รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

สายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

Omnidirectional Antenna Radiating Horizontal Polarization for DTV Reception

รศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

นายบัญชา เหลือแดง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากแหล่งเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

สายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

Omnidirectional Antenna Radiating Horizontal Polarization for DTV Reception

รศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

นายบัญชา เหลือแดง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากแหล่งเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) สายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล
แหล่งเงิน แหล่งเงินรายได้
ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2557 ถึง กันยายน 2558
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
นายชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
นายบัญชา เหลือแดง

บทคัดย่อ

รายงานนี้นำเสนอสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันเพื่อรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอลย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยมีย่านความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง และมีโพลาไรซ์แนวนอน โดยใช้เทคนิคการปรับขนาดของสายอากาศแบบวงแหวนซ้อนทับกัน พร้อมกับปรับด้วยส่วนโค้งของวงแหวนและปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน เพื่อเพิ่มอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ให้ครอบคลุมตลอดย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล โครงสร้างสายอากาศทำด้วยวัสดุแผ่นทองเหลืองประกอบด้วยแผ่นวงแหวนจำนวนสองแผ่น โดยแต่ละแผ่นวงแหวนจะประกอบด้วยองค์ประกอบไดโพลจำนวนห้าองค์ประกอบ จากนั้นนำแผ่นวงแหวนวางซ้อนกันในระนาบ xy มีอากาศเป็นไดอิเล็กตริก โดยใช้การป้อนร่วมแบบโคแอกเชียลอิมพีแดนซ์ 75 Ω ค่า $|S_{11}|$ ที่ได้มีค่าต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 445 MHz จนถึง 920 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ 68.59% สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง อัตราขยายที่ได้จากการจำลองที่ย่านความถี่ใช้งานจาก 470 MHz ถึง 862 MHz มีค่า -7.07 dBi ถึง 0.59 dBi และผลของการทดสอบสายอากาศต้นแบบมีค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองมีค่าต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 404 MHz จนถึง 871 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ 70.25% สายอากาศต้นแบบมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง อัตราขยายที่ได้จากการทดสอบที่ย่านความถี่ใช้งานจาก 470 MHz ถึง 862 MHz มีค่า -6.52 dBi ถึง 0.67 dBi จากนั้นทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยเชื่อมต่อเข้ากับกล่องรับสัญญาณพบว่าการรับสัญญาณมีคุณภาพสามารถยอมรับได้ และสุดท้ายทำการจำลองผลของสายอากาศ โดยนำสายอากาศดังกล่าวไปติดตั้งบนรถ พบว่าสายอากาศดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้งานบนรถยนต์ได้

คำสำคัญ : โทรทัศน์ดิจิตอล โพลาไรซ์แนวนอน สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Omnidirectional Antenna Radiating Horizontal Polarization for DTV Reception

Researcher: Mr. Chuwong Phongcharoenpanich Mr. Bancha Luadang

Faculty: Engineering **Department:** Telecommunication Engineering

ABSTRACT

This report presents a stacked circular ring antenna radiating horizontally polarized omnidirectional pattern for DTV reception. The operating frequency ranges from 470 MHz to 862 MHz at DTV frequency. The proposed antenna presents a horizontally polarized omnidirectional beam. This report used a technique to enlarge dimension of circular ring, varied branch curved and distance between circular rings to improve the impedance bandwidth of antenna. The antenna structure is made of a thin brass sheet that consists of two circulars ring, each of circular rings consists of five dipole elements, and keep each of circular ring on an air gap in xy-plane. The circular ring is fed by a 75Ω coaxial transmission line. The simulated results show that good impedance matching of $|S_{11}|$ less than -10 dB along the frequency range from 445 MHz to 920 MHz. It has 68.59% bandwidth. The antenna radiates an omnidirectional pattern with horizontal polarization. The simulated gain of the antenna at the operating frequency between 470 MHz and 862 MHz are between -7.07 dBi and 0.59 dBi. The measured results show good impedance matching for $|S_{11}|$ less than -10 dB along the frequency range from 404 MHz to 871 MHz. It has 70.25% bandwidth. The antenna radiates omnidirectional pattern with horizontal polarization. The measured gain of the antenna at the operating frequency from 470 MHz to 862 MHz is -6.52 dBi to 0.67 dBi. And then, the DTV signal reception was measured. The propose antenna could receive DTV signal. The quality of signal is acceptable. Finally, the simulate antenna on the car. It can be applied for the DVB-T2 vehicle application.

Keywords: DTV, horizontally polarization, and antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบทุนวิจัยประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ขอขอบคุณทุกท่านในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทดสอบ และให้คำปรึกษา รวมถึงเทคนิคต่างๆที่สามารถนำมาใช้ในการทำโครงการวิจัยนี้

นายชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

นายบัญชา เหลือแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญรูปภาพ..... VII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย..... 2

1.3 รายละเอียดรายงาน..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ..... 5

2.1 บทนำ..... 5

2.2 ความเป็นมาของการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล..... 5

2.3 รูปแบบและแบนด์วิดธ์..... 6

2.4 โทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย..... 7

2.4.1 การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล..... 7

2.4.2 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย..... 8

2.4.3 กล่องรับสัญญาณ (Set Top Box)..... 12

2.5 ศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อน..... 15

2.5.1 งานวิจัยสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่มีมาก่อน..... 15

2.5.2 งานวิจัยสายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวที่มีมาก่อน..... 22

2.6 สรุป..... 25

บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองสายอากาศ..... 27

3.1 บทนำ..... 27

3.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ..... 27

3.2.1 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบสี่ก้าน..... 31

3.2.2 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้าน..... 41

3.2.3 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้าน โดยเพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณขนาด r_3..... 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.4 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้าน โดยเพิ่มกิ่งโค้ง 58
3.3 ผลการจำลองของสายอากาศ 63
3.3.1 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ 63
3.3.2 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) 64
3.3.3 ผลการจำลองการกระจายของกระแส (Current distribution) 65
3.3.4 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ (Gain) 66
3.4 สรุป 67

บทที่ 4 การทดสอบ 69
4.1 บทนำ 69
4.2 สายอากาศต้นแบบ 69
4.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบ 70
4.3.1 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ 70
4.3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) 71
4.3.3 อัตราขยาย (Gain) 77
4.4 สรุป 79

บทที่ 5 การประยุกต์ใช้งานโดยการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล 81
5.1 บทนำ 81
5.2 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล 81
5.3 การจำลองสายอากาศด้วยการติดตั้งบนรถยนต์ 85
5.4 สรุป 89

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 90
6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 90
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา 93
เอกสารอ้างอิง 94
ประวัติผู้เขียน 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติ และข้อกำหนดด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ	13
2.2	สรุปคุณสมบัติของสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	21
2.3	สรุปคุณสมบัติของสายอากาศของที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง และมีการโพลาไรซ์แนวนอนของผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	25
3.1	วิวัฒนาการของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน	30
3.2	พารามิเตอร์ของสายอากาศสายอากาศแบบสี่ก้าน	38
3.3	ค่าการกระเพื่อมสูงสุดและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง	41
3.4	พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้าน	50
3.5	พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มบริเวณจุดป้อนสัญญาณ	57
3.6	พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มกิ่งโค้ง	60
3.7	เปรียบเทียบการกระเพื่อมสูงสุดและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง	63
3.8	สรุปคุณลักษณะของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง	67
4.1	สรุปผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน	79
5.1	ผลการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล	83
5.2	สรุปผลการจำลองคุณลักษณะของสายอากาศขณะติดตั้งสายอากาศบนรถ	89
6.1	เปรียบเทียบสายอากาศที่นำเสนอ กับงานวิจัยสายอากาศโทรทัศน์ดิจิตอลที่มีมาก่อน	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	สัญญาณระบบมัลติเพล็ก	1
1.2	เปรียบเทียบการส่งสัญญาณระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านดาวเทียม (DVB-S) กับระบบแพร่ภาพดิจิตอลภาคพื้นดิน (DVB-T)	2
1.3	ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล	3
2.1	มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของแต่ละประเทศ	6
2.2	การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล	8
2.3	การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5	9
2.4	ผลการทดสอบสัญญาณของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5 ที่ส่งจากตึกใบหยก	9
2.5	การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของช่อง 9 อสมท	10
2.6	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของ อสมท. ที่ส่งจากตึกใบหยก	10
2.7	การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดขอนแก่น	11
2.8	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดขอนแก่น	11
2.9	การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดสุโขทัย	12
2.10	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดสุโขทัย	12
2.11	จอภาพ (โทรทัศน์ที่รับสัญญาณระบบดิจิตอลได้) และแบบไม่มีจอภาพ (กล่องรับสัญญาณ Set Top Box)	13
2.12	สายอากาศไดโพลพับโหลดด้วยตัวเก็บประจุและสตับสำหรับรับโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดิน [1]	15
2.13	สายอากาศโมโนโพลไมโครสติป พร้อมระนาบกราวนด์ สำหรับประยุกต์ใช้งานโทรทัศน์ดิจิตอล [2]	16
2.14	สายอากาศไดโพลที่มีจุดป้อนสัญญาณเป็นช่องว่าง สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [3]	17
2.15	สายอากาศโมโนโพลรูปอักษรตัวเจสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ [4]	18
2.16	สายอากาศแบบเกลียว สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [5]	18
2.17	สายอากาศ PIFA แบบสองย่านความถี่ สำหรับประยุกต์ในโทรทัศน์ระบบดิจิตอลและ WiMAX [6]	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.18	สายอากาศ EBG สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินภายในอาคาร [7]	20
2.19	สายอากาศแบบห่วงสำหรับ LTE และเครื่องเล่นแบบพกพาสำหรับรับสัญญาณย่านโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [8]	20
2.20	สายอากาศบรอดแบนด์แบบรอบตัวที่มีการโพลาไรซ์คู่ สำหรับสถานีส่ง [9]	22
2.21	สายอากาศขนาดเล็กแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์แนวนอน [10]	23
2.22	สายอากาศขนาดเล็กย่านกว้างสำหรับย่านความถี่ยูเอชเอฟ [11]	24
2.23	สายอากาศย่านกว้างแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์แนวนอนสำหรับประยุกต์ใช้งาน 4G LTE [12]	25
3.1	สายอากาศที่ออกแบบเริ่มแรกที่มีสี่ก้าน	28
3.2	ลักษณะโครงสร้างของก้านไดโพล และส่วนโค้ง	28
3.3	องค์ประกอบไดโพล	28
3.4	แผ่นวงแหวน	29
3.5	สายอากาศเริ่มต้น	29
3.6	สายอากาศที่ออกแบบเริ่มแรกที่มีสี่ก้าน	31
3.7	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H)	32
3.8	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H)	33
3.9	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α)	34
3.10	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ เมื่อระยะระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α)	35
3.11	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm ส่วนโค้ง (α) เท่ากับ 38° และทำการปรับความกว้างก้านไดโพล (W)	36
3.12	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ เมื่อกำหนดระยะระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm มุมของส่วนโค้ง (α) เท่ากับ 38° และทำการปรับความกว้างก้านไดโพล (W)	37
3.13	ผลการจำลองการกระจายของกระแสบนผิวสายอากาศของสายอากาศเริ่มต้นที่มีสี่ก้าน	39
3.14	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบสี่ก้าน	40
3.15	สายอากาศที่ออกแบบห้าก้าน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.16	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้าน โดยใช้พารามิเตอร์เหมือนกับสายอากาศเริ่มต้นที่มีสี่ก้าน	42
3.17	ผลการจำลองเปรียบเทียบ $\|S_{11}\|$ ของสายอากาศแบบสี่ก้านและแบบห้าก้าน โดยใช้พารามิเตอร์เหมือนกับสายอากาศแบบสี่ก้าน	43
3.18	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้าน เมื่อปรับระยะห่างระหว่างวงแหวน (H)	44
3.19	ผลการจำลองค่า $\|S_{11}\|$ ของสายอากาศแบบห้าก้าน เมื่อปรับระยะห่างระหว่างวงแหวน (H)	45
3.20	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้าน เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างวงแหวน (H) และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α)	46
3.21	ผลการจำลองค่า $\|S_{11}\|$ เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างวงแหวน (H) และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α)	47
3.22	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ เมื่อทำการปรับความกว้างก้านของสายอากาศ (w)	48
3.23	ผลการจำลองค่า $\|S_{11}\|$ เมื่อทำการปรับความกว้างก้านของสายอากาศ (w)	48
3.24	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2)	49
3.25	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ ทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2)	50
3.26	สายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มพื้นที่ป้อนสัญญาณ	51
3.27	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มพื้นที่ป้อนสัญญาณ เมื่อทำการปรับรัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ (r_3)	52
3.28	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ ของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ และทำการปรับรัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ (r_3)	53
3.29	โครงสร้างของสายอากาศก่อน และหลังเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ	53
3.30	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้านที่เพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณ ทำการปรับลดระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H)	54
3.31	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ ของสายอากาศแบบห้าก้านที่เพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณ เมื่อทำการปรับลดระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H)	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.32	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2)	56
3.33	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ เมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2)	57
3.34	สายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง	58
3.35	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อทำการปรับรัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง (r_4) มุมของส่วนโค้งกิ่งโค้ง (β)	59
3.36	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ เมื่อทำการปรับรัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง (r_4) และมุมของส่วนโค้งกิ่งโค้ง (β)	60
3.37	เปรียบเทียบผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ ของสายอากาศทั้ง 4 แบบที่ได้ทำการออกแบบ	61
3.38	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยการเปรียบเทียบสายอากาศแบบสี่ก้านที่เป็นโครงสร้างเริ่มต้น และสายอากาศห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง	62
3.39	ผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ สายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน	63
3.40	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน	65
3.41	ผลการจำลองการกระจายของกระแสบนผิวของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน	66
3.42	ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง	67
4.1	โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ	69
4.2	การทดสอบคุณลักษณะ $\|S_{11}\|$ ของสายอากาศ	70
4.3	เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $\|S_{11}\|$ ของสายอากาศต้นแบบ	71
4.4	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xy	72
4.5	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xy	73
4.6	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xz	73
4.7	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xz	74
4.8	เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ ที่ความถี่ 470 MHz	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

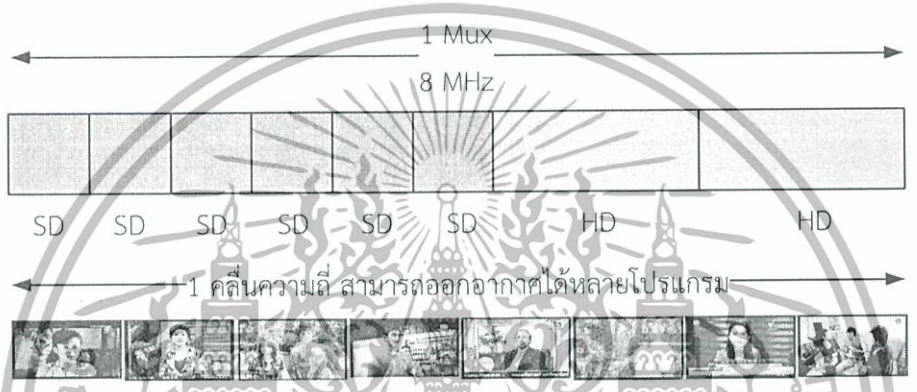
รูปที่		หน้า
4.9	เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบที่ความถี่ 666 MHz	76
4.10	เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบที่ความถี่ 862 MHz	77
4.11	เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ	78
5.1	พื้นที่บริเวณรัศมีทดลองออกอากาศโทรทัศน์ดิจิตอลโดยสถานีเครื่องส่งโทรทัศน์และซ่อมบำรุง อสมท. จังหวัดขอนแก่น	81
5.2	การต่ออุปกรณ์ทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล	82
5.3	อุปกรณ์สำหรับทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล	82
5.4	การติดตั้งสายอากาศและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล (ก) เมื่อไม่ต่อสายอากาศ (ข) เมื่อต่อสายอากาศต้นแบบเข้ากับกล่องรับสัญญาณ DVB-T2	82
5.5	การจำลองสายอากาศขณะติดตั้งบนรถยนต์	85
5.6	ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับรถ	86
5.7	เปรียบเทียบผล $\|S_{11}\|$ ระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถ ขณะติดตั้งบนรถ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถ	86
5.8	เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถ ขณะติดตั้งบนรถ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถ	87
5.9	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถ ขณะติดตั้งบนรถ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถ	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

โทรทัศน์ระบบดิจิตอลหรือดิจิตอลทีวี เป็นการส่งสัญญาณภาพและเสียงในระบบดิจิตอล ประสิทธิภาพสูง โดยมีการส่งสัญญาณที่เรียกว่า Multicasting คือรับส่งข้อมูลได้จำนวนมากใน 1 ช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นการนำเอาเทคโนโลยีความก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์มาปรับใช้กับระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ทำให้เกิดการส่งและรับสัญญาณในรูปแบบดิจิตอล



รูปที่ 1.1 สัญญาณระบบมัลติเพล็ก

การส่งและรับสัญญาณในรูปแบบดิจิตอล ซึ่งทั่วโลกให้ความสนใจและหันมาปรับใช้ ได้แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

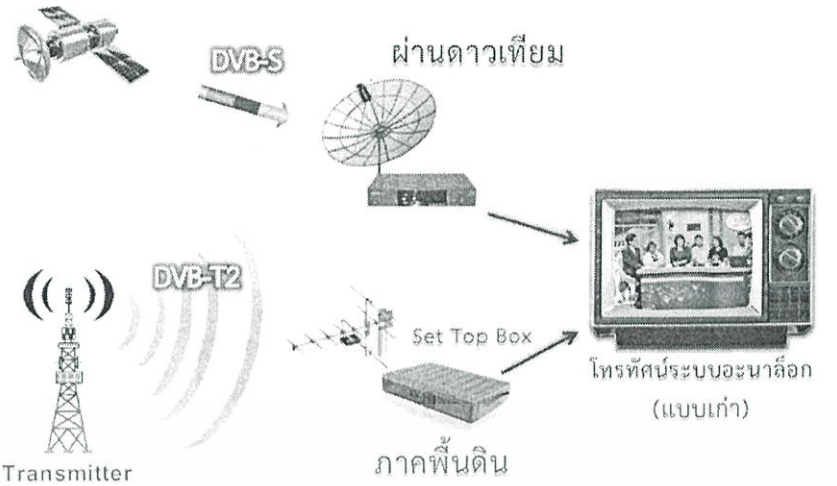
1. ระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านดาวเทียม (DVB-S: The Digital Video Broadcasting Satellite System)

2. ระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านสายเคเบิล (DVB-C: the Digital Cable Eleliverly System)

3. ระบบแพร่ภาพดิจิตอลภาคพื้นดิน (DVB-T: The Digital Terrestrial Television System)

สำหรับในประเทศไทย คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. ได้มีมติเลือกใช้ระบบการแพร่ภาพแบบ DVB-T คือมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลที่นิยมและทันสมัยมากที่สุดในเวลานี้ หลายประเทศได้นำเอาไปใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับ โดยเฉพาะประเทศในแถบยุโรป และประเทศเพื่อนบ้านของเราก็มีการใช้ระบบดังกล่าวเช่นกัน ปัจจุบันระบบ DVB-T ได้พัฒนาเป็นระบบ DVB-T2 ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูง และประเทศไทยได้เลือกใช้ระบบดังกล่าว และในขณะนี้สถานีโทรทัศน์หลายช่องกำลังทดลองออกอากาศด้วยระบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบการส่งสัญญาณระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านดาวเทียม (DVB-S) กับระบบแพร่ภาพดิจิตอลภาคพื้นดิน (DVB-T)
(http://dtv.mcot.net/data/up_show.php?id=1379730890&web=reportdtv)

คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. ได้กำหนดคุณสมบัติด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ คือ มาตรฐานเลขที่ กสทช. มส. 4002-2555 สำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล โดยใช้ย่านความถี่วิทยุสำหรับภาครับสัญญาณตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลเพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยการป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวนสองแผ่น ที่วางซ้อนกัน โดยสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นสามารถรับสัญญาณได้รอบทิศทาง โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องทำการปรับสายอากาศในขณะที่ทำการติดตั้งเพื่อรับสัญญาณ และไม่ต้องสนใจว่าสถานีส่งจะอยู่ในทิศทางใด

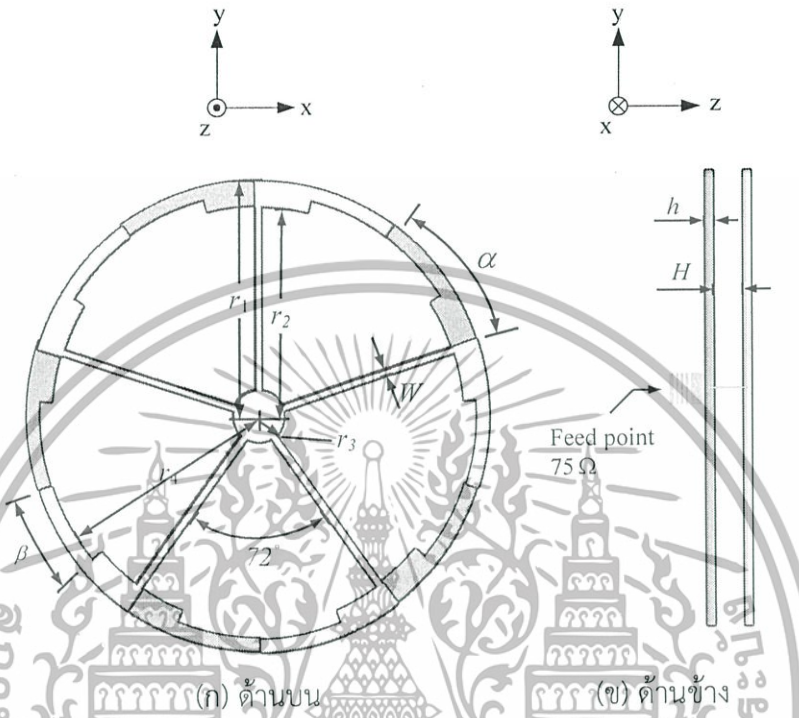
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย

รายงานนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โครงสร้างของสายอากาศถูกออกแบบมาจากการนำแผ่นวงแหวนสองวงที่มีขนาดเหมือนกันวางทับซ้อนกัน และป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวนทั้งสอง โดยมีอากาศเป็นไดอิเล็กตริกระหว่างแผ่นวงแหวน โครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 1.3 ซึ่งจะนำสายอากาศดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล

