่งผลที่ได้เห็นโดยกราฟแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ 3 ระยะ คือ 8 ,14 และ 25 กิโลเมตร มีค่า -50.90 , -52.40 และ -53.10 dB ตามลำดับโดยคิดจากค่าเฉลี่ย



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.17 Multipath fading factor

(ก) PDF (ข) CDF

รูปที่ 4.17 (ก) และ 4.17 (ข) แสดง PDF และ CDF ของตัวร่วมของการเกิด Multipath fading โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรณีการโพราไรซ์แบบแนวตั้งที่ระยะความสูง 5 เมตร มีค่าเป็น 7.90 dBm

จากกรณีของการโพลาริซ์แบบแนวตั้ง จะเห็นว่าที่ความสูง 1.5 เมตรและความสูง 5 เมตร มีค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร เท่ากับ -43.48 dBm และ -46.95 dBm ตามลำดับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.27 และ 7.90 dBm ตามลำดับ

4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการวัดกำลังของสัญญาณและผลจากการจำลองช่องสัญญาณด้วยแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นจะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นมีค่าไม่เป็นเชิงเส้นเท่าที่ควร เนื่องจากข้อมูลน้อยเกินไป จึงทำให้ไม่สามารถเห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่าง ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้กับระยะทางได้ชัดเจน



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและสร้างสายอากาศโดยอาศัยการตรวจสอบพื้นฐานการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ด้วยการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศได้แก่ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราการขยายของสายอากาศ ทำให้ได้สายอากาศที่สามารถนำมาใช้งานจริงด้วยการทดลองรับสัญญาณระบบโทรทัศน์แบบดิจิทัล รวมถึงใช้สายอากาศดังกล่าวการออกแบบการจำลองช่องสัญญาณ

5.1 สรุปผล

5.1.1 สรุปผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ

ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ จะเห็นได้ว่าค่า S_{11} มีค่าต่ำกว่า -10 dB ทั้งช่วงความถี่ 510-790 MHz ส่วนประสิทธิภาพของสายอากาศพบว่าสามารถใช้งานได้จริง โดยรวมแล้วสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศไดโพลแบบลูปหรืออดิกสามารถใช้งานในช่วงความถี่ 510-790 MHz ได้

5.1.2 สรุปผลการศึกษาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จากกราฟจะเห็นได้ว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นไปในรูปแบบ directional พุ่งไปในทิศทางเดียว ซึ่งตรงกับทฤษฎีและผลจากการจำลอง ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศไดโพลแบบลูปหรืออดิก สามารถนำไปใช้งานได้

5.1.3 สรุปผลวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยายของสายอากาศตามทฤษฎีคือ 9 dBi และอัตราขยายของสายอากาศที่วัดได้จริง โดยวัดทั้งในแนวระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า รวมทั้งค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 7-10 dBi มีเพียงระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 510 MHz เท่านั้นที่ได้ค่า 4.42 dBi

5.1.4 สรุปผลแบบจำลองช่องสัญญาณ

ในการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองช่องสัญญาณ โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นทำให้ได้แบบจำลองกำลังสัญญาณที่รับได้ แสดงได้ด้วยสมการและกราฟ กล่าวคือเมื่อระยะไกลออกไปมาค่าความแรงของสัญญาณจะลดลง ทำให้สัญญาณที่รับได้นั้นมี

ค่าลดลง ซึ่งเกิดจากการสูญเสียในเส้นทาง นอกจากนั้นยังอาศัยแบบจำลองทางสถิติซึ่งประกอบไปด้วย กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ทำให้ได้มาซึ่งกราฟของการเกิดเฟดดิ้ง กล่าวคือ ในระยะทางที่ห่างจากเครื่องส่งเท่ากันพบว่า ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้และวัดได้มานั้นมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นการสูญเสียที่เกิดจากสภาวะแวดล้อม คือการบดบังจากตึก อาคารสูง การสะท้อนของสัญญาณที่พื้น

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูล

ตัวแปร ที่ศึกษา	โพลาริซ์แบบแนวตั้ง		โพลาริซ์แบบแนวนอน	
	ความสูง 1.5 เมตร	ความสูง 5 เมตร	ความสูง 1.5 เมตร	ความสูง 5 เมตร
กำลังของ สัญญาณรับได้ที่ ระยะ 1 km (dBm)	-45.77	-43.48	-47.70	-46.95
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	6.48	7.48	7.27	7.90