ในส่วนของการจำลองสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® [13] ทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการหาค่าคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสม โดยการพิจารณาผลของ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) การกระจายของกระแส (Current distribution) และอัตราขยาย (Gain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะทำการยืนยันค่าคุณลักษณะที่ได้จากการจำลอง โดยทำการทดสอบในห้องที่ไม่มีการสะท้อน เพื่อทำการวัดทดสอบ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) และอัตราขยาย (Gain) อีกทั้งยังยืนยันความสามารถของสายอากาศต้นแบบดังกล่าว โดยการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล จากสถานีเครื่องส่งโทรทัศน์ระบบดิจิตอล



(ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง

รูปที่ 1.3 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

วัตถุประสงค์ของรายงานนี้ คือ ทำการศึกษาสายอากาศในย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่มีช่วงความถี่การใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz ตามมาตรฐานของ กสทช. ที่ได้กำหนดคุณสมบัติด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ โดยจะศึกษาถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ เพื่อพัฒนาให้สายอากาศมีคุณลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน และทำการออกแบบสายอากาศให้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้จริง รวมทั้งโครงสร้างของสายอากาศจะต้องมีความเรียบง่าย ไม่ซับซ้อน น้ำหนักเบา รวมทั้งวัสดุที่ใช้ทำสายอากาศสามารถหาซื้อได้ง่าย

1.3 รายละเอียดของรายงาน

รายงานฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษาขอบเขตการวิจัย และรายละเอียดของรายงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล รวมทั้งงานวิจัยที่มีมาก่อนเกี่ยวกับสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศต้นแบบ จะเริ่มจากการคำนวณหาค่าความยาวของสายอากาศเริ่มต้น เพื่อนำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® [13] ซึ่งสามารถที่จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลการจำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และสามารถที่จะทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ตลอดย่านความถี่ใช้งาน และมีโพลาไรซ์แนวนอน ซึ่งเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับการออกแบบสายอากาศที่มีแบนด์วิดธ์กว้าง

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดสอบสายอากาศ พร้อมทั้งแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ ซึ่งจะพิจารณาค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยายของสายอากาศ

บทที่ 5 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศต้นแบบ โดยทำการเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล (Set Top Box) เพื่อรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาของรายงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางการศึกษาสำหรับการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

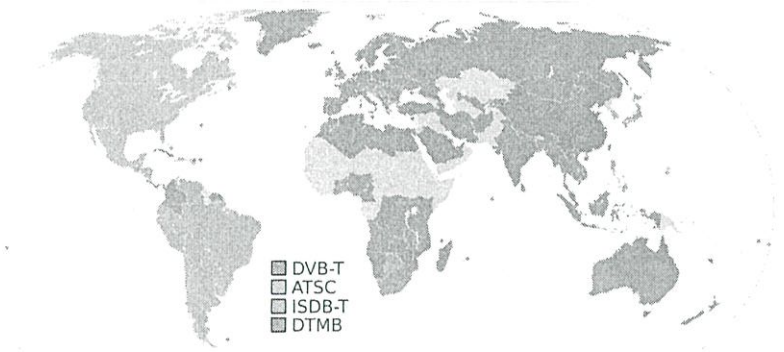
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของการสื่อสารโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยเริ่มจากความเป็นมาของการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล รูปแบบและแบนด์วิดธ์ของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย คุณสมบัติของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล งานวิจัยที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล และทฤษฎีสายอากาศ

2.2 ความเป็นมาของการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

โทรทัศน์ระบบดิจิตอล (Digital Television) หรือทีวีดิจิตอล หรือ DTV คือ การส่งผ่านของสัญญาณเสียงและวิดีโอ โดยใช้กระบวนการของการผสมสัญญาณแบบดิจิตอล ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงกับการส่งผ่านสัญญาณแบบอนาล็อก ที่มีการแยกสัญญาณของช่องสัญญาณออกจากกัน ซึ่งรูปแบบดังกล่าวนี้ ถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมที่ปฏิวัติเทคโนโลยีโทรทัศน์เป็นอย่างมาก นับตั้งแต่นวัตกรรมโทรทัศน์สีเมื่อปี พ.ศ. 2493 โดยสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบอนาล็อกในหนึ่งช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Multicasting การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลนั้นจะทำให้ได้คุณภาพของสัญญาณภาพและเสียงที่ดีกว่า เช่น โทรทัศน์ระบบ HDTV ซึ่งในหลายๆ ประเทศ กำลังเปลี่ยนระบบการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกมาเป็นการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล โดยเป็นการใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่วิทยุในอีกรูปแบบหนึ่ง รูปที่ 2.1 แสดงมาตรฐานในการรับส่งสัญญาณภาคพื้นดินในแนวราบที่ใช้กันในแต่ละประเทศ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

- Advanced Television System Committee (ATSC) ใช้ Eight-Level Vestigial Sideband (8VSB) ถูกพัฒนาใน 6 ประเทศ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา คานาดา เม็กซิโก เกาหลีใต้ สาธารณรัฐโดมินิกัน และฮอนดูรัส
- Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T) ใช้การผสมสัญญาณแบบ Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) พัฒนาในยุโรป ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์
- Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T) ได้รับการพัฒนาในญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ ISDB-T International เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาต่อมาโดยการใช้ H.264/MPEG-4 AVC ที่ถูกนำมาใช้ในประเทศในทวีปอเมริกาใต้เป็นส่วนใหญ่และประเทศในทวีปแอฟริกา
- Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting (DTMB) พัฒนา OFDM technology แบบ time-domain synchronous (TDS) ที่ใช้ pseudo-random signal frame ให้ทำงานเป็น guard interval (GI) ของ OFDM block มาตรฐานนี้ถูกพัฒนาในประเทศจีน รวมทั้งฮ่องกง และมาเก๊า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของแต่ละประเทศ
(http://www.thaidigitaltelevision.com)

2.3 รูปแบบและแบนด์วิดธ์

โทรทัศน์ระบบดิจิตอลมีการส่งหลายๆ รูปแบบของภาพที่แตกต่างกัน ที่กำหนดโดยระบบการออกอากาศทางโทรทัศน์ซึ่งเป็นส่วนผสมของขนาด และอัตราส่วนของความกว้างต่อความสูง

ระบบการรับส่งสัญญาณภาพและเสียงที่มีข้อมูลจะมีการเข้ารหัสเป็นแบบดิจิตอล ที่มีค่า “0” กับ “1” เท่านั้น โดยมีกระบวนการต่าง ๆ ที่จะทำการแปลงสัญญาณภาพและเสียงให้เป็นดิจิตอล มีการบีบอัดข้อมูล ทำการเข้ารหัสข้อมูล ก่อนที่จะทำการมอดูเลตข้อมูลดิจิตอลเหล่านี้ เพื่อส่งผ่านตัวกลางไปสู่ผู้รับปลายทาง ซึ่งต่างกันโดยสิ้นเชิงกับโทรทัศน์ระบบอนาล็อก เมื่อสัญญาณดิจิตอลถูกส่งมายังเครื่องรับโทรทัศน์ จะผ่านกระบวนการบีบอัดข้อมูลสัญญาณดิจิตอล โดย MPEG-2 หรือ MPEG-4 ทำการถอดรหัส หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังหลอดภาพ แล้วหลอดภาพจะยิงลำแสงออกไปยังหน้าจอโทรทัศน์ ทำให้เกิดพิกเซลบนจอภาพ ซึ่งในระบบโทรทัศน์ความละเอียดสูง (High Definition Television) หรือ HDTV นั้นจะให้ภาพที่มีความละเอียดของพิกเซล สูงกว่าโทรทัศน์ทั่วไปมาก จึงทำให้ภาพที่ออกมามีความคมชัด ละเอียด และไม่มีการกระพริบของสัญญาณภาพ ลักษณะการยิงลำแสง แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ Interlaced Scanning ซึ่งใช้ตัวย่อ i เป็นการสแกนลำแสงสลับเส้นคี่และคู่ และ Progressive Scanning ซึ่งใช้ตัวย่อ p เป็นการสแกนตามลำดับ 1,2,3,...

- 480i/576i (SDTV) คือ สัญญาณโทรทัศน์มาตรฐานที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน เป็นแบบดิจิตอล
- 480p/576p (EDTV) คือ โทรทัศน์ที่มีความชัดเจนเพิ่มขึ้น (Enhanced Definition Television) หรือ EDTV ที่ให้ภาพชัดเจนใกล้เคียงกับ HDTV ซึ่งดีกว่าที่รับชมกันในขณะนี้ และทุกวันนี้สามารถ เล่นแผ่นดีวีดีทั้งหมดกับ EDTV ได้
- 720p (HDTV) เป็น HDTV Format ที่ให้คุณภาพใกล้เคียงกับ 1080i แต่ก็ยอมให้ส่งสัญญาณ 480p ได้ด้วย
- 1080i (HDTV) เป็น HDTV Image ที่มีคุณภาพของภาพที่คมชัด ซึ่งเป็นแบบที่ผู้ให้บริการโทรทัศน์ใช้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งกระจายเสียงและภาพในระบบดิจิตอลทีวี ช่วงของรูปแบบสามารถแบ่งออกกว้างๆ ได้เป็นสองประเภทได้แก่ โทรทัศน์ความละเอียดสูง (High Definition Television) หรือ HDTV สำหรับการส่งภาพวิดีโอความละเอียดสูง และโทรทัศน์ความละเอียดมาตรฐาน (Standard Definition Television) หรือ SDTV ซึ่งภาพของโทรทัศน์มีความละเอียดที่แตกต่างกัน ซึ่งหมายถึงความคมชัดของภาพ โดยจะเป็นไปตามจำนวนชิ้นส่วนเล็กๆของภาพใหญ่ที่มีมากน้อย เพื่อสร้างภาพทั้งหมดขึ้นมาใหม่ คำนิยามนี้จะแสดงเป็นจำนวนของเส้นแนวนอนและชิ้นส่วนเล็กๆ ของภาพ หรือพิกเซล ในแต่ละเส้นแนวนอนนั้นๆที่ถูกใช้สำหรับหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อเรากล่าวว่า รูปแบบคือ 640×480p ที่เราหมายถึง มี 640 ชิ้นส่วนเล็กๆของภาพในแต่ละ 480 เส้นแนวนอน รวมเป็น 307,200 พิกเซล และอัตราส่วนของ 640:480 หรือ 4:3 นั้นคือกว้าง 4 สูง 3 หรือ SDTV

หนึ่งในหลายๆรูปแบบของ HDTV จะมีความแตกต่างกันที่การส่งผ่านบน DTV คือ 1280×720 พิกเซล ในโหมด Progressive Scanning เขียนย่อๆว่า 720p หรือ 1920×1080 ในโหมดวิดีโอ interlaced เขียนย่อๆว่า 1080i แต่ละรูปแบบเหล่านี้ ใช้อัตราส่วน 16:9 ซึ่งในโทรทัศน์บางเครื่องมีความสามารถในการรับ HD ที่ 1920×1080 ที่อัตราเฟรมโปรเกรสซีฟสแกน 60 Hz ที่รู้จักกันคือ 1080p รูปแบบ HDTV ไม่สามารถส่งผ่านช่องทางโทรทัศน์อนาล็อกปัจจุบันได้ เนื่องจากปัญหาความจุของช่องสัญญาณ

เมื่อเปรียบเทียบกัน โทรทัศน์ความละเอียดมาตรฐาน (SDTV) อาจจะใช้หนึ่งในรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยการใช้รูปแบบที่หลากหลายของอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละประเทศที่ออกอากาศ สำหรับอัตราส่วน 4:3 รูปแบบ 640×480 จะถูกนำมาใช้ในประเทศที่ใช้ระบบ NTSC ในขณะที่ 720×576 ถูกนำมาใช้ในประเทศที่ใช้ระบบ PAL สำหรับ 16:9 รูปแบบ 720 × 480 ถูกนำมาใช้ในประเทศที่ใช้ระบบ NTSC ในขณะที่ 720×576 ถูกนำมาใช้ในประเทศที่ใช้ระบบ PAL อย่างไรก็ตาม ผู้ส่งกระจายเสียงอาจเลือกที่จะลดความละเอียดนี้ เพื่อประหยัดแบนด์วิดธ์ เช่น หลายช่อง DVB -T ในสหราชอาณาจักร ใช้ความละเอียดในแนวนอนที่ 544 หรือ 704 พิกเซลต่อเส้น

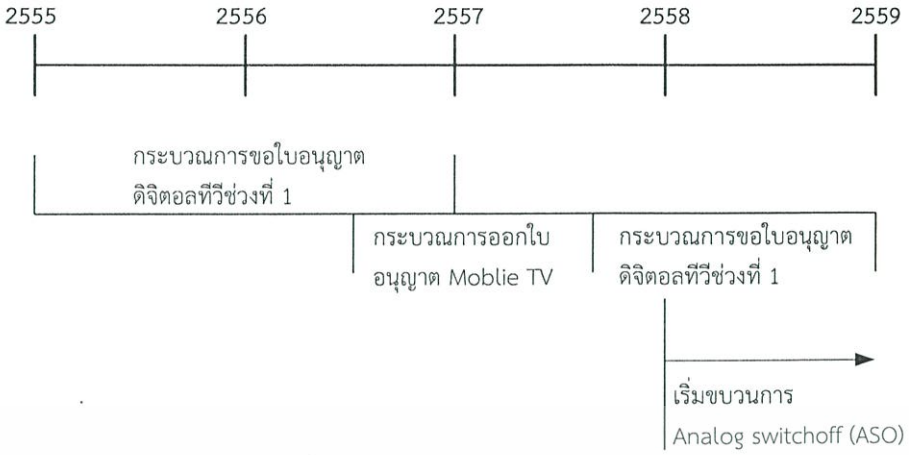
2.4 โทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย

ประเทศไทยได้เลือกใช้การรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล แบบ DVB-T2 ซึ่งพัฒนาจาก DVB-T ตามประเทศในแถบยุโรป โดยมีคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. เป็นผู้จัดทำมาตรฐานการรับส่งทางสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล และได้กำหนดให้มีมาตรฐาน กสทช. มส. 4002-2555 ซึ่งเป็นมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล

2.4.1 การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล

กสทช. ได้วางแผนระบบรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปเป็นระบบดิจิตอล ตามรูปที่ 2.2 โดยมีเป้าหมายให้จำนวนครัวเรือนในเมืองใหญ่สามารถรับสัญญาณดิจิตอล ได้ไม่น้อยกว่า 80% ภายในปี 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล (http://www.tvdigitalthailand.com)

- ก.พ. 55 - ธ.ค. 56 กระบวนการออกใบอนุญาตทีวีดิจิตอลช่วงที่ 1
  - ก.พ. 55 เริ่มต้นแผนปรับเปลี่ยนสู่ระบบดิจิตอล
  - ส.ค. 55 ออกใบอนุญาตทีวีดิจิตอล โครงสร้างพื้นฐานโครงข่าย
  - ธ.ค. 55 ออกใบอนุญาตทีวีดิจิตอล กิจการบริการสาธารณะ
  - ส.ค. 56 ออกใบอนุญาตทีวีดิจิตอล กิจการทางธุกิจ
  - ธ.ค. 56 ออกใบอนุญาตทีวีดิจิตอล กิจการบริการชุมชน
- มิ.ย. 56 - มิ.ย. 57 กระบวนการออกใบอนุญาตโมบายล์ทีวี
- มิ.ย. 57- ธ.ค. 58 กระบวนการออกใบอนุญาตทีวีดิจิตอลช่วงที่ 2
- ม.ค. 2558 เริ่มกระบวนการยุติการรับส่งสัญญาณทีวีระบบอนาล็อก (Analog Switch Off)

ทั้งนี้ กสทช. ยังกำหนดให้ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ประเภทที่ใช้คลื่นความถี่ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล ต้องขยายโครงข่ายให้สามารถครอบคลุมครัวเรือนทั้งประเทศ อย่างน้อยดังนี้

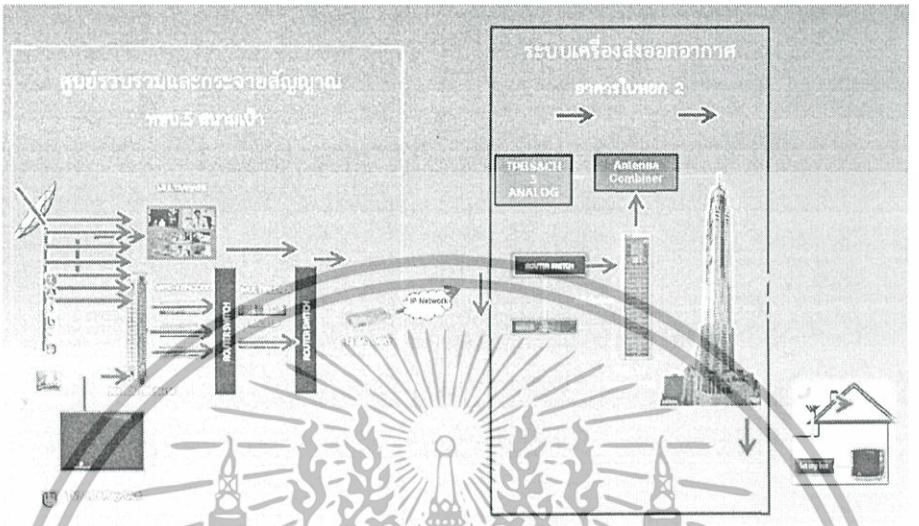
- ร้อยละ 50 ของจำนวนครัวเรือนภายใน 1 ปีนับจากวันที่ได้รับใบอนุญาต
- ร้อยละ 80 ของจำนวนครัวเรือนภายใน 2 ปีนับจากวันที่ได้รับใบอนุญาต
- ร้อยละ 90 ของจำนวนครัวเรือนภายใน 3 ปีนับจากวันที่ได้รับใบอนุญาต
- ร้อยละ 95 ของจำนวนครัวเรือนภายใน 4 ปีนับจากวันที่ได้รับใบอนุญาต

2.4.2 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. ได้ร่วมมือกับสถานีโทรทัศน์ 3 และสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5 เพื่อทดลองระบบการรับส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5 ตามรูปที่ 2.3 ได้เริ่มทดลองออกอากาศตั้งแต่วันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2556 โดยออกอากาศจากตึกใบหยกสอง และมีการตรวจวัดสัญญาณ พบมีรัศมีการออกอากาศของตึกใบหยกที่ 80 ถึง 90 กิโลเมตร ตามรูปที่ 2.4

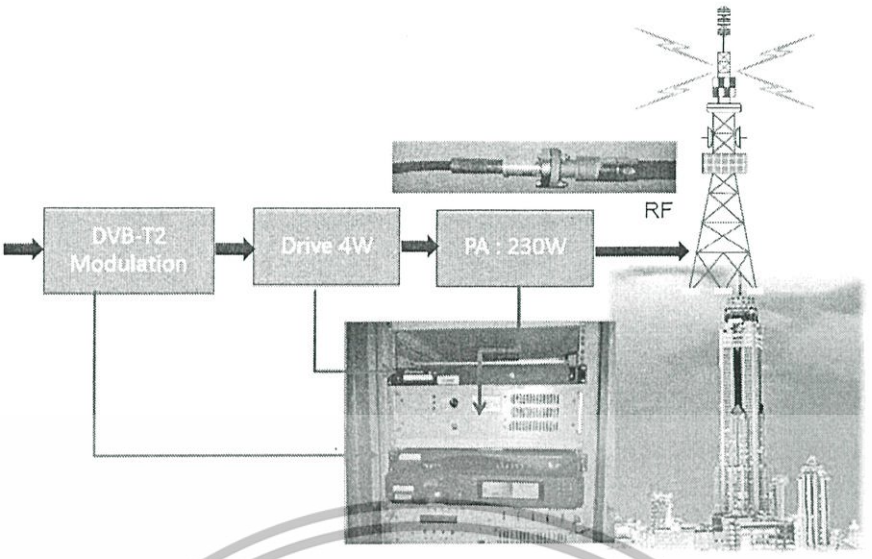


รูปที่ 2.3 การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5 (http://hq.prd.go.th/engineer/download/banner/TV_dijital/Ch5%20Trial%20DTTB%20[Compatibility%20Mode].pdf)

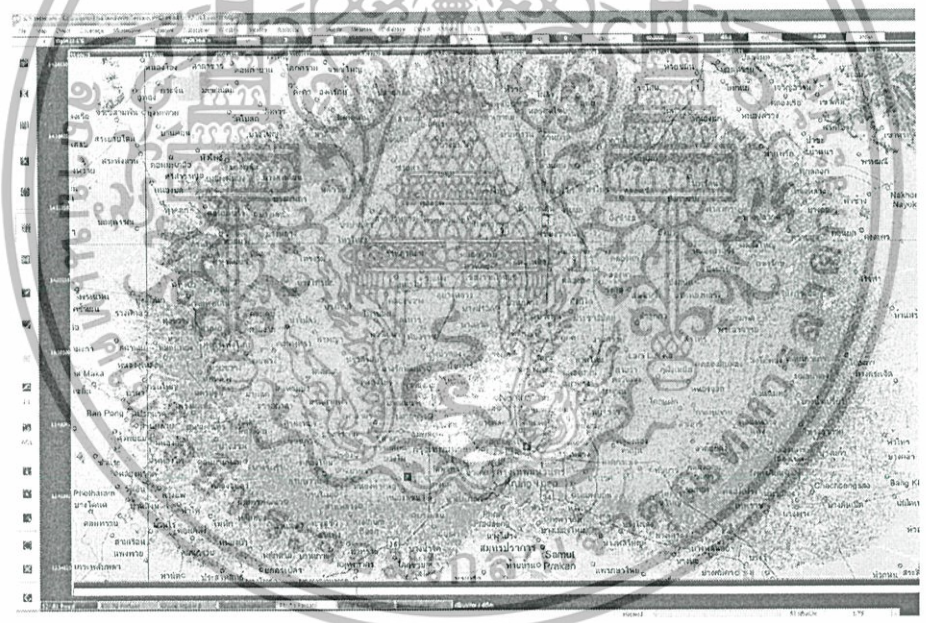
รูปที่ 2.4 ผลการทดสอบสัญญาณของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5 ที่ส่งจากตึกใบหยก (http://hq.prd.go.th/engineer/download/banner/TV_dijital/Ch5%20Trial%20DTTB%20[Compatibility%20Mode].pdf)

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของช่อง 9 อสมท. ตามรูปที่ 2.5 ได้เริ่มทดลองออกอากาศจากตึกใบหยกสอง และมีการตรวจวัดสัญญาณ พบว่ามีรัศมีการออกอากาศของตึกใบหยกที่ 80 ถึง 90 กิโลเมตร ตามรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



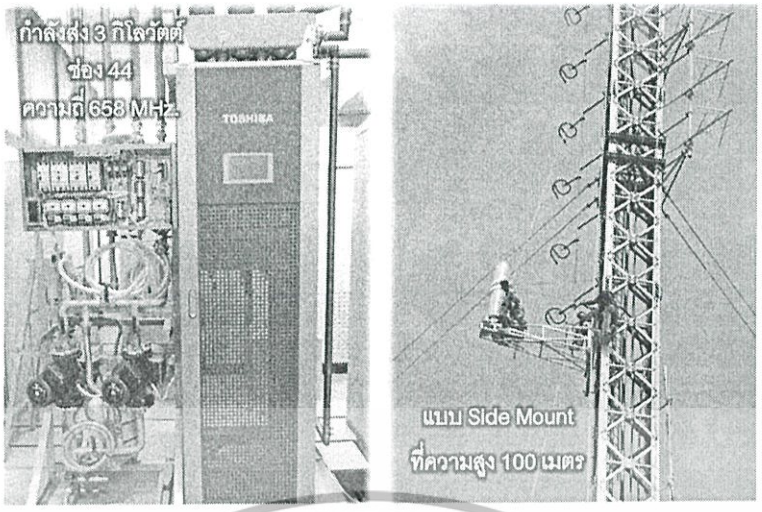
รูปที่ 2.5 การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของช่อง 9 อสมท. (http://hq.prd.go.th/engineer/download/banner/TV_dijital/MCOT%20-%20Trial%20Project%20[Compatibility%20Mode].pdf)



รูปที่ 2.6 ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของ อสมท. ที่ส่งจากตึกใบหยก (http://hq.prd.go.th/engineer/download/banner/TV_dijital/MCOT%20-%20Trial%20Project%20[Compatibility%20Mode].pdf)

สถานีโทรทัศน์ ช่อง 9 อสมท. จังหวัดขอนแก่น ทดลองออกอากาศทีวีดิจิตอลเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2556 สัญญาณช่อง 44 ความถี่ 658 MHz กำลังส่ง 3 กิโลวัตต์ โดยใช้แผงสายอากาศแบบรอบตัวติดข้างเสา ที่ระยะความสูง 100 เมตร หันเข้า อ.เมือง ขอนแก่น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งออกอากาศด้วยกำลังส่ง 3 กิโลวัตต์ จากกำลังส่งจริง 5 กิโลวัตต์ และได้ผลการวัดสัญญาณดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

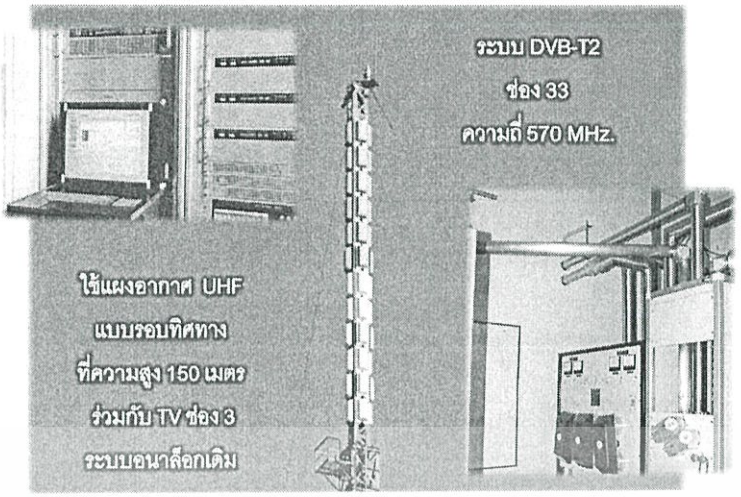


รูปที่ 2.7 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดขอนแก่น (http://dtv.mcot.net/data/up_show.php?id=1380764708&web=reportdtv)

รูปที่ 2.8 ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดขอนแก่น (http://dtv.mcot.net/data/up_show.php?id=1380764708&web=reportdtv)

สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดสุโขทัย ออกอากาศทีวีดิจิตอลเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2556 สัญญาณช่อง 33 ความถี่ 570 MHz กำลังส่ง 3 กิโลวัตต์ ออกอากาศโดยใช้สายอากาศร่วมกับทีวีอนาล็อกแบบเดิม โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นออกอากาศรอบทิศทาง ผ่าน Combiner ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เพื่อแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ดิจิตอล DVB-T2 ที่ระยะความสูง 150 เมตร ออกอากาศด้วยกำลังส่ง 3 กิโลวัตต์ จากกำลังส่งจริง 5 กิโลวัตต์ และได้ผลการวัดสัญญาณ ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดสุโขทัย (http://dtv.mcot.net/data/up_show.php?id=1379730890&web=reportdtv)

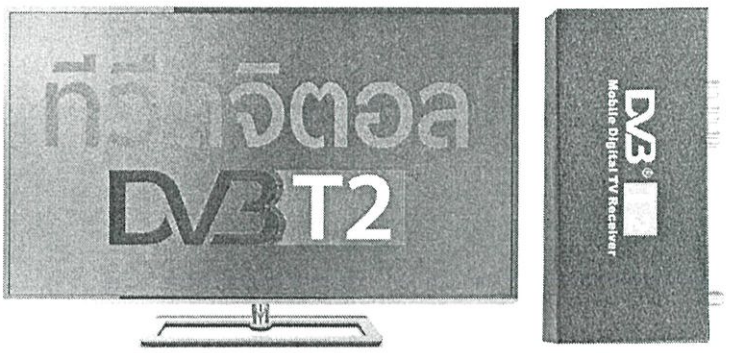
รูปที่ 2.10 ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดสุโขทัย (http://dtv.mcot.net/data/up_show.php?id=1379730890&web=reportdtv)

2.4.3 กล่องรับสัญญาณ (Set Top Box)

เครื่องรับโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่มีลักษณะจอแบน ส่วนใหญ่เป็นเครื่องรับโทรทัศน์ที่สามารถรับชมรายการที่ส่งมาเป็นระบบดิจิตอลได้ แต่ถ้าเป็นจอใหญ่ๆ ดูเหมือนตู้ ก็จะต้องมีอุปกรณ์เสริมคือกล่องแปลงสัญญาณ เพื่อทำการแปลงสัญญาณเป็นระบบดิจิตอล ซึ่งทำให้ทีวีแบบดั้งเดิมสามารถรับสัญญาณภาพและเสียงของระบบดิจิตอลได้ กล่องแปลงสัญญาณนี้ เรียกว่า Set Top Box

กสทช. ได้กำหนดสเปคมาตรฐานขั้นต่ำของเครื่องรับสัญญาณทีวีดิจิตอลภาคพื้นดิน ทั้งแบบมีจอภาพ (โทรทัศน์ที่รับสัญญาณระบบดิจิตอลได้) และแบบไม่มีจอภาพ (กล่องรับสัญญาณ Set Top Box) ตามรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นมาตรฐาน กสทช. มส. 4002-2555 โดยเครื่องรับดังกล่าวจะต้องรองรับ DVB-T2 ได้ทั้งแบบมาตรฐานความคมชัดปกติ (Standard Definition: SD) และแบบมาตรฐานความคมชัดสูง (High Definition: HD) ตามตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 จอภาพ (โทรทัศน์ที่รับสัญญาณระบบดิจิตอลได้) และแบบไม่มีจอภาพ (กล่องรับสัญญาณ Set Top Box) (http://ทีวีดิจิตอล.ไทย)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ และข้อกำหนดด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ

รายการ	ทีวี (มีจอภาพ)	กล่องรับสัญญาณ (ไม่มีจอภาพ)
ย่านความถี่วิทยุสำหรับภาครับสัญญาณ	470 MHz ถึง 862 MHz (UHF band IV/V) ความกว้างช่องสัญญาณ (bandwidth) 8 MHz	
การถอดรหัสสัญญาณภาพ	MPEG-4 AVC/H.264	
การแสดงผลภาพ	• แสดงผลความคมชัดสูงความละเอียด 1920x1080 แบบ interlace (1080i) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 25 ภาพต่อวินาที และอัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9 • แสดงผลความคมชัดสูงความละเอียด 1280x720 แบบ progressive (720p) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 50 ภาพต่อวินาที และอัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9 • แสดงผลความคมชัดปกติความละเอียด 720x576 แบบ interlace (576i) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 25 ภาพต่อวินาที และ อัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9 และ 4:3	
การถอดรหัสสัญญาณเสียง	ถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ 2 ช่องเสียง (stereo) แบบ MPEG-4 HE AACv2	
หัวต่อภาครับขาเข้า (RF Input Connector)	หัวต่อแบบตัวเมีย	หัวต่อแบบตัวเมีย และรองรับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ให้กับ สายอากาศแบบแอคทีฟ (active antenna)
หัวต่อภาครับขาออก (RF Loop-through)	-	หัวต่อแบบตัวผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ และข้อกำหนดด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ (ต่อ)

รายการ	ทีวี (มีจอภาพ)	กล่องรับสัญญาณ (ไม่มีจอภาพ)
หัวต่อสัญญาณภาพและเสียง	-	• หัวต่อพร้อมสายสัญญาณแบบ RCA สำหรับเสียงขาออกแบบสเตอริโอ (stereo audio) • หัวต่อพร้อมสายสัญญาณแบบ RCA สำหรับภาพขาออกแบบคอมโพสิต (composite) • หัวต่อพร้อมสายสัญญาณแบบ HDMI ซึ่งสามารถป้องกันการทำสำเนา (HDCP) สำหรับสัญญาณขาออกดิจิตอล
หน่วยประมวลผลและหน่วยความจำ	DDRAM ไม่น้อยกว่า 64 MB หน่วยความจำ Flash ไม่น้อยกว่า 8 MB CPU ความเร็วไม่น้อยกว่า 300 MHz	
ภาษา	รองรับทั้งไทยและอังกฤษ และมีระบบคำบรรยายใต้ภาพ (subtitle) แบบ Display Definition Segment (DDS)	
ผังรายการอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Program Guide: EPG)	สามารถเก็บและแสดงผลผังรายการอิเล็กทรอนิกส์ล่วงหน้าได้ไม่น้อยกว่า 7 วัน และแสดงผลข้อมูลอย่างน้อยดังนี้ 1. วัน เดือน ปีและเวลาปัจจุบัน 2. เวลาเริ่มรายการปัจจุบัน (now/present) และรายการถัดไป (next/follow) 3. เวลาจบรายการปัจจุบัน (now/present) และรายการถัดไป (next/follow) 4. หมายเลขช่อง (LCN) 5. ชื่อตอน และ/หรือ ชื่อเรื่องของรายการ 6. คำอธิบายโดยย่อ 7. ประเภทรายการ	
การปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้เป็นปัจจุบัน (System Software Update : SSU)	มีตามมาตรฐาน ETSI TS 102 006 แบบ simple profile	
รีโมทคอนโทรล (Remote Control)	มีปุ่มนูนสัมผัส (Tactile marking) บนปุ่มกดตัวเลข “5”	
การแสดงความสอดคล้องตามมาตรฐานทางเทคนิค	มีการแสดงว่าผ่านมาตรฐานที่กสทช.กำหนด	

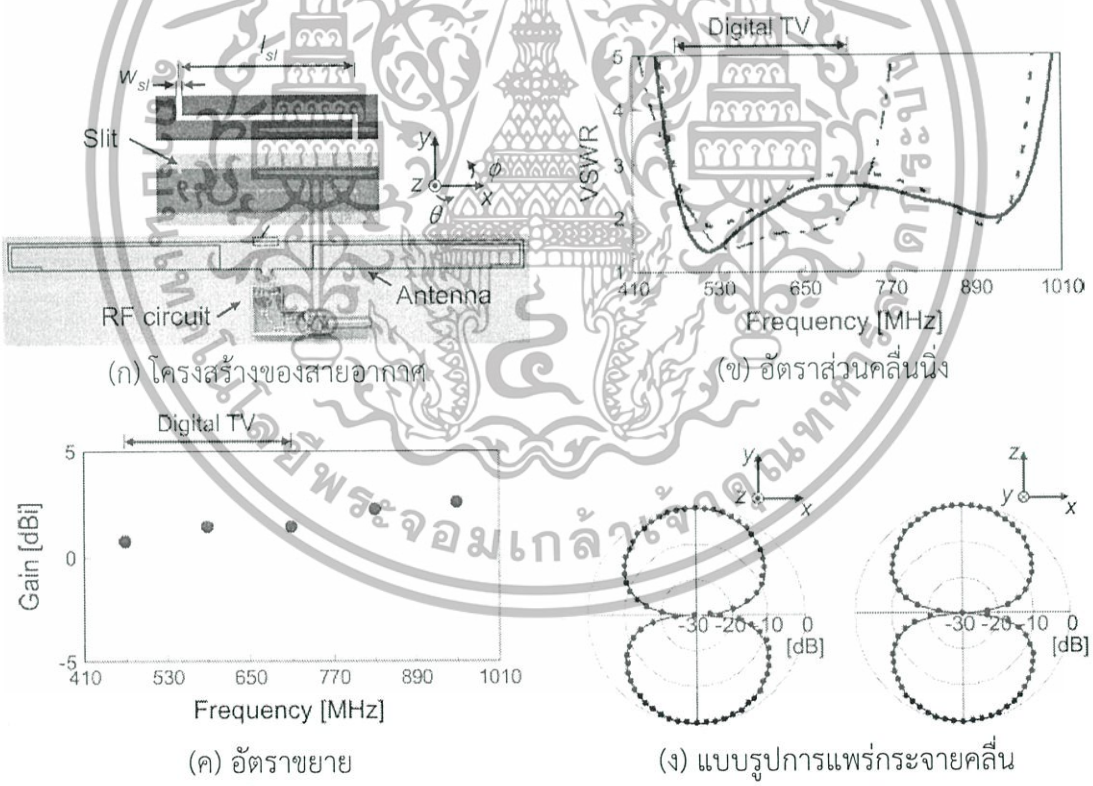
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อน

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อนเกี่ยวกับสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสายอากาศของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้จะทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับงานวิจัยของสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว และมีโพลาไรซ์ในแนวนอน โดยนำเอาโครงสร้างของสายอากาศดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ รวมถึงทำการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศเพื่อใช้อธิบายคุณลักษณะของสายอากาศ

2.5.1 งานวิจัยสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่มีมาก่อน

สายอากาศอ้างอิงที่ [1] ซึ่งเป็นผลงานของ H. Iizuka และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2008 โดยสายอากาศถูกแสดงได้ดังรูปที่ 2.12(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 15 mm x 280 mm x 0.125 mm และย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 950 MHz โดยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง แสดงดังรูปที่ 2.12(ข) มีอัตราขยายมากที่สุด 2.5 dBi โดยประมาณตามรูปที่ 2.12(ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบสองทิศทาง ที่มีโพลาไรซ์ในแนวนอน ซึ่งพิจารณาที่ความถี่ 470 MHz ถึง 950 MHz ดังรูปที่ 2.12(ง)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ (ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

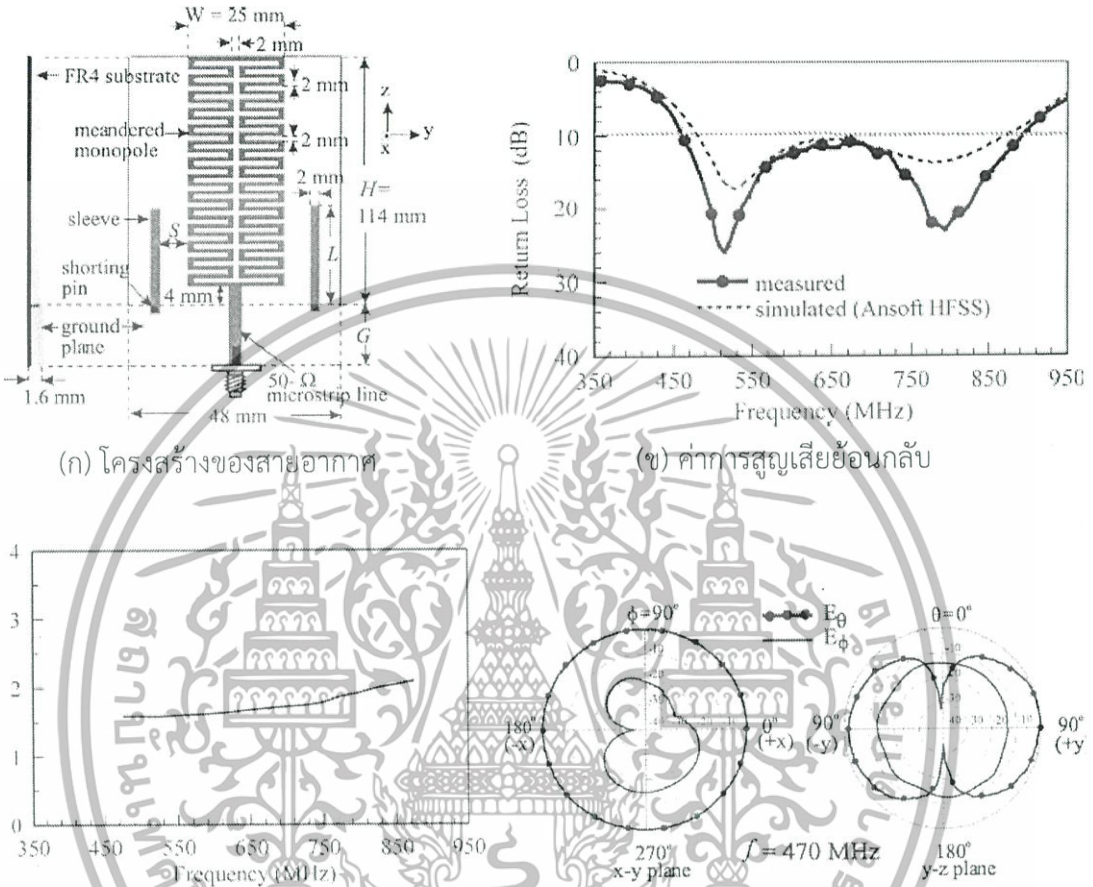
(ค) อัตราขยาย (ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.12 สายอากาศไดโพลพับโหลดด้วยตัวเก็บประจุและสตับสำหรับรับโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดิน [1]

สายอากาศอ้างอิงที่ [2] ซึ่งเป็นผลงานของ H.-D. Chen และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2008 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.13(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

114 mm x 25 mm x 3 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 459 MHz ถึง 891 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.13(ข) มีอัตราขยายมากที่สุด 2.1 dBi โดยประมาณ ตามรูปที่ 2.13(ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัว ที่มีโพลาไรซ์ในแนวตั้ง ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 459 MHz ถึง 891 MHz ดังรูปที่ 2.13(ง)



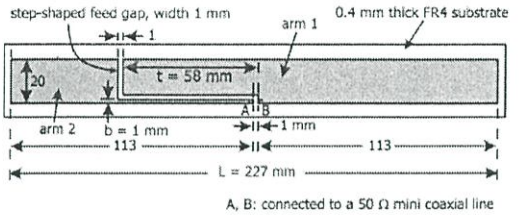
(ก) โครงสร้างของสายอากาศ (ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

(ค) อัตราขยาย (ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

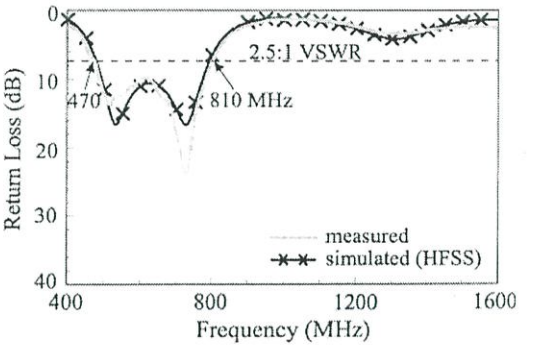
รูปที่ 2.13 สายอากาศโมโนโพลไมโครสติป พร้อมระนาบกราวนด์ สำหรับประยุกต์ใช้งานโทรทัศน์ดิจิตอล [2]

สายอากาศอ้างอิงที่ [3] ซึ่งเป็นผลงานของ Y.-W. Chi และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2007 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.14(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 20 mm x 227 mm x 0.4 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 806 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14(ข) มีอัตราขยายมากที่สุด 2.8 dBi โดยประมาณ ตามรูปที่ 2.14(ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ที่มีโพลาโรซ์ในแนวนอน ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz ถึง 806 MHz ดังรูปที่ 2.14(ง)

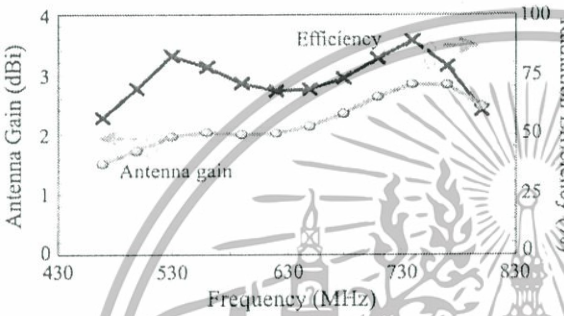
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



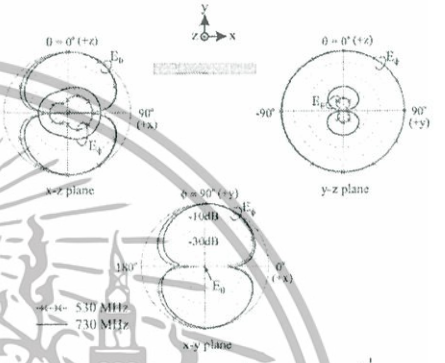
(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



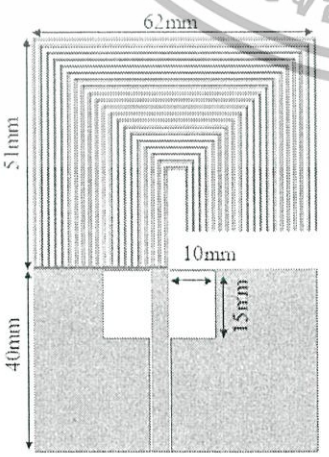
(ค) อัตราขยาย



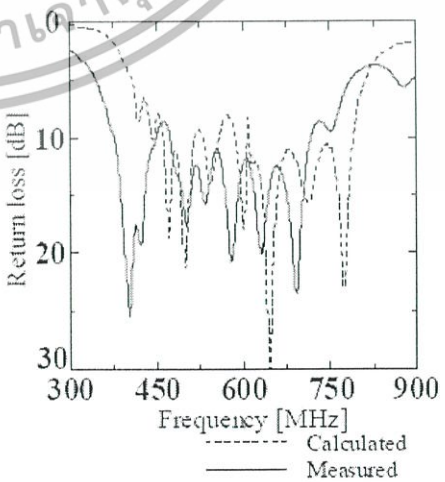
(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.14 สายอากาศไดโพลที่มีจุดป้อนสัญญาณเป็นช่องว่าง สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [3]