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า กรณีการโพลาริซ์แบบแนวตั้งพบว่า ที่ความสูง 1.5 เมตร มีค่ากำลังของสัญญาณรับได้มากกว่าที่ความสูง 5 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 2.29 dBm นั่นคือ ที่ความสูง 1.5 เมตร เกิดการสูญเสียน้อยกว่าที่ความสูง 5 เมตร นอกจากนั้นที่ความสูง 1.5 เมตร ยังมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าการเกิดเฟดดิ้งที่น้อยกว่าที่ความสูง 5 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 1.00 dBm

ในกรณีของโพลาริซ์แบบแนวนอนพบว่า ที่ความสูง 1.5 เมตร มีค่ากำลังของสัญญาณรับได้มากกว่าที่ความสูง 5 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 0.75 dBm นั่นคือที่ความสูง 1.5 เมตร เกิดการสูญเสียน้อยกว่าที่ความสูง 5 เมตร นอกจากนั้นที่ความสูง 1.5 เมตร ยังมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าการเกิดเฟดดิ้งที่น้อยกว่าที่ความสูง 5 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 0.63 dBm

สรุปได้ว่า ทั้งในกรณีการโพลาริซ์แบบแนวตั้งและกรณีการโพลาริซ์แบบแนวนอนที่ความสูง 1.5 เมตร เกิดการสูญเสียน้อยกว่าที่ความสูง 5 เมตร รวมถึงการเกิดเฟดดิ้งของสัญญาณที่

น้อยกว่าด้วยเช่นกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าที่ความสูงของสายอากาศ 1.5 เมตร ทั้งในกรณีการโพลาไรซ์แบบแนวตั้งและแนวนอน สามารถรับสัญญาณได้ดีกว่าสายอากาศที่ความสูง 5 เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

สายอากาศที่ได้ทำการสร้างออกมาที่สร้างออกมา มีค่าการสูญเสียย้อนกลับซึ่งสามารถใช้งานได้ภายในความถี่ที่ต้องการ แต่ยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร เนื่องจากวัสดุที่นำมาสร้างมีข้อจำกัดทางด้านโครงสร้าง ราคาและการจัดหาวัสดุ ทำให้ต้องเลือกหาวัสดุที่สามารถหาได้ทั่วไป ซึ่งผลการทดลองข้างต้นยังมีข้อผิดพลาดอยู่แต่อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้ นอกจากนี้ยังได้ทดลองนำสายอากาศที่ได้ไปต่อกับกล่องรับสัญญาณ เพื่อรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอลและต่อเข้ากับโทรทัศน์โดยตรงโดยไม่ผ่านกล่องรับสัญญาณเพื่อรับสัญญาณในระบบอนาล็อก และดูว่าสายอากาศสามารถรับสัญญาณได้จริงและสามารถดูโทรทัศน์ได้เปรียบเทียบกับระหว่างระบบอนาล็อกและระบบดิจิตอล จากการทดลองดังกล่าวพบว่า ในการรับสัญญาณในระบบอนาล็อกสามารถรับสัญญาณได้แต่ภาพและเสียงที่ได้นั้นไม่ชัดเจน เกิดภาพขาดหายบ้างในบางช่วง ซึ่งต่างกับระบบดิจิตอลเพราะเมื่อสามารถรับสัญญาณได้นั้นหมายความว่าสามารถรับชมโทรทัศน์ได้ชัดเจน ถ้ารับไม่ได้ก็จะไม่สามารถดูได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของระบบดิจิตอล นอกจากนี้ยังพบว่าสายอากาศมีอัตราขยายที่มากสามารถรับสัญญาณได้ดีแต่มีข้อเสียคือ ต้องหันสายอากาศไปในทิศทางที่ถูกต้องจึงจะสามารถรับสัญญาณได้ซึ่งในการทดลองพบว่า เมื่อหันสายอากาศจากตำแหน่งที่รับได้ไปพอสมควรทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งต่างจากสายอากาศรับที่สามารถรับได้รอบทิศทางไม่ว่าจะหันไปทางไหนก็จะสามารถรับได้แต่สายอากาศแบบนี้มีข้อเสียที่มีอัตราขยายที่น้อยกว่ามาก ดังนั้นในการเลือกใช้งานสายอากาศรับจึงควรพิจารณาจากความต้องการเป็นหลักเพื่อให้ได้สายอากาศที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

บรรณานุกรม

- [1]Constantine A. Balanis, *antenna theory - analysis and design* 3rd ed. John Wiley & Sons : New Jersey,2005.
- [2]Jay L. Devore. *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. 4th ed. Wadsworth ,Wadsworth Publishing Company,1995.
- [3]Log Periodic Dipole Array , Antenna Theory, http://www.antenna-theory.com / ,2009
- [4]P.-G. Fontolliet, *Traité d'Électricité*, Vol. XVIII: Systèmes de télécommunications Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1996, Chapter 2 , Available at <http://www.giangrandi.ch/electronics/anttool/decibel.html>
- [5]Raj Jain. “Channel Models: A Tutorial.” *WiMAX Forum*. : 1 (2007) : 3-6.
- [6]บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. *วิศวกรรมสายอากาศ*, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- [7]แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล , สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ .



ภาคผนวก ก
มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบ
ดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น 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



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-phono socket) สำหรับสัญญาณเสียงขาออกแบบสเตอริโอ (stereo audio) ซึ่งมาพร้อมกับสายสัญญาณ ๒. หัวต่อแบบ RCA (RCA-phono socket) สำหรับสัญญาณภาพขาออกแบบคอมโพสิต (composite) ซึ่งมาพร้อมกับสายสัญญาณ ๓. หัวต่อแบบ HDMI ซึ่งสามารถป้องกันการทำสำเนา (HDCP) สำหรับสัญญาณออกดิจิทัล ซึ่งมาพร้อมกับสายสัญญาณ

4. ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านภาครับสัญญาณและภาคถอดรหัสสัญญาณ (RF Tuner and Decoder Requirements)

4.1 คุณสมบัติด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ (Radio Frequency Requirements)

คุณสมบัติด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติ และข้อกำหนดด้านความถี่ของภาครับสัญญาณ

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)	ต้องสามารถรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ถูกปรับเลื่อน (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	<ol style="list-style-type: none"> ๑. รองรับบริการทั้งในลักษณะ Single PLP (Mode A) และ Multiple PLP (Mode B) ๒. รองรับการทำงานของโครงข่ายแบบความถี่เดียว (Single Frequency Network: SFN) ตามมาตรฐาน ETSI TS 101 191 [6]

5. ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านการดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณและกระแสนส่ง (De-multiplexing and Transport Stream)

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

6. ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านสัญญาณภาพและเสียง (Video and Audio)

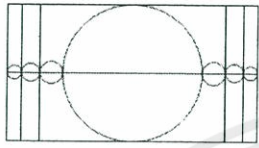
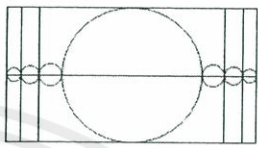
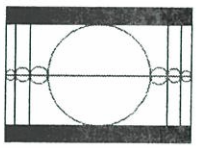
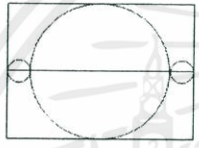
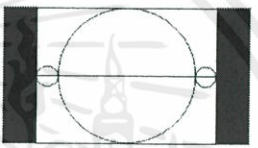
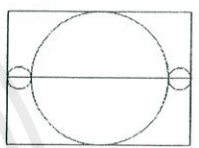
ข้อกำหนดทางเทคนิคด้านสัญญาณภาพและเสียงสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ต้องเป็นไปตามมาตรฐานดังตารางที่ 4

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

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

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

7.7 ตัวบอกช่องรายการ (Logical Channel Descriptor)

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

ตารางที่ 7 โครงสร้างตัวบอกช่องรายการ

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

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

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

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

อภิธานศัพท์

AFD	Active Format Description
AVC	Advanced Video Coding
Bslbf	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
SSU	System Software Update

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



เอกสารอ้างอิง

- [1] มอก. 1195-2536 เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าประธาน 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 : ชีตจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ
- [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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ลีททั้งหมดห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
กสทช. มส. 4002-2555

- [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





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่/จังหวัด	ตำแหน่ง	ระยะทาง (km)
โรงเรียนปัญญาวิจิตร	LAT 13° 50' 30"N	8.91
ต.คลองเกลือ ปากเกร็ด นนทบุรี	LONG 100° 12' 43"E	
ทาวน์ อิน ทาวน์	LAT 13° 46' 17"N	8.16
ลาดพร้าว กรุงเทพ	LONG 100° 36' 36"E	
ลาดพร้าว 41 ซอย 14	LAT 13° 48' 36"N	8.16
ลาดพร้าว กรุงเทพ	LONG 100° 35' 13"E	
ไถ่อย่างจ๊ะจ๋าพันธ์	LAT 13° 44' 29"N	8.8
	LONG 100° 36' 52"E	
ท่าเรือ คลองเตย	LAT 13° 42' 09"N	8.57
กรุงเทพ	LONG 100° 35' 25"E	
สะพานแขวนพระราม9	LAT 13° 41' 06"N	8.21
	LONG 100° 31' 09"E	
ไปรษณีย์บางปะแก้ว	LAT 13° 41' 10"N	9.94
จอมทอง กรุงเทพ	LONG 100° 29' 27"E	
วัดประดิษฐ์ในทรงธรรม	LAT 13° 43' 39"N	8.08
บางกอกใหญ่ กรุงเทพ	LONG 100° 28' 17"E	
วัดมณฑป	LAT 13° 46' 31"N	10.1
แขวงฉิมพลี ตลิ่งชัน กรุงเทพ	LONG 100° 26' 59"E	
ที่ว่าการอำเภอบางกรวย	LAT 13° 48' 36"N	9.3
อ.บางกรวย นนทบุรี	LONG 100° 28' 23"E	