สายอากาศอ้างอิงที่ [4] ซึ่งเป็นผลงานของ S. Kashihara และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2009 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.15(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 91 mm x 62 mm x 1.6 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 440 MHz ถึง 770 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.15(ข) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 440 MHz ถึง 770 MHz ดังรูปที่ 2.15(ค)

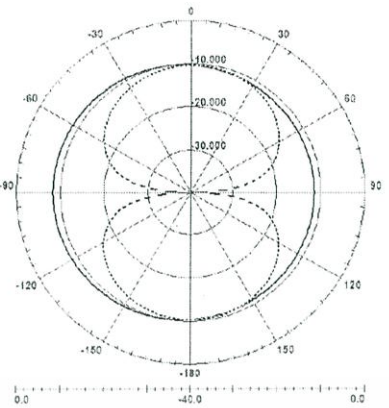


(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

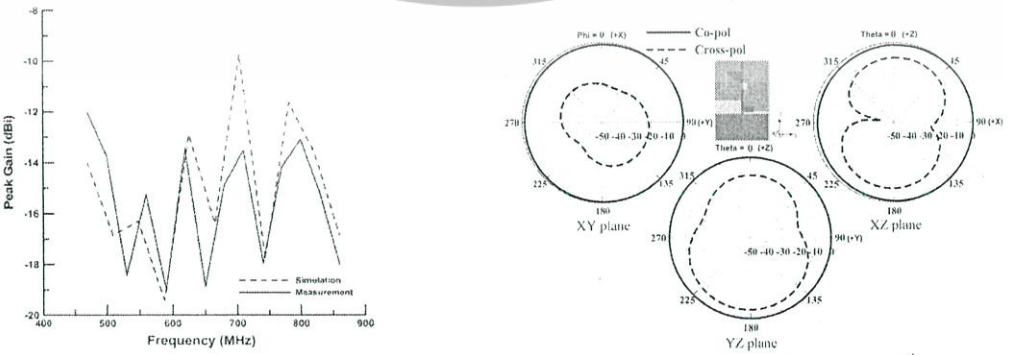


(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.15 สายอากาศโมโนโพลรูปอักษรตัวเจสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ [4]

สายอากาศอ้างอิงที่ [5] ซึ่งเป็นผลงานของ D. B. Lin และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.16(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 30 mm x 20 mm x 0.4 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.16(ข) มีอัตราขยายมากที่สุด -12 dBi โดยประมาณ แสดงดังรูปที่ 2.16(ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ในระนาบ XY XZ และ YZ ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz ถึง 810 MHz ดังรูปที่ 2.16(ง)

(ก) โครงสร้างของสายอากาศ (ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

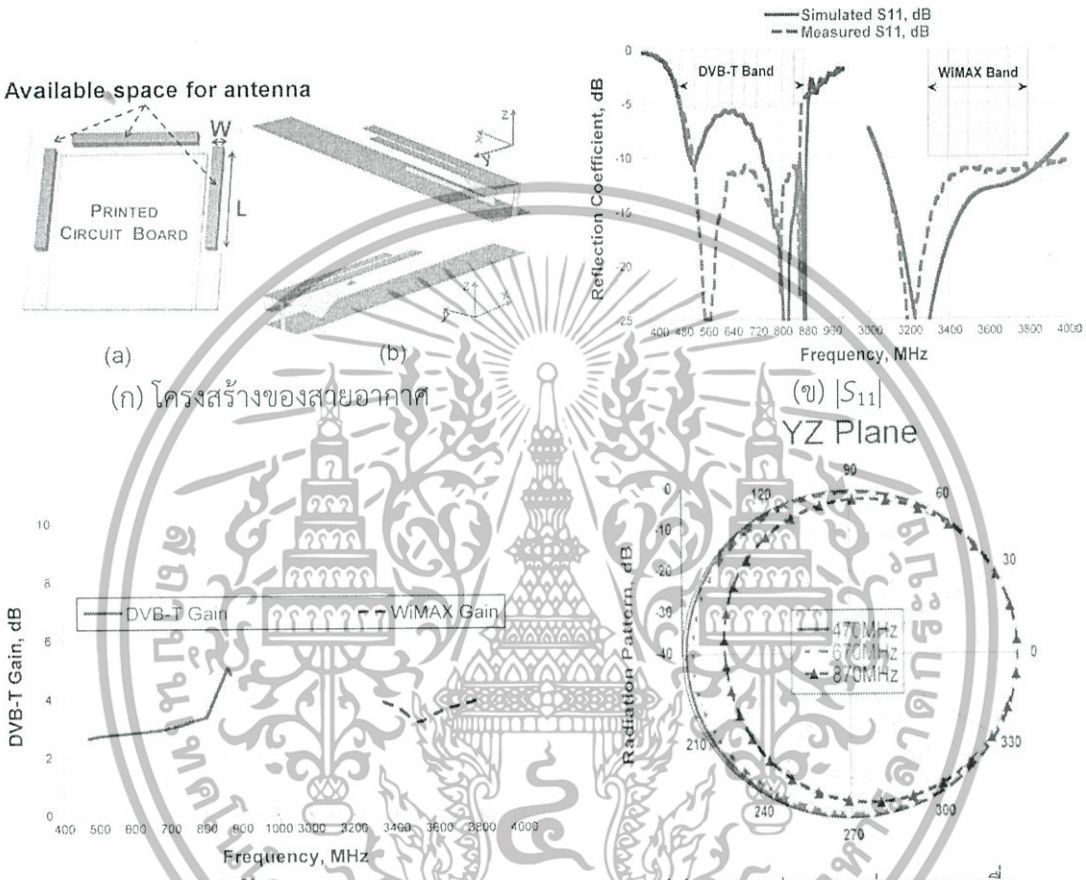


(ค) อัตราขยาย (ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.16 สายอากาศแบบเกลียว สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศอ้างอิงที่ [6] ซึ่งเป็นผลงานของ R. Caso และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2011 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.17(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 230 mm x 31 mm x 20 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.17(ข) มีอัตราขยายมากที่สุด 4.8 dBi โดยประมาณ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17(ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz ถึง 810 MHz ดังรูปที่ 2.17(ง)



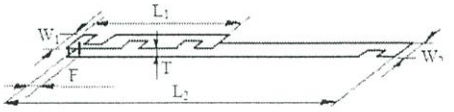
(ก) โครงสร้างของสายอากาศ (ข) $|S_{11}|$

(ค) อัตราขยาย (ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

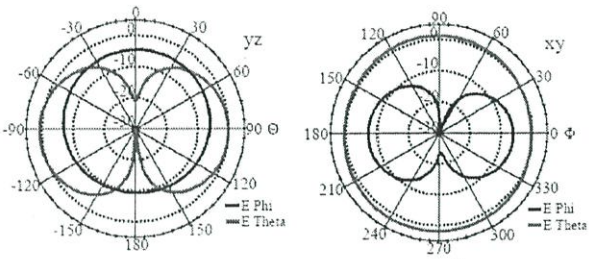
รูปที่ 2.17 สายอากาศ PIFA แบบสองย่านความถี่ สำหรับประยุกต์ในโทรทัศน์ระบบดิจิตอล และ WiMAX [6]

สายอากาศอ้างอิงที่ [7] ซึ่งเป็นผลงานของ M. Sanad และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2011 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.18(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 3.5 mm x 25 mm x 2 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 960 MHz ผลของการจำลองและผลทดสอบคุณลักษณะ $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.18(ง) มีอัตราขยายมากที่สุด 5 dBi โดยประมาณ ตามรูปที่ 2.18(ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz ถึง 960 MHz ดังรูปที่ 2.18(ข)

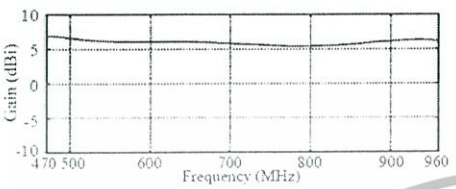
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



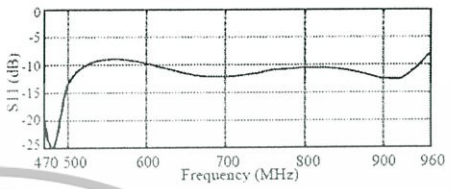
(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



(ค) อัตราขยาย

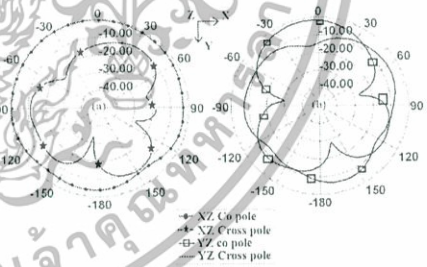


(ง) $|S_{11}|$

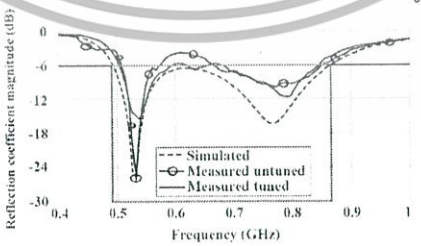
รูปที่ 2.18 สายอากาศ EBG สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินภายในอาคาร [7]

สายอากาศอ้างอิงที่ [8] ซึ่งเป็นผลงานของ A. N. Kulkarni และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2011 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.19(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 150 mm x 150 mm x 0.8 mm และย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 496 MHz ถึง 862 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.19(ข) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง มีโพลาไรซ์ในแนวตั้ง ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 496 MHz ถึง 862 MHz ดังรูปที่ 2.19(ค)

(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



(ข) $|S_{11}|$

รูปที่ 2.19 สายอากาศแบบห่วงสำหรับ LTE และเครื่องเล่นแบบพกพาสำหรับรับสัญญาณย่านโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลจากผลงานวิจัยที่มีมาก่อนดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของผลงานวิจัยที่มีมาก่อน

ผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	ขนาดของสายอากาศ (mm)	ช่วงความถี่ใช้งาน (MHz)	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	โพลาไรซ์	อัตราขยาย
สายอากาศไดโพลพับโหลดด้วยตัวเก็บประจุและสตับสำหรับรับโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดิน [1]	15x280x0.125	470 ถึง 950	สองทิศทาง	เชิงเส้นแนวนอน	0.7 ถึง2.5
สายอากาศโมโนโพลไมโครสติป พร้อมระนาบกราวนด์ สำหรับประยุกต์ใช้งานโทรทัศน์ดิจิตอล [2]	114x25x3	459 ถึง 891	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	1.5 ถึง 2.1
สายอากาศไดโพลที่มีจุดป้อนสัญญาณเป็นช่องว่างสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [3]	20x227x0.4	470 ถึง 806	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	1.5 ถึง 2.8
สายอากาศโมโนโพลรูปอักษรตัวเจสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ [4]	91x62x1.6	440 ถึง 770	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	-
สายอากาศแบบเกลียวสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [5]	30x20x0.4	470 ถึง 862	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวนอน	-19 ถึง -12
สายอากาศ PIFA แบบสองย่านความถี่ สำหรับประยุกต์ในโทรทัศน์ระบบดิจิตอล และ WiMAX [6]	230x31x20	470 ถึง 862	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	2.7 ถึง 4.8
สายอากาศ EBG สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินภายในอาคาร [7]	3.5x25x2	470 ถึง 960	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	1.5 ถึง 3.6

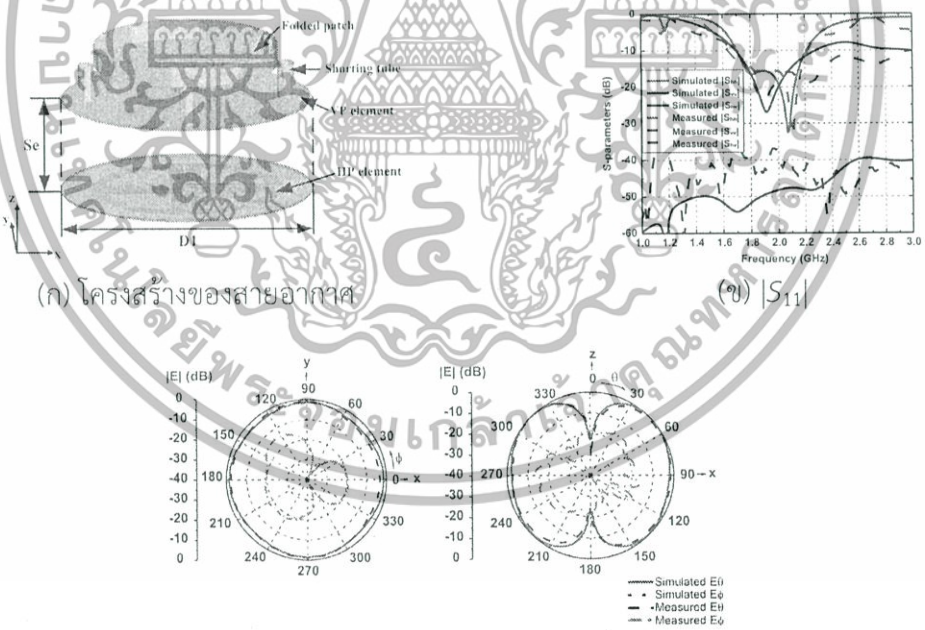
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของผลงานวิจัยที่มีมาก่อน (ต่อ)

ผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	ขนาดของสายอากาศ (mm)	ช่วงความถี่ใช้งาน (MHz)	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	โพลาไรซ์	อัตราขยาย
สายอากาศแบบห่วงสำหรับ LTE และเครื่องเล่นแบบพกพาสำหรับรับสัญญาณย่านโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [8]	150x150x0.8	496 ถึง 862	สองทิศทาง	เชิงเส้นแนวนอน	3 ถึง 5

2.5.2 งานวิจัยสายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวที่มีมาก่อน

สายอากาศอ้างอิงที่ [9] ซึ่งเป็นผลงานของ X. Quan และ R. Li ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2013 โดยสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.20(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพเป็นรูปทรงกรวย มีแผ่นระนาบกราวนด์ และป้อนจุดป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นทั้งสอง ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 1700 MHz ถึง 2200 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.20(ข) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ที่มีโพลาไรซ์ในแนวนอน ดังรูปที่ 2.20(ค)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ (ข) $|S_{11}|$

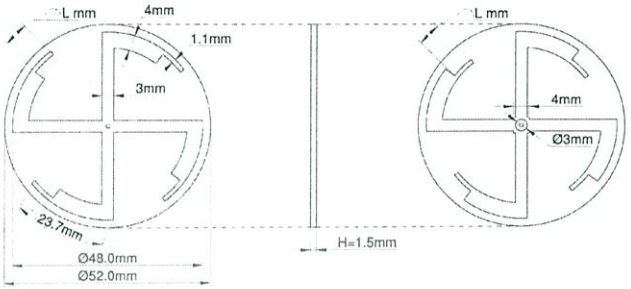
(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.20 สายอากาศบรอดแบนด์แบบรอบตัวที่มีโพลาไรซ์คู่ สำหรับสถานีส่ง [9]

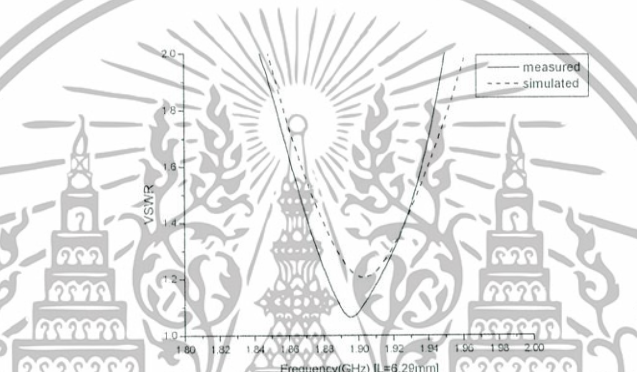
สายอากาศอ้างอิงที่ [10] ซึ่งเป็นผลงานของ C. Jiang และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดยสายอากาศถูกแสดงได้ดังรูปที่ 2.21(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพลักษณะเป็นแผ่นสองแผ่นที่เหมือนกัน ป้อนจุดป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นทั้งสอง และย่านความถี่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

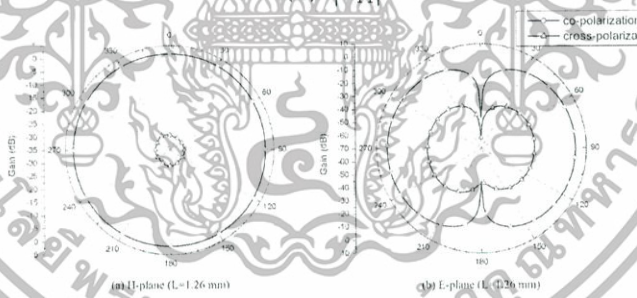
สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 1700 MHz ถึง 2400 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.21(ข) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์ในแนวนอน ดังรูปที่ 2.21(ค)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) $|S_{11}|$

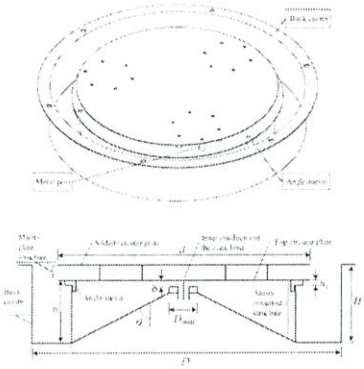


(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

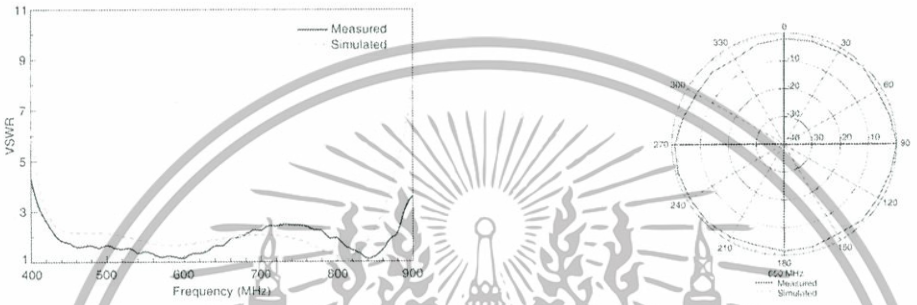
รูปที่ 2.21 สายอากาศขนาดเล็กแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์แนวนอน [10]

สายอากาศอ้างอิงที่ [11] ซึ่งเป็นผลงานของ A. Chen และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2011 โดยสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.22(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพเป็นรูปทรงกรวย มีแผ่นระนาบกราวนด์ และมีป้อนจุดป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นทั้งสอง ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 430 MHz ถึง 845 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.22(ข) และมีแบบรูปแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์ในแนวนอน แสดงได้ดังรูปที่ 2.22(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



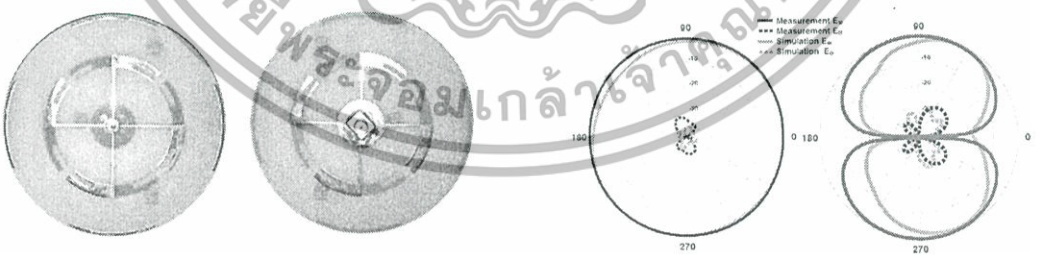
(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) $|S_{11}|$ (ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

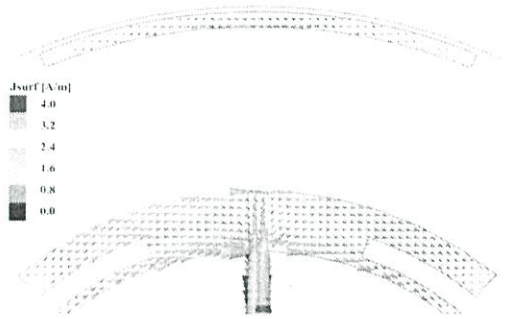
รูปที่ 2.22 สายอากาศขนาดเล็กย่านกว้างสำหรับย่านความถี่ยูเอชเอฟ [11]

สายอากาศอ้างอิงที่ [12] ซึ่งเป็นผลงานของ Y. Yu และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2013 โดยสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.23(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพเป็นรูปทรงกรวย มีแผ่นระนาบกราวด์ และมีจุดป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นทั้งสอง ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 1760 MHz ถึง 2680 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.23(ข) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์ในแนวนอนดังรูปที่ 2.23(ค)

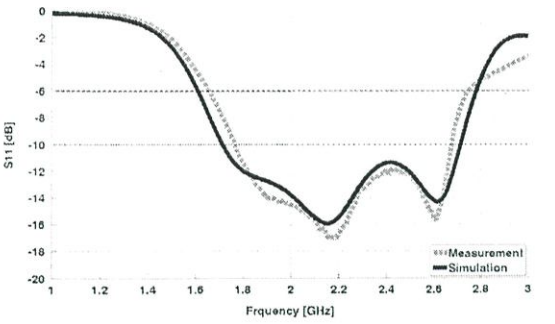


(ก) โครงสร้างของสายอากาศ (ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ผลการจำลองการกระจายของกระแสบนผิวสายอากาศ



(ง) $|S_{11}|$

รูปที่ 2.23 สายอากาศย่านกว้างแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์แนวนอนสำหรับประยุกต์ใช้งาน 4G LTE [12]

สรุปคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศจากงานวิจัยสายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวที่มีการโพลาไรซ์ในนอนแนวที่มีมาก่อน สามารถสรุปลักษณะโครงสร้างได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศของที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง และมีการโพลาไรซ์แนวนอนของผลงานวิจัยที่มีมาก่อน

ผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	โครงสร้างของสายอากาศ	ช่วงความถี่ใช้งาน (MHz)	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น
A Broadband Dual-Polarized Omnidirectional Antenna for Base Stations [9]	ทรงกรวยมีฐานเป็นวงกลม	1700 ถึง 2200	รอบตัว
A Novel Compact Horizontally Polarized Omni-directional Antenna [10]	วงกลมซ้อนทับกัน	1700 ถึง 2400	รอบตัว
A Novel Low-profile Wideband UHF Antenna [11]	ทรงกรวยกับแผ่นสี่เหลี่ยม	430 ถึง 845	รอบตัว
A Wideband Omnidirectional Horizontally Polarized Antenna for 4G LTE Applications [12]	วงกลมซ้อนทับกัน	1760 ถึง 2680	รอบตัว

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอทฤษฎีและหลักการของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยเริ่มจากประวัติความเป็นมารวมทั้งมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลไปบ้างแล้ว และได้รับความสนใจจากสื่อมวลชน ประชาชน รวมไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงผู้ประกอบการทางด้านโทรทัศน์ โดยส่วนมากแล้วการสร้างสายอากาศเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบโทรทัศน์ดิจิตอลนี้ มักจะมีช่วงความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz โดยขึ้นอยู่กับมาตรฐานการรับส่งของประเทศนั้นๆ ซึ่งในประเทศไทย ได้ตั้งข้อกำหนดการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดย กสทช. ที่มีการกำหนดมาตรฐานของเครื่องรับสัญญาณ หรือ Set Top Box ให้สามารถรับความถี่ได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz

จากการออกแบบสายอากาศที่ทำงานในย่านความถี่ของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล จะต้องทำการออกแบบสายอากาศให้สามารถรับสัญญาณได้รอบตัว และมีการโพลาไรซ์ในแนวนอน นี่จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบสายอากาศที่มีแบนด์วิธด์กว้าง ดังนั้นสายอากาศที่ได้นำเสนอในรายงานนี้ จึงได้มีการออกแบบรูปลักษณ์ของสายอากาศให้มีขนาดเบา เพื่อง่ายสำหรับการติดตั้งภายในอาคาร โดยสายอากาศจะออกแบบบนวัสดุแผ่นทองเหลืองที่มีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่าย สำหรับขั้นตอนเบื้องต้นของการออกแบบสายอากาศ รวมถึงการพัฒนารูปร่างของสายอากาศให้มีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้มีการกล่าวไว้ในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการจำลองสายอากาศ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ซึ่งใช้ทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 จากนั้นจะทำการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® [13] เพื่อศึกษาผลกระทบที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยจะมุ่งเน้นพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งจะประกอบไปด้วยค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยาย ซึ่งสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้น จะกำหนดให้มีคุณลักษณะของสายอากาศตามที่ต้องการ คือ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง มีโพลาไรซ์แนวนอน และมีความต้านทาน 75Ω การออกแบบสายอากาศจะนำโครงสร้างสายอากาศ [10] ตามรูปที่ 2.21 ของบทที่ 2 เป็นโครงสร้างเริ่มต้น โดยใช้แผ่นวงแหวนจำนวน 2 แผ่น วางซ้อนกัน จากนั้นทำการเพิ่มขนาดของแผ่นวงแหวนและพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศ แล้วทำการป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวน จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศ โดยผลของการศึกษาผลกระทบจะเป็นแนวทางในการออกแบบและการพัฒนาสายอากาศ ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในช่วงความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล คือ 470 MHz ถึง 862 MHz

3.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ

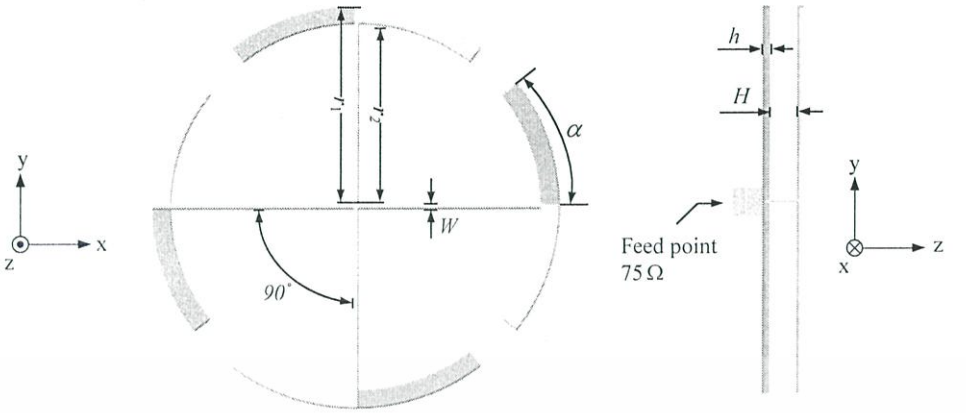
การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศจะใช้โครงสร้างของ [10] และทำการปรับขนาดความยาวของสายอากาศ โดยใช้ทฤษฎีของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น จะได้โครงสร้างดังรูปที่ 3.1 ในการคำนวณหาความยาวของสายอากาศ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศนั้น เป็นแผ่นวงแหวนที่ถูกสร้างบนแผ่นทองเหลือง โดยการออกแบบสายอากาศจะใช้โปรแกรมในการจำลอง และศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ โดยจะพิจารณาค่า $|S_{11}| \leq -10$ dB การศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® [13]

ความถี่ที่ใช้งานสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลมีย่านความถี่ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz ซึ่งจะออกแบบโดยใช้ค่าความถี่กลางของย่านความถี่ใช้งาน ซึ่งเท่ากับ 666 MHz เพื่อหาขนาดความยาวคลื่นตามสมการที่ 3.1

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{3.1}$$

จากสมการที่ 3.1 เมื่อ c คือความเร็วแสงในช่องว่างอิสระ ซึ่งเท่ากับ 3×10^8 m/s และ f คือความถี่กลางของย่านความถี่โทรทัศน์ดิจิตอล ซึ่งเท่ากับ 666 MHz ส่วน λ คือความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระ เมื่อทำการคำนวณแล้วจะได้ λ เท่ากับ 45 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



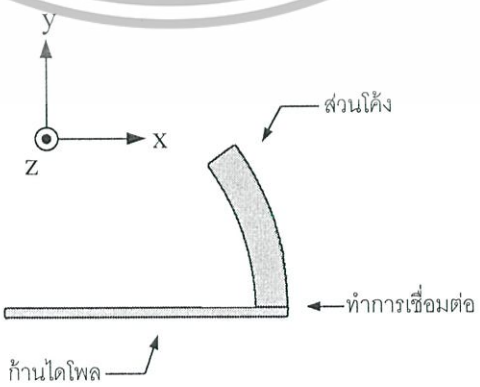
(ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง

รูปที่ 3.1 สายอากาศที่ทำการออกแบบเริ่มต้น แบบสี่ก้าน

การเริ่มต้นออกแบบได้ใช้โครงสร้างสายอากาศไดโพลมาเป็นเงื่อนไขในการกำหนดความยาวของก้านไดโพล โดยเริ่มจากสายอากาศไดโพลที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงยาว r_1 ดังรูปที่ 3.2(ก) ที่มีขนาดความยาวของก้านไดโพลเท่ากับ $\lambda/2$ จะได้ r_1 เท่ากับ 22.5 cm และส่วนโค้งที่มีรัศมี α ตามรูปที่ 3.2(ข)

(ก) ก้านไดโพล (ข) ส่วนโค้ง

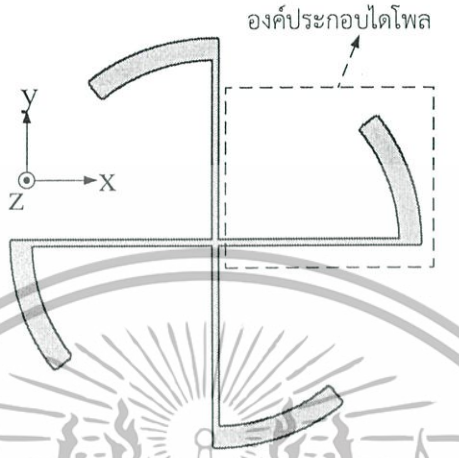
รูปที่ 3.2 ลักษณะโครงสร้างของก้านไดโพล และส่วนโค้ง



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการเชื่อมต่อก้านไดโพลเข้ากับส่วนโค้ง ตามรูปที่ 3.3 จะเรียกว่า “องค์ประกอบไดโพล” หลังจากนั้นทำการเชื่อมต่อองค์ประกอบไดโพลจำนวนสี่องค์ประกอบเข้าด้วยกัน และทำมุม 90° ซึ่งจะเรียกว่าองค์ประกอบไดโพลทั้งสี่ที่เชื่อมต่อกันว่า “แผ่นวงแหวน” ซึ่งแผ่นวงแหวนดังกล่าววางอยู่บนระนาบ xy หรือขนานกับพื้นโลก ตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผ่นวงแหวน

จากนั้นนำแผ่นวงแหวนจำนวนสองแผ่นมาวางซ้อนกันในแนวแกน z ดังรูปที่ 3.5(ก) และทำการป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวนทั้งสอง โดยมีไดอิเล็กตริกอากาศอยู่ระหว่างแผ่นวงแหวน ดังรูปที่ 3.5(ข)

(ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง

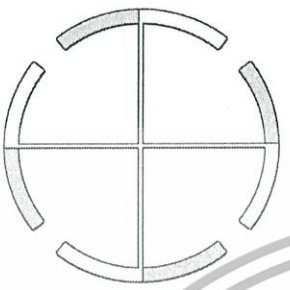
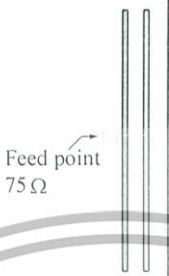
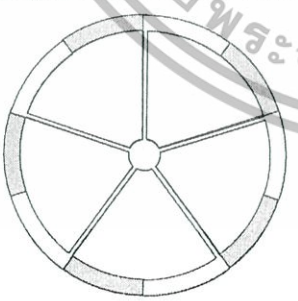
รูปที่ 3.5 สายอากาศเริ่มต้น

จากโครงสร้างสายอากาศในรูปที่ 3.5 นำมาใช้ในการออกแบบสายอากาศสำหรับประยุกต์ใช้งานเพื่อรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยทำการปรับพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

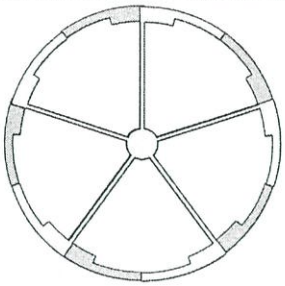
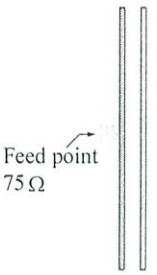
และปรับแต่งโครงสร้างเพิ่มเติม ซึ่งจะแสดงวิวัฒนาการของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิวัฒนาการของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน

ลำดับ	โครงสร้างสายอากาศ		อธิบายลักษณะโครงสร้าง
	ด้านบน	ด้านข้าง	
1			1) โครงสร้างมีลักษณะเป็นไดโพล 2) ไดโพลมีการเชื่อมต่อด้วยส่วนโค้ง เรียกว่า “องค์ประกอบไดโพล” 3) ทำการรวมองค์ประกอบไดโพลจำนวนสี่องค์ประกอบไดโพลเข้าด้วยกันเรียกว่า “แผ่นวงแหวน” 4) จากนั้นนำแผ่นวงแหวนจำนวนสองแผ่นวางซ้อนกันในแนวขนานกับพื้นโลก และป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวน 5) เรียกสายอากาศดังกล่าวว่า “สายอากาศแบบสี่ก้าน”
2			1) โครงสร้างคล้ายกับสายอากาศแบบสี่ก้าน แต่ได้เพิ่มลักษณะโครงสร้างของแผ่นวงแหวนด้วยองค์ประกอบไดโพล จำนวนห้าองค์ประกอบไดโพล 2) จากนั้นนำแผ่นวงแหวนจำนวนสองแผ่นวางซ้อนกันในแนวขนานกับพื้นโลก และป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวน (3) เรียกสายอากาศดังกล่าวว่า “สายอากาศแบบห้าก้าน”
3			1) จากโครงสร้างสายอากาศแบบห้าก้าน ได้เพิ่มลักษณะของแผ่นวงแหวน ให้มีพื้นที่จุดป้อนสัญญาณที่เป็นแผ่นวงกลมเล็ก 2) จากนั้นนำแผ่นวงแหวนจำนวนสองแผ่นวางซ้อนกันในแนวขนานกับพื้นโลก และป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวน 3) เรียกสายอากาศดังกล่าวว่า “สายอากาศแบบห้าก้านที่มีแผ่นป้อนสัญญาณ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 วิวัฒนาการของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน (ต่อ)

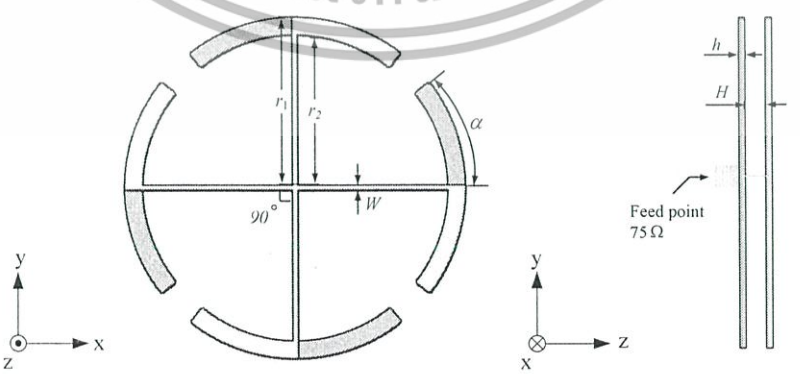
4			1) จากโครงสร้างสายอากาศแบบห้าก้าน ที่มีแผ่นป้อนสัญญาณ ได้เพิ่มส่วนประกอบขององค์ประกอบไดโพลที่บริเวณส่วนโค้ง ด้วยการใส่กิ่งโค้ง 2) จากนั้นนำแผ่นวงแหวนจำนวนสองแผ่นวางซ้อนกันในแนวขนานกับพื้นโลก และป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวน 3) เรียกสายอากาศดังกล่าวว่า “สายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง”

แต่ละโครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอในตารางที่ 3.1 นั้นมีผลต่อการตอบสนองความถี่สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยจะแสดงในหัวข้อที่ 3.2.1 3.2.2 3.2.3 และ 3.2.4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการศึกษาผลกระทบในการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ และโครงสร้างของสายอากาศ ซึ่งจะมีผลกับค่าความต้านทาน ค่ารีแอกแตนซ์ ค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และการกระจายของกระแสบนผิวสายอากาศ

3.2.1 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบสี่ก้าน

สายอากาศที่นำเสนอเป็นโครงสร้างเริ่มต้น เริ่มจากการจัดวางองค์ประกอบไดโพลจำนวนสี่องค์ประกอบ จากนั้นเชื่อมต่อองค์ประกอบไดโพลเข้าด้วยกัน รวมเป็นแผ่นวงแหวน หลังจากนั้นนำแผ่นวงแหวนมาวางซ้อนกันในแนวแกน z โดยมีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศอยู่ระหว่างกลาง และมีการป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวนซึ่งแสดงได้ดังรูป 3.6 โดยสายอากาศที่ทำการออกแบบจะตอบสนองย่านความถี่ยูเอชเอฟ ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว และมีโพลาไรซ์แนวนอน

โครงสร้างสายอากาศแบบสี่ก้าน ออกแบบโดยใช้วัสดุทองเหลืองชนิดแผ่น ที่มีขนาดความหนา (h) เท่ากับ 1 mm และป้อนสัญญาณเข้าที่ตรงกลางของแผ่นวงแหวนทั้งสอง จากนั้นทำการจำลองด้วยโปรแกรม [13]



(ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง

รูปที่ 3.6 สายอากาศที่ทำการออกแบบเริ่มต้น แบบสี่ก้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นดังนี้ ความยาวไดโพลหรือรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) เท่ากับ $\lambda/2$ จะได้เท่ากับ 22.5 cm รัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2) เท่ากับ $\lambda/2.25$ จะได้เท่ากับ 20 cm ความกว้างของก้านไดโพล (W) เท่ากับ 2 mm ความหนาของแผ่นทองเหลืองหรือความหนาของแผ่นวงแหวน (h) เท่ากับ 1 mm มุมของส่วนโค้ง (α) ทำมุม 40° จากนั้นทำการปรับพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H) และทำการปรับหามุมส่วนโค้ง (α) หลังจากนั้นทำการปรับความกว้างของก้านไดโพล (W) โดยจะพิจารณาจากค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ จากนั้นทำการพิจารณาผลตอบสนองทางความถี่ของค่า $|S_{11}| \leq -10$dB ที่ครอบคลุมย่านความถี่ยูเอชเอฟ ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz และทำการจำลองผลการกระจายของกระแสบนผิวสายอากาศ สุดท้ายทำการจำลองผลและพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

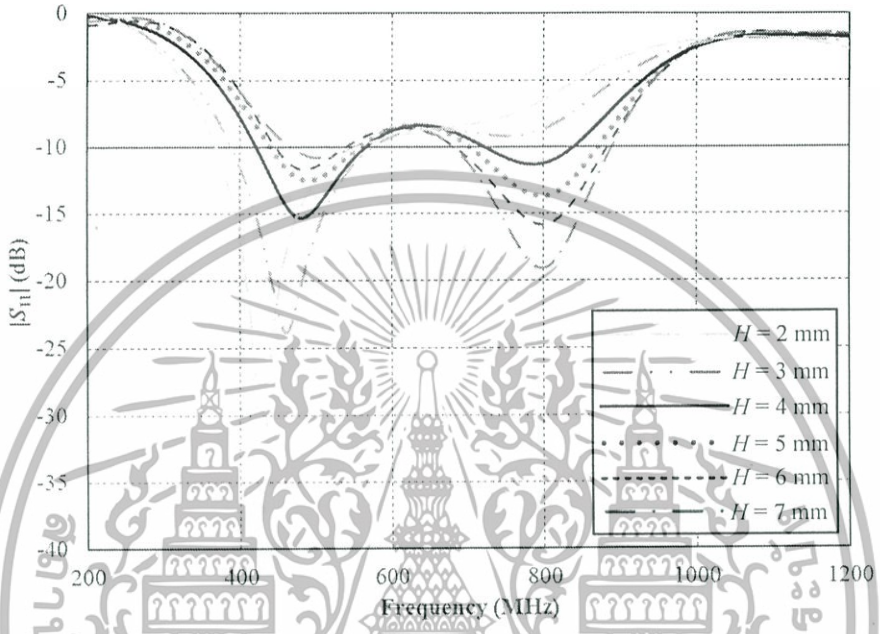
(ก) ค่าความต้านทาน

(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.7 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

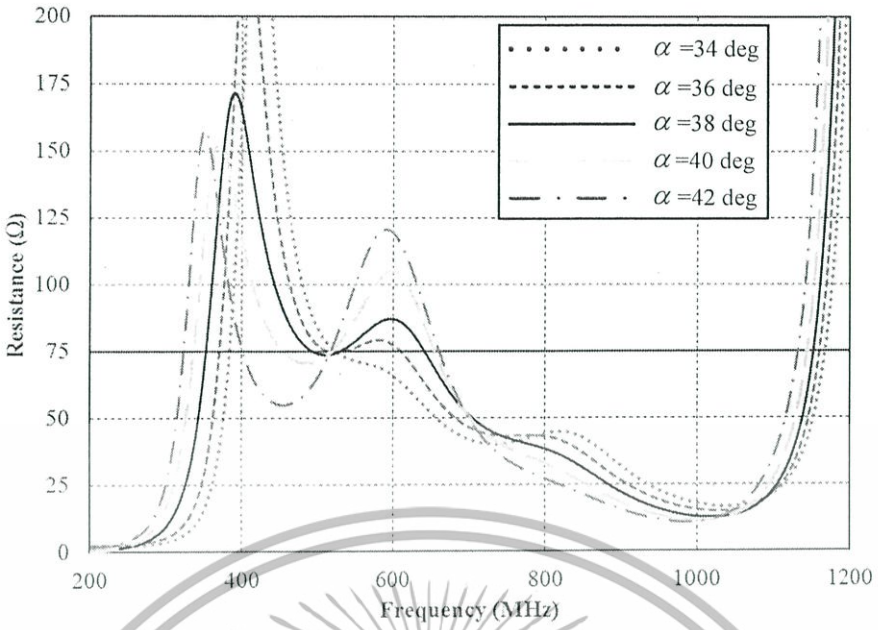
จากรูปที่ 3.7 พบว่าเมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนของสายอากาศ (H) และพิจารณาเปรียบเทียบร่วมกับค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ พบว่าสายอากาศมีค่าความต้านทานเข้าใกล้ 75Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ศูนย์ในช่วงความถี่ 446 MHz ถึง 510 MHz ส่งผลให้ในช่วงความถี่ดังกล่าวมีค่า $|S_{11}| \leq -10$ dB และช่วงความถี่ตั้งแต่ 501 MHz มีค่าความต้านทานไม่อยู่ในช่วง 75Ω และมีค่ามีค่ารีแอกแตนซ์ไม่เข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นจึงมีผลต่อค่า $|S_{11}|$ ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 510 MHz ขึ้นไป คือ ค่า $|S_{11}|$ มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.8



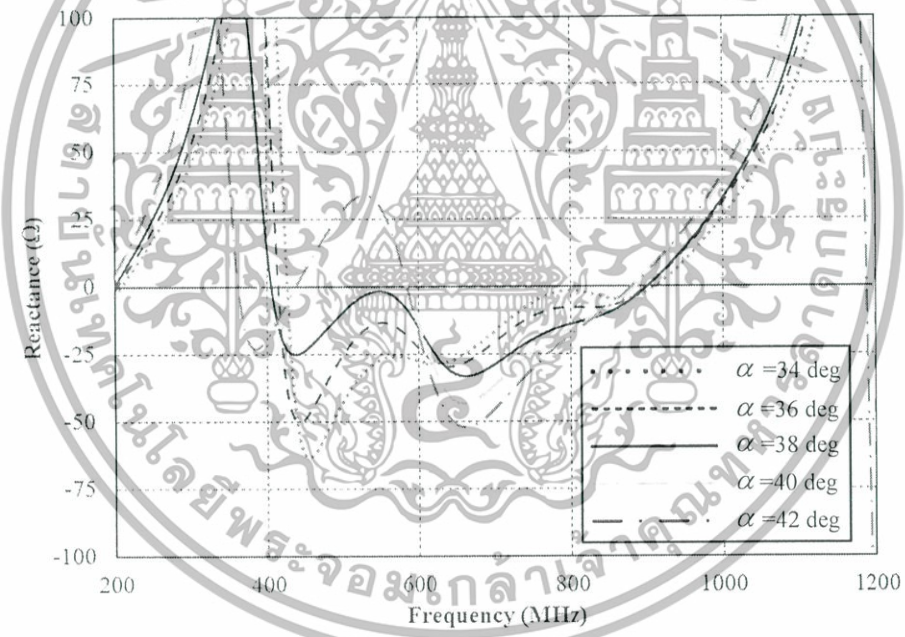
รูปที่ 3.8 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H)