ที่ระยะ 8 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่/จังหวัด	ตำแหน่ง	ระยะทาง (km)
แม่โคโรแจ้งวัฒนะ	LAT 13๐ 54' 1"N	15.78
ต.คลองเกลือ ปากเกร็ด นนทบุรี	LONG 100๐ 32' 53"E	
รามอินทรา 14	LAT 13๐ 51' 1"N	14.35
	LONG 100๐ 37' 36"E	
สำนักงานเขตบึงกุ่ม	LAT 13๐ 47' 13"N	15.06
บึงกุ่ม กรุงเทพฯ	LONG 100๐ 45' 44"E	
ปั๊บบ Caltex	LAT 13๐ 43' 27"N	13.84
	LONG 100๐ 39' 29"E	
วัดด่านสำโรง	LAT 13๐ 38' 38"N	14.79
อ.เมือง สมุทรปราการ	LONG 100๐ 36' 21"E	
สะพานวงแหวนอุตสาหกรรม	LAT 13๐ 38' 38"N	14.58
ถ.สุขสวัสดิ์ กรุงเทพฯ	LONG 100๐ 36' 21"E	
วัดพุทธบูชา	LAT 13๐ 39' 11"N	13.77
แขวงบางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ	LONG 100๐ 28' 27"E	
โรงเรียนวัดบางแคเหนือ	LAT 13๐ 42' 50"N	14.75
บางแค กรุงเทพฯ	LONG 100๐ 24' 47"E	
โรงเรียนเทพศิรินทร์	LAT 13๐ 47' 35"N	14.74
ต.บางคูเวียง บางกรวย นนทบุรี	LONG 100๐ 24' 39"E	
โรงเรียนวัดไทรมาเหนือ	LAT 13๐ 51' 49"N	14.05
ต.ไทรมา อ.เมือง นนทบุรี	LONG 100๐ 28' 34"E	

ที่ระยะ 14 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่/จังหวัด	ตำแหน่ง	ระยะทาง (km)
วัดบางกุกุทอง	LAT 13๐ 59' 26"N	25.96
ต.บางกระดี อ.เมือง นนทบุรี	LONG 100๐ 32' 17"E	
ถนนลำลูกกา	LAT 13๐ 55' 50"N	25.05
	LONG 100๐ 40' 53"E	
ถนนสุวินทวงศ์	LAT 13๐ 48' 56"N	25.39
	LONG 100๐ 45' 44"E	
ลานจอดรถสนามบินสุวรรณภูมิ	LAT 13๐ 42' 08"N	25.86
บางพระ สมุทรปราการ	LONG 100๐ 46' 01"E	
หมู่บ้านอบลศรี แพรกษา14	LAT 13๐ 34' 02"N	25.53
เมือง สมุทรปราการ	LONG 100๐ 40' 01"E	
ป้อมพระจุล	LAT 13๐ 32' 17"N	24.95
พระสมุทรเจดีย์ สมุทรปราการ	LONG 100๐ 34' 58"E	
วัดประทีปพิชผล	LAT 13๐ 42' 9"N	19.94
บางขุนเทียน กรุงเทพฯ	LONG 100๐ 17' 59"E	
บ.นมเบอร์ผลิตภัณฑ์ยาง	LAT 13๐ 36' 28"N	26.67
กระท่อมแบน สมุทรสาคร	LONG 100๐ 26' 16"E	
หน้าซอยศรีสุภาลัย	LAT 13๐ 50' 58"N	27.53
ต.บ้านใหม่ บางใหญ่ นนทบุรี	LONG 100๐ 18' 18"E	
โรงเรียนญามาสุตติน	LAT 13๐ 57' 14"N	27.06
บางบัวทอง นนทบุรี	LONG 100๐ 23' 42"E	

ที่ระยะ 25 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้