จากรูปที่ 3.8 พบว่าเมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนของสายอากาศ (H) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความถี่ด้านต่ำมีค่า $|S_{11}|$ สูงขึ้น ส่วนความถี่ด้านสูงมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำลง จากผลการจำลอง จึงทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H) มีค่าเท่ากับ 4 mm เนื่องจากมีค่าความต้านทานเข้าใกล้ 75Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ศูนย์ในช่วงความถี่ 446 MHz ถึง 510 MHz แต่เนื่องจากผลตอบสนองความถี่ยังไม่ครอบคลุมย่านความถี่ยูเอชเอฟ 470 MHz ถึง 862 MHz จึงได้ทำการจำลองปรับมุมพารามิเตอร์ส่วนโค้ง (α) โดยพิจารณาผลค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ดังรูปที่ 3.9 และผลตอบสนองทางความถี่ของค่า $|S_{11}|$ ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ค่าความต้านทาน



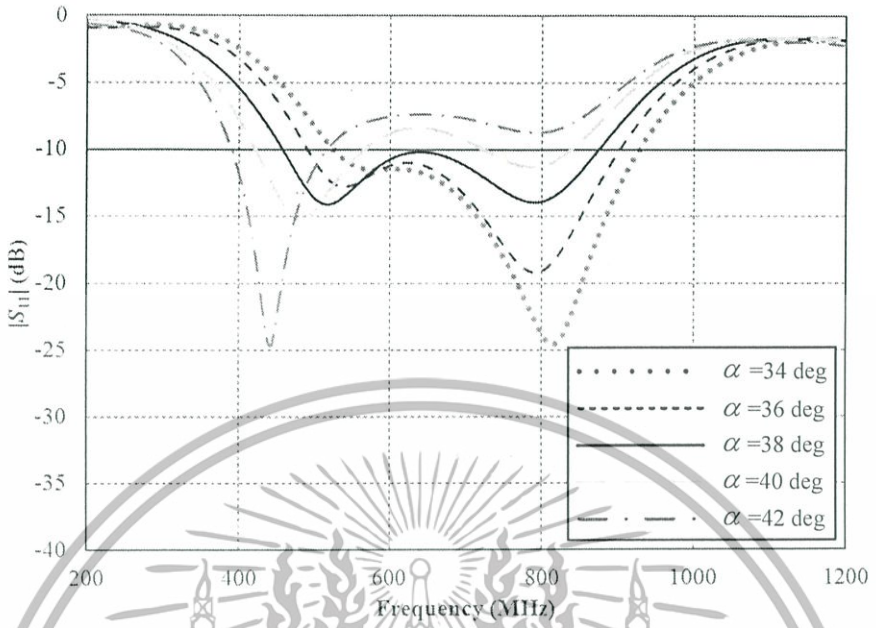
(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.9 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (*H*) เท่ากับ 4 mm และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α)

จากรูปที่ 3.9 พบว่าเมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (*H*) เท่ากับ 4 mm และทำการปรับมุมของพารามิเตอร์ส่วนโค้ง (α) จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ พบว่าในช่วงความถี่ตั้งแต่ 510 MHz มีค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงถึง 80Ω ซึ่งก่อนหน้านี้ค่าความต้านทานสูงถึง 120Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ศูนย์ ส่งผลให้ในช่วงความถี่ 457 MHz ถึง 611 MHz และช่วง 660 MHz ถึง 871 MHz มีค่า $|S_{11}| \leq -10$dB

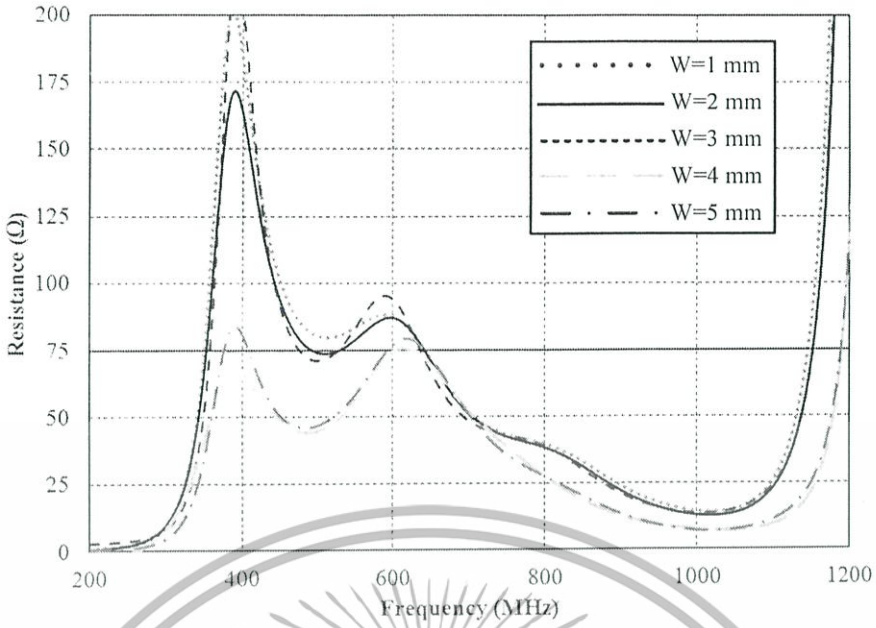


รูปที่ 3.10 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α)

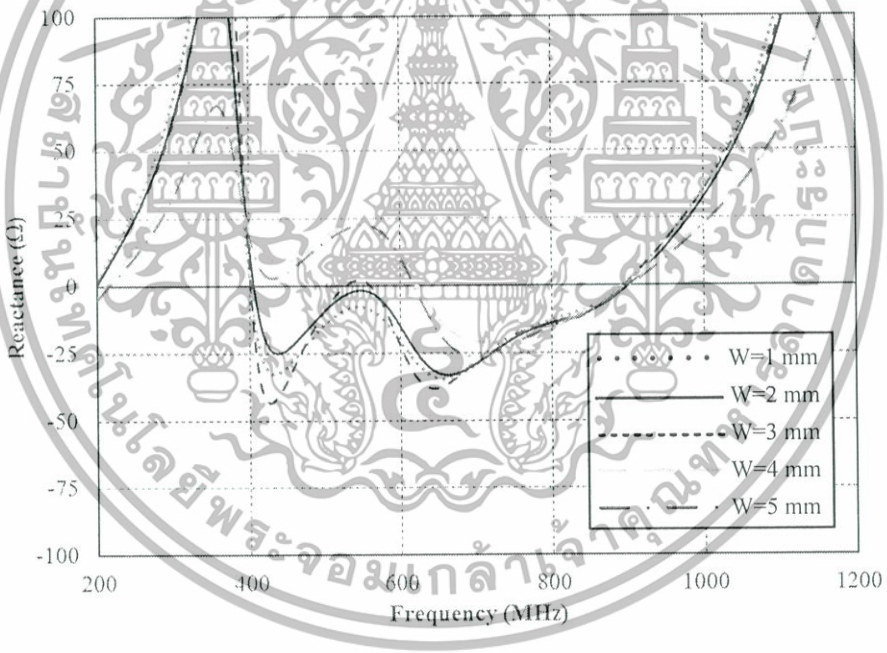
จากรูปที่ 3.10 พบว่าเมื่อปรับขนาดส่วนโค้ง (α) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขอบความถี่ด้านต่ำเลื่อนลงไปด้านความถี่ต่ำ โดยมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำลง ส่วนขอบความถี่ด้านสูงเลื่อนต่ำลงไปด้านความถี่ต่ำ โดยมีค่า $|S_{11}|$ เพิ่มสูงขึ้น จากผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ พบว่ามุมของส่วนโค้ง (α) เท่ากับ 38° ส่งผลให้ในช่วงความถี่ 457 MHz ถึง 611 MHz และช่วงความถี่ 660 MHz ถึง 871 MHz มีค่า $|S_{11}| \leq -10$dB

จากการปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวส่งผลให้ค่า $|S_{11}|$ ค่อนข้างสูง ในช่วงความถี่ 612 MHz ถึง 669 MHz จึงได้ทำการปรับพารามิเตอร์ความกว้างของก้านไดโพล (W) โดยพิจารณาร่วมกับค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ดังรูปที่ 3.11 ส่วนผลตอบสนองทางความถี่ของค่า $|S_{11}|$ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ค่าความต้านทาน

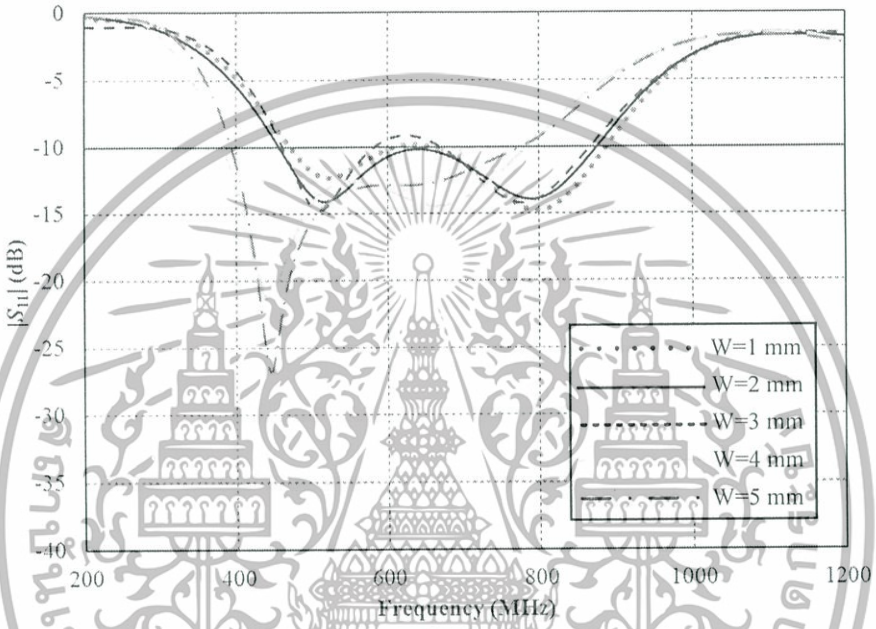


(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.11 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm ส่วนโค้ง (α) เท่ากับ 38° และทำการปรับความกว้างก้านไดโพล (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 พบว่า เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (*H*) เท่ากับ 4 mm มุมของส่วนโค้ง (α) เท่ากับ 38° และทำการปรับความกว้างก้านไดโพล (*W*) จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบร่วมกับค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศที่ได้ทำการปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวพบว่า เมื่อทำการปรับความกว้างก้านไดโพล (*W*) ส่งผลให้ค่าความต้านทานของช่วงความถี่ที่ใช้งานนั้นลดลง และให้ค่ารีแอกแตนซ์ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลจากการจำลองพบว่าพารามิเตอร์ความกว้างก้านไดโพล (*W*) ที่มีค่าเท่ากับ 2 mm เป็นค่าที่เหมาะสม ส่วนค่า $|S_{11}|$ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งพบว่าเมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความถี่เลื่อนลงไปทางด้านความถี่ต่ำ



รูปที่ 3.12 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อกำหนดระยะระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (*H*) เท่ากับ 4 mm มุมของส่วนโค้ง (α) เท่ากับ 38° และทำการปรับความกว้างก้านไดโพล (*W*)

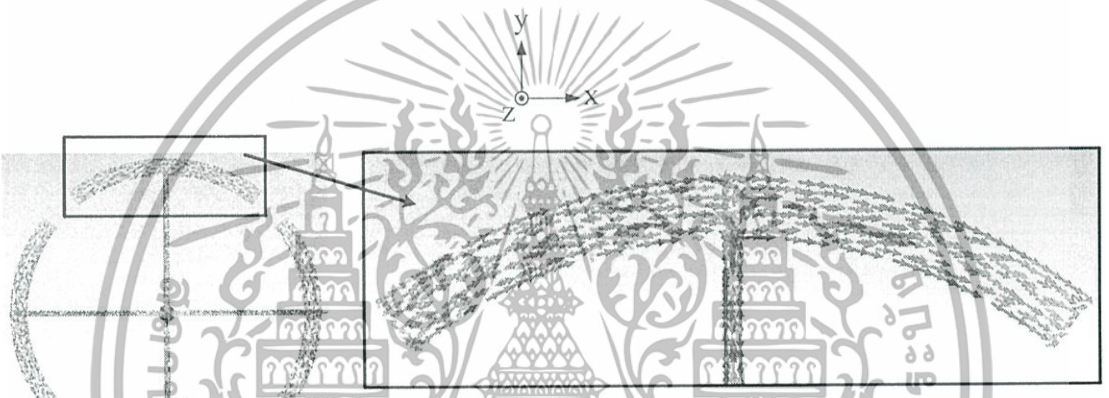
จากการปรับของความกว้างก้านไดโพล (*W*) พบว่าค่าความกว้างเท่ากับ 2 mm เป็นค่าที่เหมาะสมมากที่สุด และพบว่าครอบคลุมความถี่ใช้งาน คือ 470 MHz ถึง 862 MHz แต่พบว่าช่วงความถี่กลางของย่านความถี่ใช้งานมีค่า $|S_{11}|$ ที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงต้องทำการปรับโครงสร้างและปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์อื่นๆ ต่อไป ซึ่งได้ทำการกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2

ต่อไปจะเป็นการจำลองผลการกระจายของกระแสบนผิวสายอากาศ และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบสี่ก้าน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ จากการปรับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปโครงสร้างสายอากาศและแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

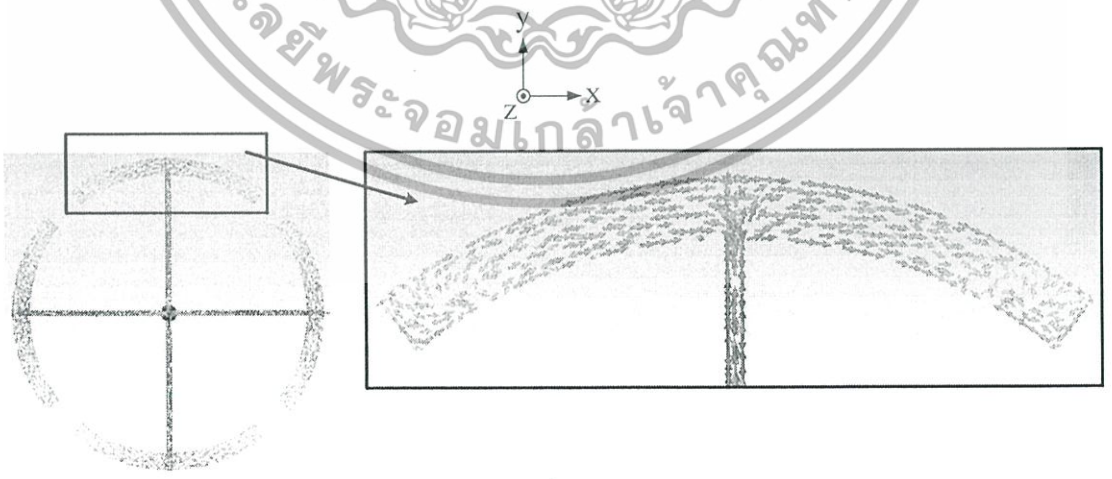
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศแบบสี่ก้าน

พารามิเตอร์	คำจำกัดความ	ขนาด
r_1	รัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ	225 mm
r_2	รัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ	200 mm
W	ความกว้างก้านไดโพล	2 mm
H	ระยะห่างระหว่างวงแหวน	4 mm
h	ความหนาแผ่นวงแหวน	1 mm
α	มุมส่วนโค้ง	38 deg

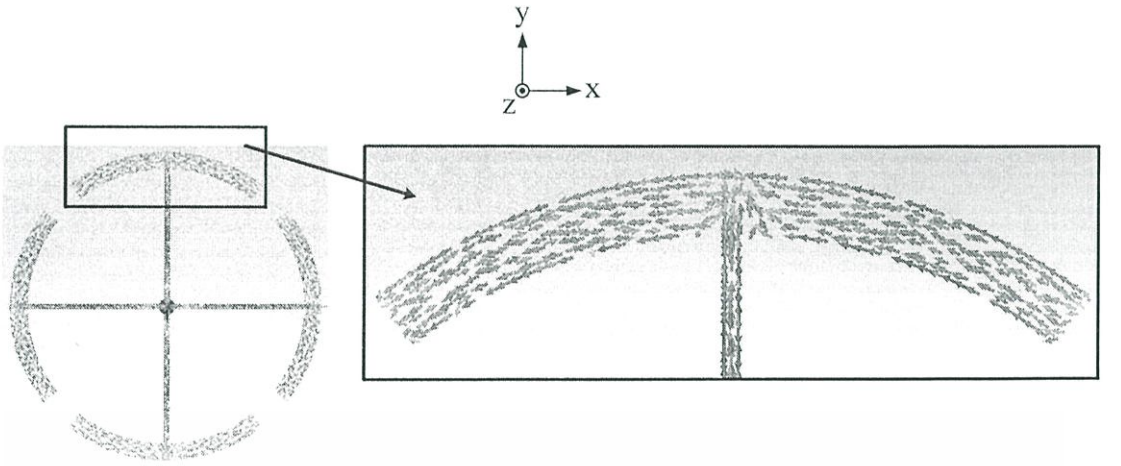


(ก) ความถี่ 470 MHz



(ข) ความถี่ 666 MHz

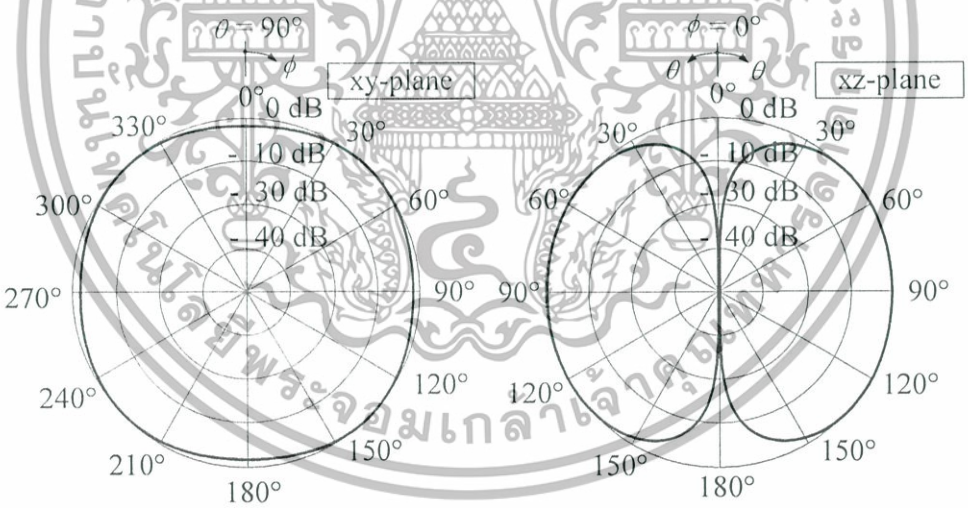
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ความถี่ 862 MHz

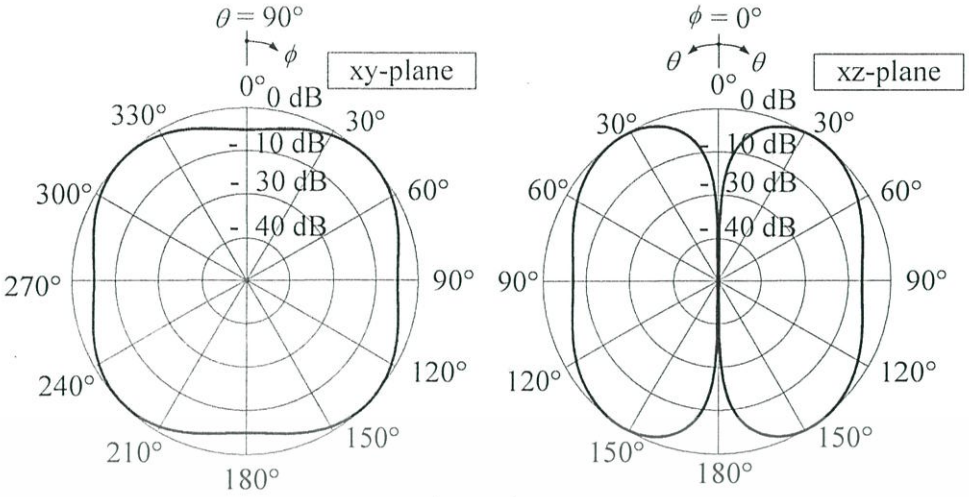
รูปที่ 3.13 ผลการจำลองการกระจายของกระแสบนผิวสายอากาศของสายอากาศเริ่มต้นแบบสี่ก้าน

จากรูปที่ 3.13 เป็นผลการจำลองการกระจายของกระแสของสายอากาศแบบสี่ก้าน พบว่ามีการกระจายตัวของกระแสที่ผิวของสายอากาศหนาแน่นที่บริเวณตลอดก้านไดโพล และกระจายตัวของกระแสมีความหนาแน่นน้อยในบริเวณผิวของส่วนโค้งที่เชื่อมต่อกับไดโพล การกระจายกระแสมีทิศทางการไหลที่ผิวในแนวแกน –x ถึง +x และแนวแกน –y ถึง +y หรือในแนวขนานกับพื้นโลก อันเนื่องมาจากโครงสร้างของสายอากาศดังกล่าวมีรากฐานมาจากสายอากาศไดโพลแบบเส้นลวด

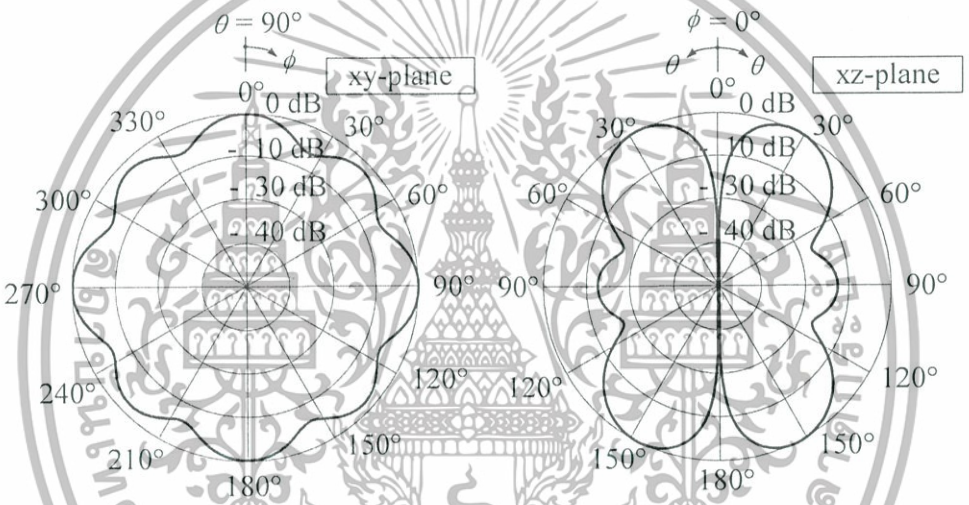


(ก) ความถี่ 470 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ที่ความถี่ 666 MHz



(ค) ความถี่ 862 MHz

รูปที่ 3.14 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบสี่ก้าน

จากรูปที่ 3.14 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบสี่ก้าน ซึ่งผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xy ของสายอากาศ ที่ความถี่เริ่มต้น คือ 470 MHz จะให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง มีค่าการกระเพื่อมสูงสุดอยู่ที่ 1.69 dB ส่วนที่ความถี่กลาง 666 MHz จะให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไม่เป็นไม่แบบรอบทิศทาง มีค่าการกระเพื่อมสูงสุดอยู่ที่ 4.95 dB และที่ความถี่สูง 862 MHz จะให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไม่เป็นวงกลม มีค่าการกระเพื่อมสูงสุดอยู่ที่ 5.96 dB จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 666 และ 862 MHz นั้น มีค่าการกระเพื่อมสูงเกินกว่า 3 dB ทำให้ไม่มีลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง โดยจะสรุปไว้ในตารางที่ 3.2 ส่วนในระนาบ xz ของสายอากาศแบบสี่ก้าน มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของความถี่เริ่มต้น 470 MHz เท่ากับ 132.4 deg ที่ความถี่กลาง 666 MHz เท่ากับ 44 deg และที่ความถี่สูงสุดที่ 862 MHz เท่ากับ 30.3 deg ซึ่งจะสรุปไว้ในตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่าการกระเพื่อมสูงสุดและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

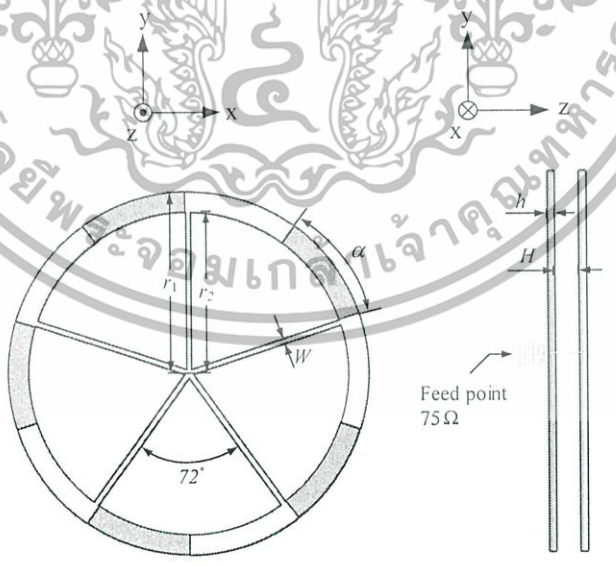
ความถี่	การกระเพื่อมสูงสุด (dB) ในระนาบ xy (Ripple)	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (deg) ในระนาบ xz (HPBW)
470 MHz	1.69	132.4
666 MHz	4.95	44.0
862 MHz	5.96	30.3

สายอากาศแบบสี่ก้านนั้นครอบคลุมในย่านความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz แต่ค่า $|S_{11}|$ มีค่าที่ค่อนข้างสูง และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่เริ่มต้นเป็นแบบรอบทิศทาง ในย่านความถี่กลางและความถี่สูงนั้นยังไม่รอบทิศทาง จึงได้มีการพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศ และหาทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งได้ทำการกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2 ต่อไป

3.2.2 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้าน

สายอากาศที่นำเสนอเริ่มต้น เป็นแผ่นวงแหวนที่มีองค์ประกอบไดโพลจำนวนสี่องค์ประกอบ และในหัวข้อนี้ได้ทำการพัฒนาแผ่นวงแหวนของสายอากาศที่มีองค์ประกอบไดโพลจำนวนห้าองค์ประกอบ จากนั้นนำแผ่นวงแหวนมาซ้อนทับกันในแนวแกน z และทำการป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวนซึ่งวางซ้อนในระนาบ xy โดยมีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป 3.15

โครงสร้างสายอากาศจะใช้แผ่นวงแหวนออกแบบโดยใช้วัสดุทองเหลืองชนิดแผ่น ขนาดความหนา h=1 mm โดยป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นทองเหลืองทั้งสองแผ่น และป้อนสัญญาณเข้าที่ตรงกลางของแผ่นวงแหวนของสายอากาศด้วยสายนำสัญญาณ 75Ω และใช้พารามิเตอร์ต่างๆ เหมือนกับสายอากาศเริ่มต้นแบบสี่ก้าน และทำการจำลองผลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ โดยใช้โปรแกรม [13] ซึ่งผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 และ 3.17



(ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง

รูปที่ 3.15 สายอากาศที่ออกแบบห้าก้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

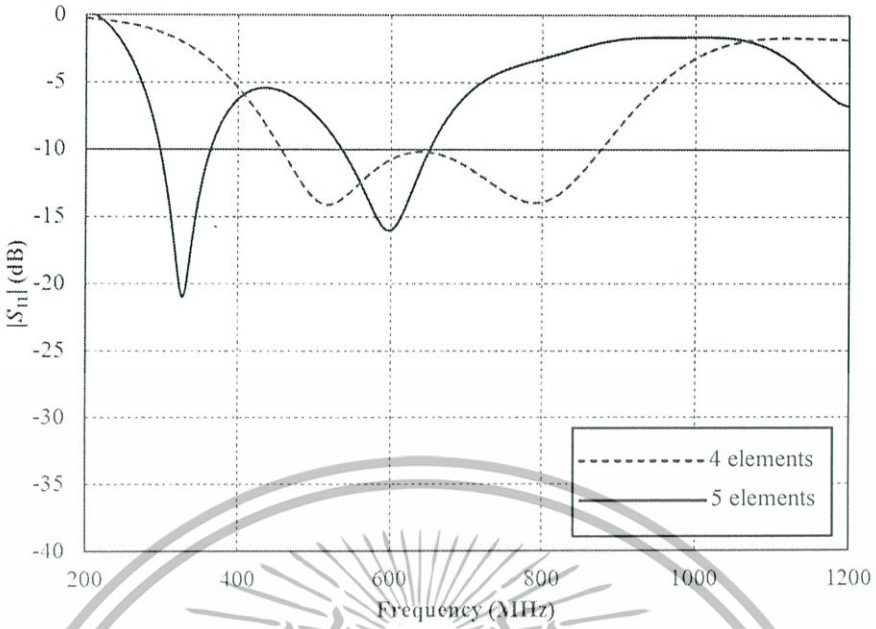
จากรูปที่ 3.15 พบว่าเมื่อใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศเริ่มต้นดังตารางที่ 3.1 และพิจารณาเปรียบเทียบร่วมกับค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อมีการปรับโครงสร้างของแผ่นวงแหวนให้เป็นแบบห้าก้าน พบว่าในช่วงความถี่ 400 MHz มีค่าความต้านทานต่ำลงถึง 25Ω จากเดิมนั้น 170Ω และค่าความต้านทานในช่วงความถี่ 600 MHz มีค่าสูงขึ้นถึง 100Ω จากเดิมนั้น 80Ω และค่ารีแอกแตนซ์ไม่เข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.17 ดังนั้นผลของค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบห้าก้านของโครงสร้างเริ่มต้นไม่ครอบคลุมย่านความถี่โทรทัศน์ดิจิตอล และมีค่า $|S_{11}|$ ที่สูงกว่าสายอากาศแบบสี่ก้าน

(ก) ค่าความต้านทาน

(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.16 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้าน โดยใช้พารามิเตอร์เหมือนกับสายอากาศเริ่มต้นที่มีสี่ก้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



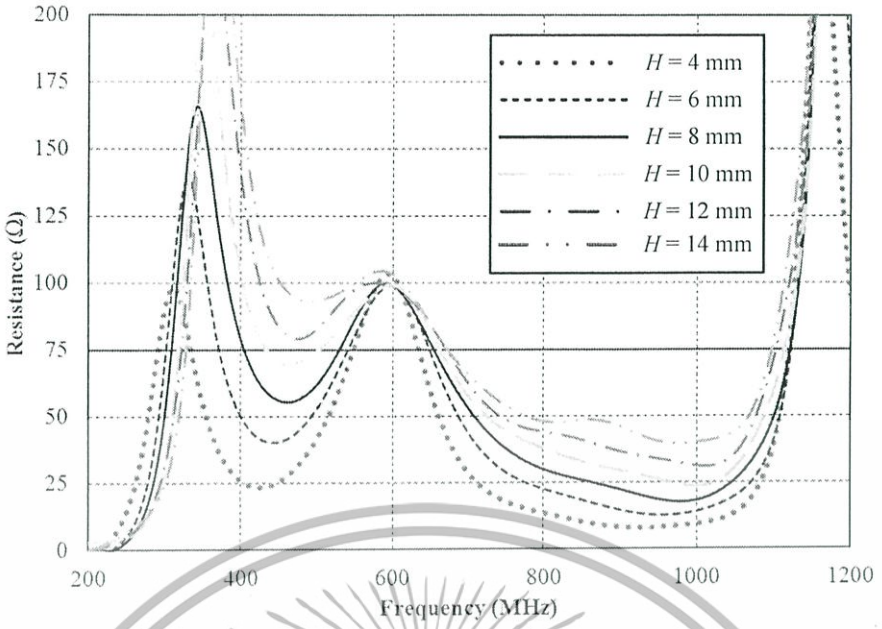
รูปที่ 3.17 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบสี่ก้านและแบบห้าก้าน โดยใช้พารามิเตอร์เหมือนกับสายอากาศแบบสี่ก้าน

จากรูปที่ 3.17 พบว่าเมื่อองค์ประกอบไดโพลเป็นแบบห้าก้าน จะส่งผลให้ขอบความถี่เลื่อนลงไปทางด้านความถี่ต่ำ และช่วงความถี่กลาง ค่า $|S_{11}|$ สูงกว่า -10dB เนื่องจากมีค่าความต้านทานสูงกว่า 75Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์มากกว่าศูนย์มาก

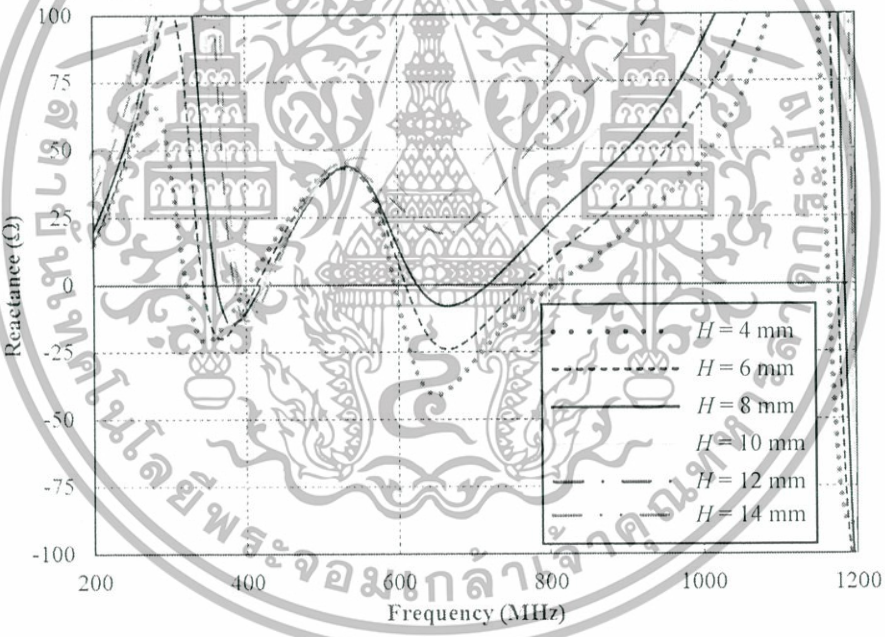
การปรับโครงสร้างของสายอากาศจากสี่ก้านเป็นห้าก้าน พบว่ายังไม่ครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งาน จึงทำการปรับพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างวงแหวน (*H*) โดยพิจารณาร่วมกับค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 และผลตอบสนองทางความถี่ของค่า $|S_{11}|$ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.19

พบว่าเมื่อปรับพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างวงแหวน (*H*) จะส่งผลให้ค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น และพบว่าที่พารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (*H*) มีค่าเท่ากับ 8 mm จะส่งผลให้มีค่าความต้านทานเข้าใกล้ 75Ω และค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ศูนย์ในช่วงความถี่ 400 MHz ถึง 650 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ค่าความต้านทาน

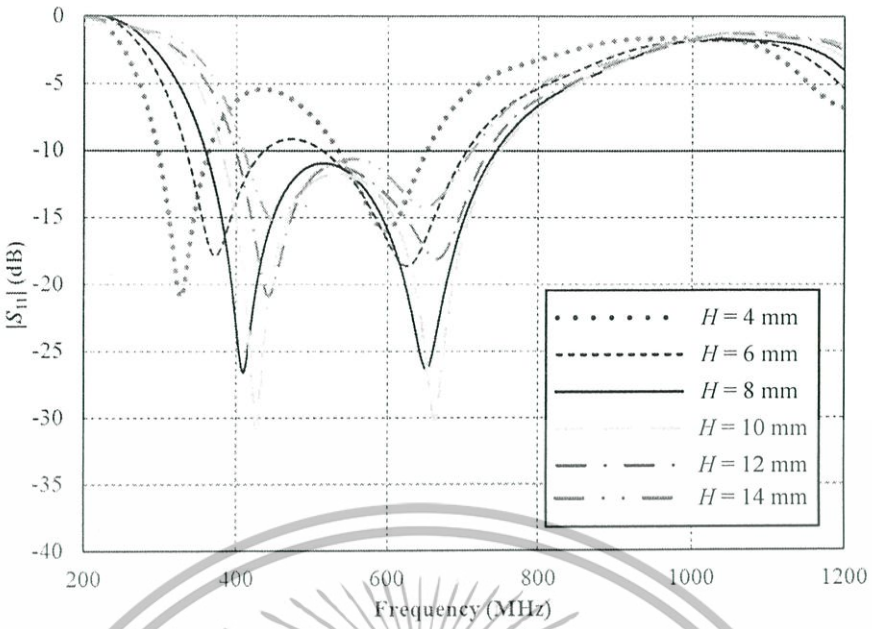


(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.18 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้าน เมื่อปรับระยะห่างระหว่างวงแหวน (*H*)

จากผลการจำลองค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ในข้างต้น ทำให้ทราบได้ว่าในช่วงความถี่ 360 MHz ถึง 734 MHz จะมีค่า $|S_{11}| \leq -10$ dB ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

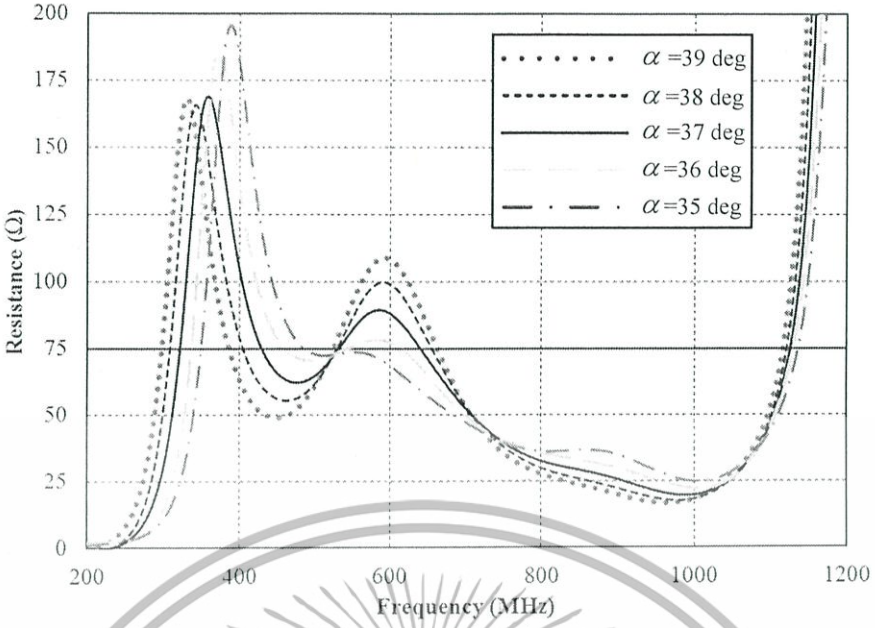


รูปที่ 3.19 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบห้าก้าน
เมื่อปรับระยะห่างระหว่างวงแหวน (H)

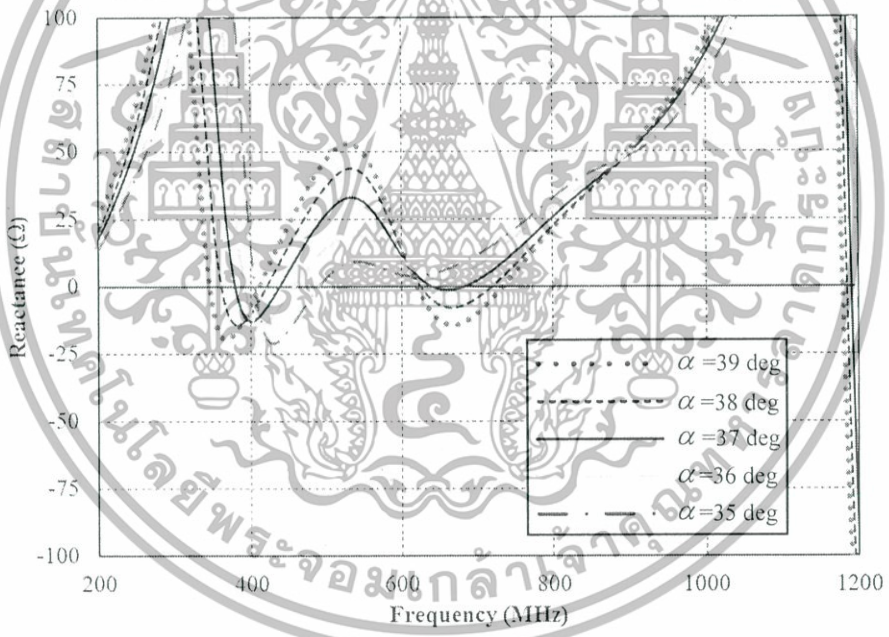
จากรูปที่ 3.18 พบว่าเมื่อปรับระยะห่างระหว่างวงแหวน (H) เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ขอบความถี่ต่ำเลื่อนไปด้านความถี่สูง และได้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างวงแหวน (H) เท่ากับ 8 mm เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ มีผลตอบสนองความถี่ 360 MHz ถึง 734 MHz อีกทั้งค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์มีค่าที่เหมาะสม

และเนื่องจากผลตอบสนองความถี่ยังไม่ครอบคลุมย่านความถี่ยูเอชเอฟ 470 MHz ถึง 862 MHz จึงได้ทำการปรับพารามิเตอร์ส่วนโค้ง (α) โดยทำการพิจารณาร่วมกับค่าต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.20 พบว่า เมื่อปรับมุมของพารามิเตอร์ส่วนโค้ง (α) ให้มีค่าเท่ากับ 37 deg แล้วทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ พบว่าค่าความต้านทานช่วง 420 MHz ถึง 680 MHz เข้าใกล้ 75Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์ในช่วงความถี่ดังกล่าวเข้าใกล้ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



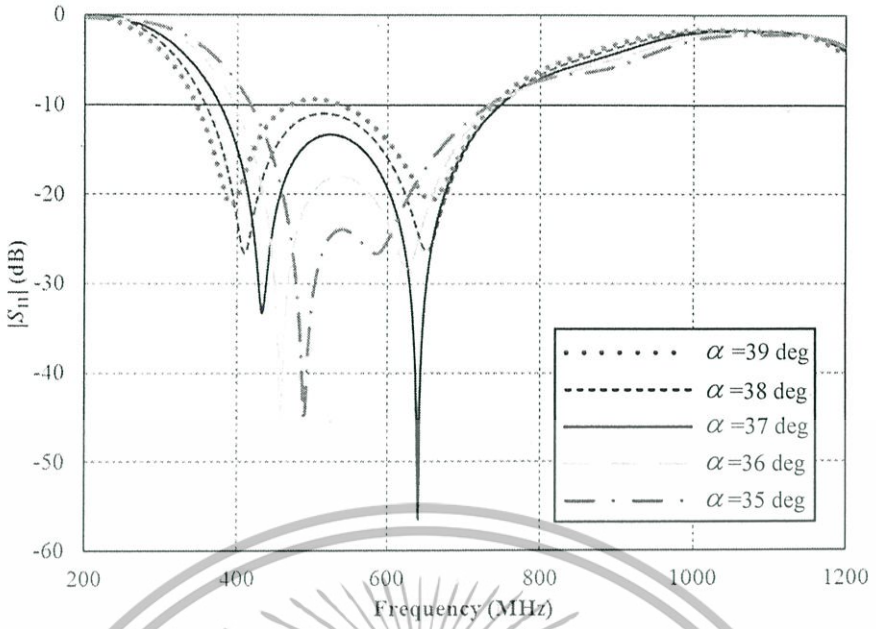
(ก) ค่าความต้านทาน



(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

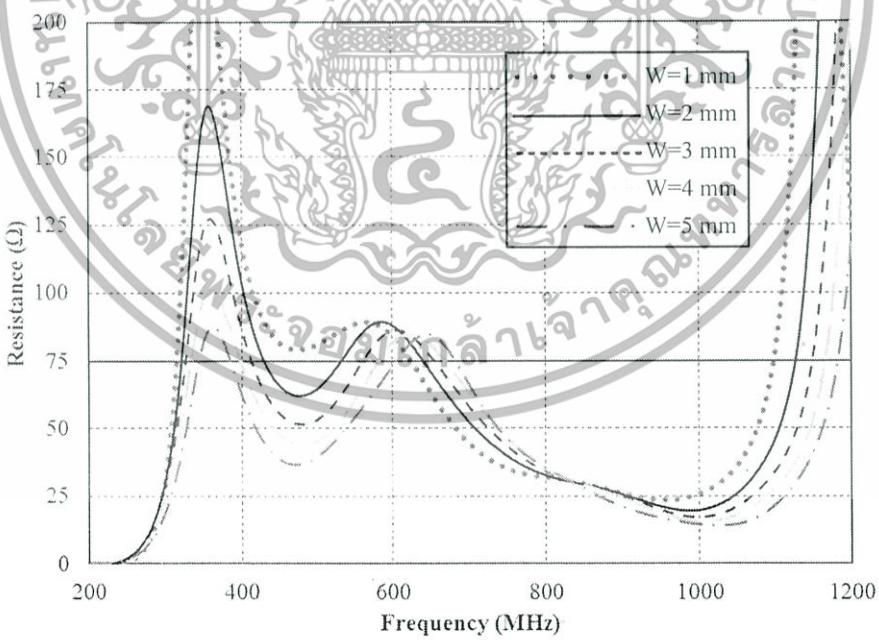
รูปที่ 3.20 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้าน เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างวงแหวน (*H*) และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



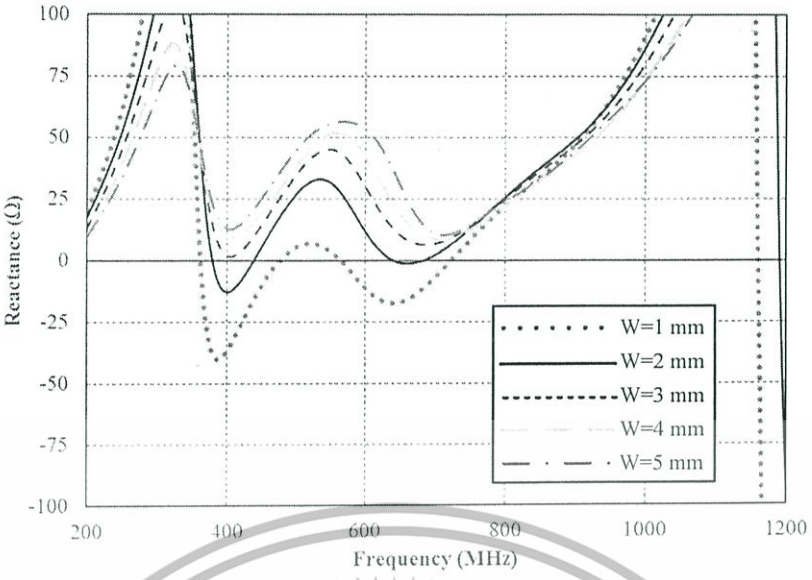
รูปที่ 3.21 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างวงแหวน (H) และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α)

จากรูปที่ 3.21 พบว่าเมื่อมุมของส่วนโค้ง (α) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า $|S_{11}|$ ลดลง โดยส่งผลให้ช่วงความถี่ 380 MHz ถึง 740 MHz มีค่า $|S_{11}| \leq -10$ dB แต่ไม่ครอบคลุมความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล จึงทำการทดลองปรับพารามิเตอร์ความกว้างก้านไดโพล (w)



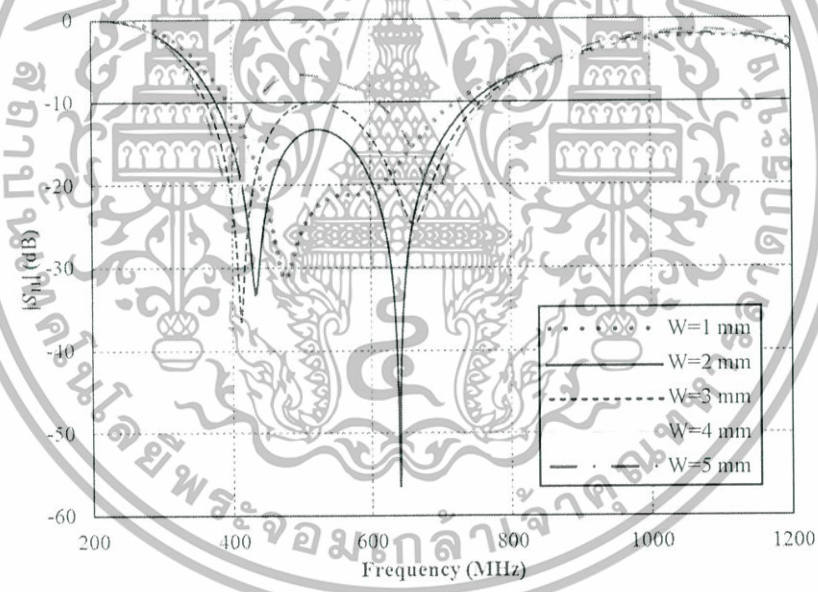
(ก) ค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

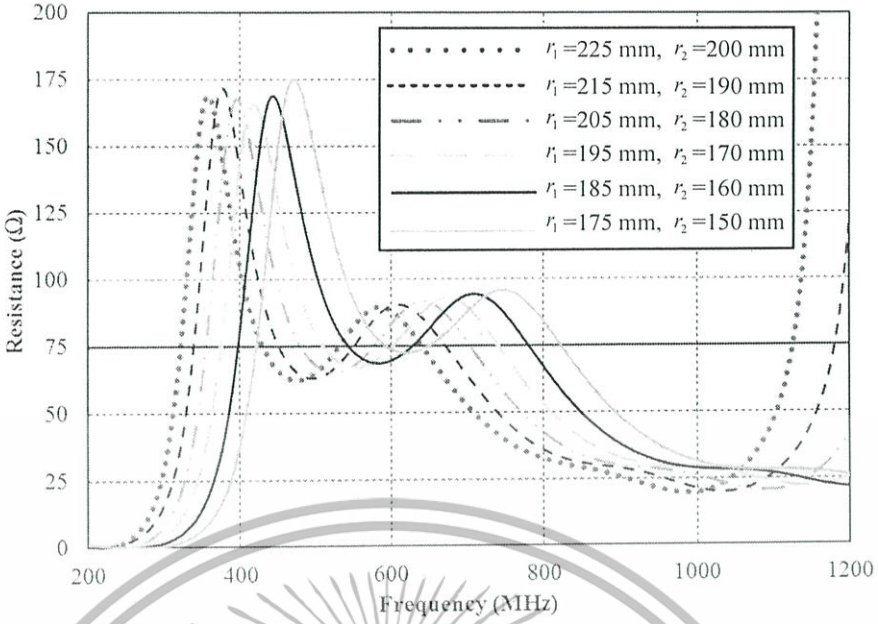
รูปที่ 3.22 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ เมื่อทำการปรับความกว้างก้านของสายอากาศ (w)



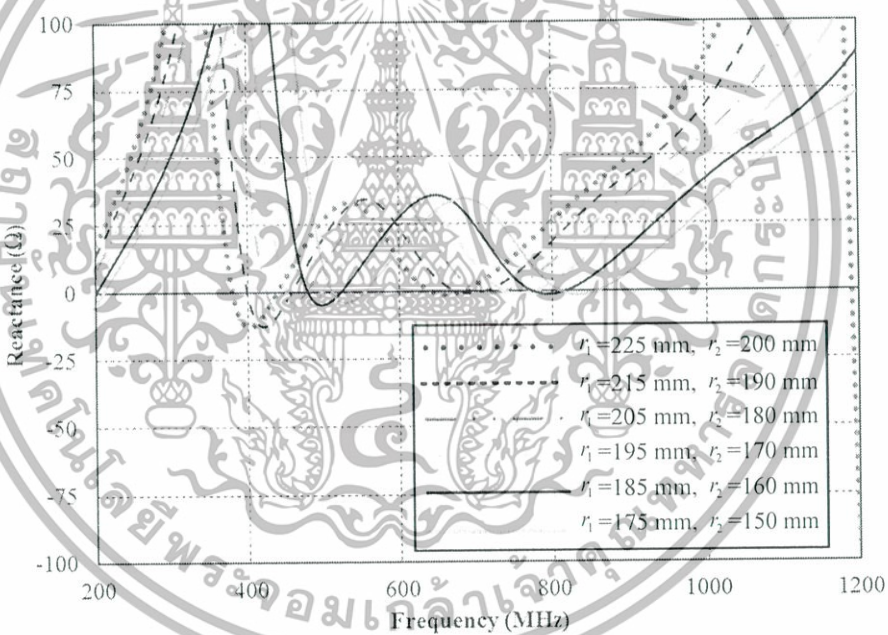
รูปที่ 3.23 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับความกว้างก้านของสายอากาศ (w)

จากรูปที่ 3.22 และ 3.23 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความกว้างก้านของสายอากาศพบว่า ค่าพารามิเตอร์ ที่มีค่าเท่ากับ 2 mm เป็นพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เป็นเงื่อนไขเริ่มต้น เนื่องจากการปรับความกว้างก้านของสายอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า $|S_{11}|$ สูงขึ้น และยังส่งผลต่อค่าความต้านทานให้มีค่าที่ลดต่ำลง และค่ารีแอกแตนซ์ที่เพิ่มสูงขึ้น จากนั้นทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.24 และ 3.25 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



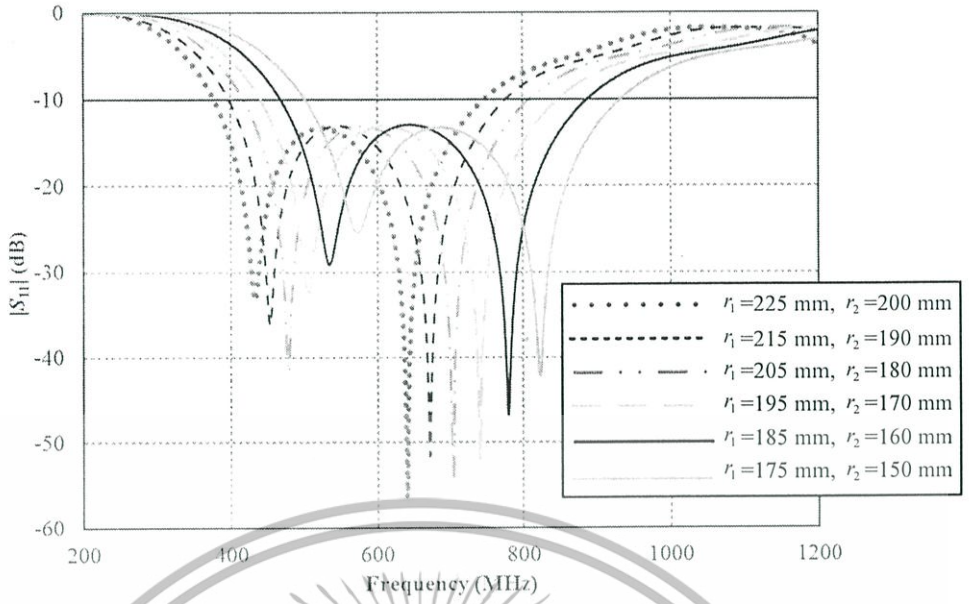
(ก) ค่าความต้านทาน



(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.24 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2)

จากรูปที่ 3.24 และ 3.25 พบว่าเมื่อทำการปรับลดรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2) พบว่าช่วงความถี่เลื่อนขึ้นไปทางด้านความถี่สูง เนื่องจากการปรับลดพารามิเตอร์ดังกล่าว จะส่งผลให้ค่าความต้านทาน และค่าริแอกแตนซ์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลจากการจำลองพบว่าค่าพารามิเตอร์รัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) ที่มีค่าเท่ากับ 185 mm และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2) ที่มีค่าเท่ากับ 160 mm สามารถครอบคลุมย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้ คือ 460 MHz ถึง 880 MHz ซึ่งพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้านสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4

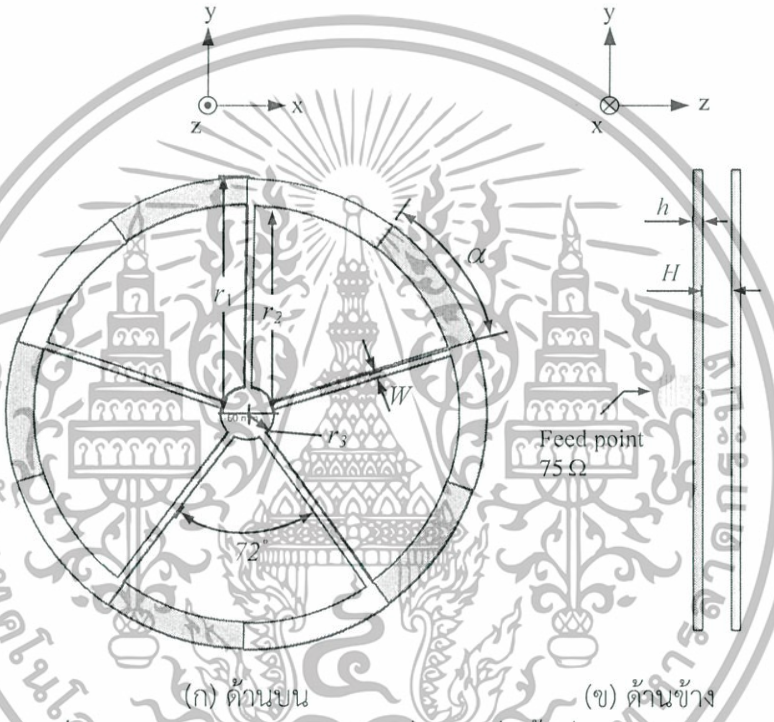
ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้าน

พารามิเตอร์	คำจำกัดความ	ขนาด
r_1	รัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ	185 mm
r_2	รัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ	160 mm
W	ความกว้างก้านของไดโพล	2 mm
H	ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน	8 mm
h	ความหนาแผ่นทองเหลือง	1 mm
α	มุมส่วนโค้ง	37 deg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโครงสร้างของสายอากาศแบบห้าก้าน พบว่าจุดป้อนสัญญาณนั้นมีขนาดที่เล็กมาก ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้โครงสร้างของสายอากาศไม่แข็งแรง อีกทั้งยังส่งผลต่อการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล เมื่อทำการติดตั้งภายในอาคาร ดังนั้นจึงได้ทำการเพิ่มจุดป้อนสัญญาณให้มีขนาดที่กว้างขึ้น อีกทั้งแบนด์วิดธ์ของสายอากาศแบบห้าก้านค่อนข้างพอดีกับช่วงความถี่ที่ใช้งาน จึงอาจจะส่งผลทำให้การสร้างสายอากาศต้นแบบมีแบนด์วิดธ์ที่แคบลง จึงได้ทำการปรับแต่งโครงสร้างโดยการเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ เพื่อปรับปรุงข้อเสียดังกล่าว

3.2.3 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้านโดยเพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณขนาด r_3



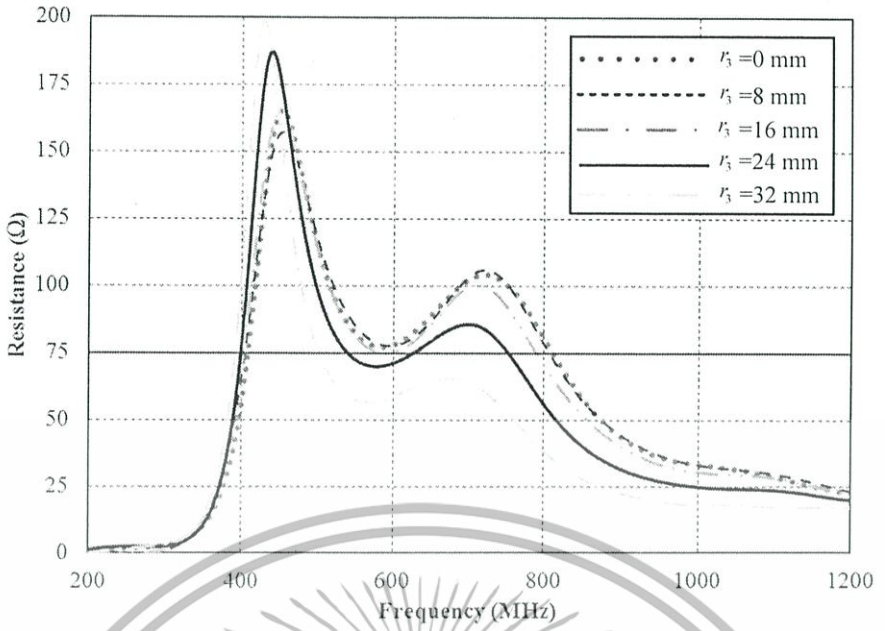
(ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง

รูปที่ 3.26 สายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มพื้นที่ป้อนสัญญาณ

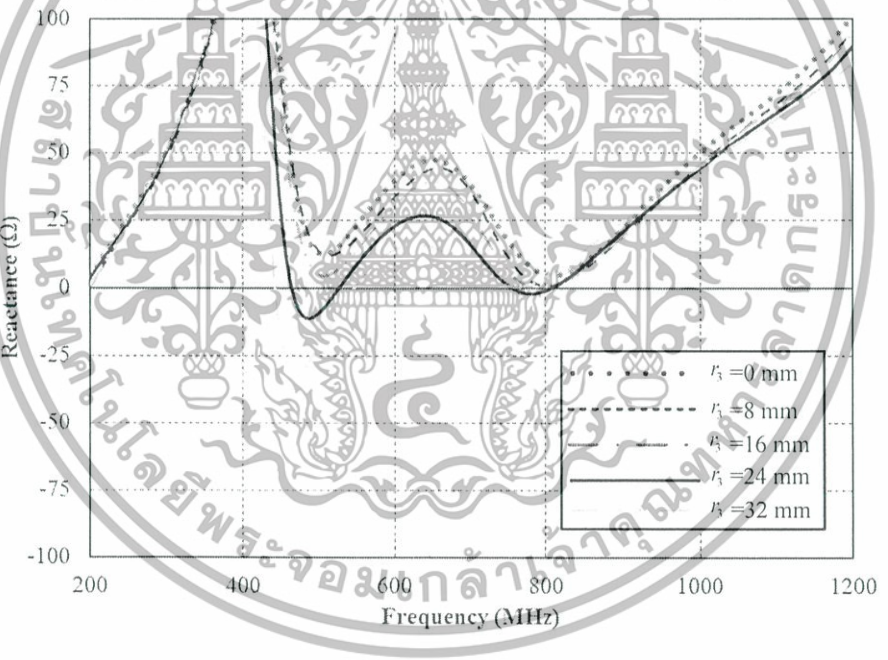
จากรูปที่ 3.26 ได้ทำการพัฒนาสายอากาศแบบห้าก้านโดยได้ทำการเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณที่มีรัศมี r_3 เพื่อให้โครงสร้างของสายอากาศแข็งแรงขึ้น และทำการป้อนสัญญาณระหว่างแผ่นวงแหวนซึ่งวางซ้อนในแนวแกน z โดยมีไดอิเล็กตริกอากาศอยู่ระหว่างแผ่นวงแหวน

โครงสร้างสายอากาศจะใช้แผ่นวงแหวนที่มีองค์ประกอบไดโพลแบบห้าก้านและเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ จากนั้นจึงทำการจำลองผลเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว โดยใช้โปรแกรม [13] ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.27 และ 3.28 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



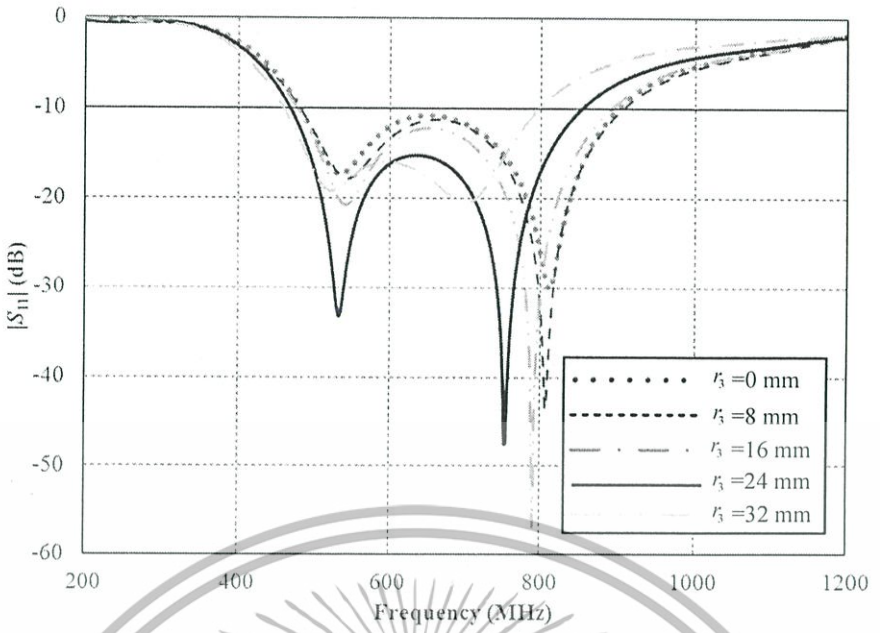
(ข) ค่าความต้านทาน



(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

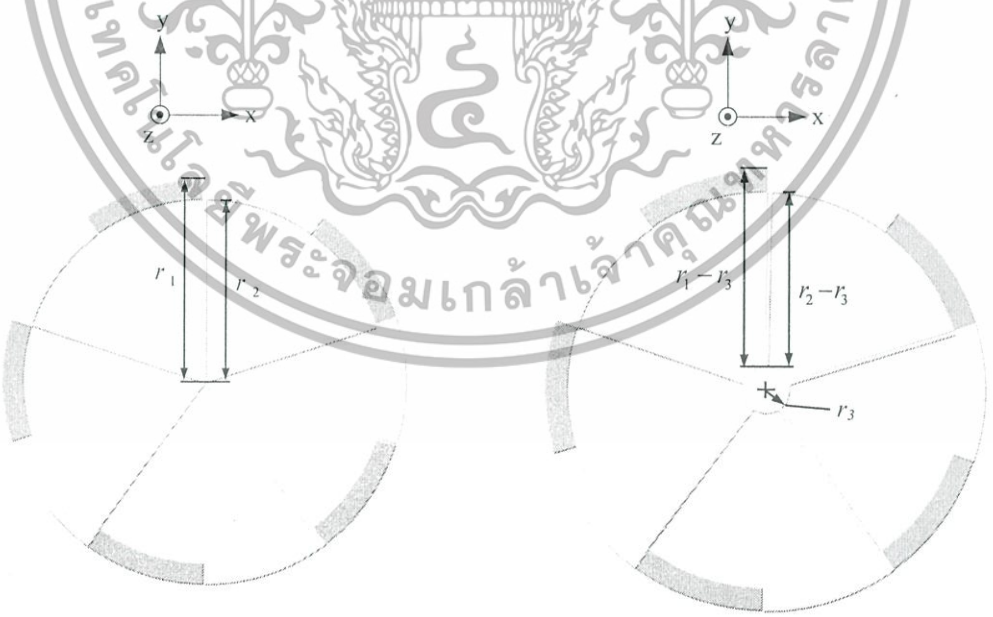
รูปที่ 3.27 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้าน ที่มีการเพิ่มพื้นที่ป้อนสัญญาณ เมื่อทำการปรับรัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ (r_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบท้าก้าน ที่มีการเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ เมื่อทำการปรับรัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ (r_3)

จากการเพิ่มปรับรัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ (r_3) พบว่าพารามิเตอร์บริเวณจุดป้อนสัญญาณเท่ากับ 24 mm เป็นพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสม เนื่องจากค่าของความต้านทานเข้าใกล้ 75Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ศูนย์ แต่การปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้แบนด์วิดธ์ของสายอากาศนั้นลดลง เนื่องจากการปรับพารามิเตอร์บริเวณจุดป้อนสัญญาณส่งผลให้ขนาดความยาวของก้านไดโพลลดลง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.29

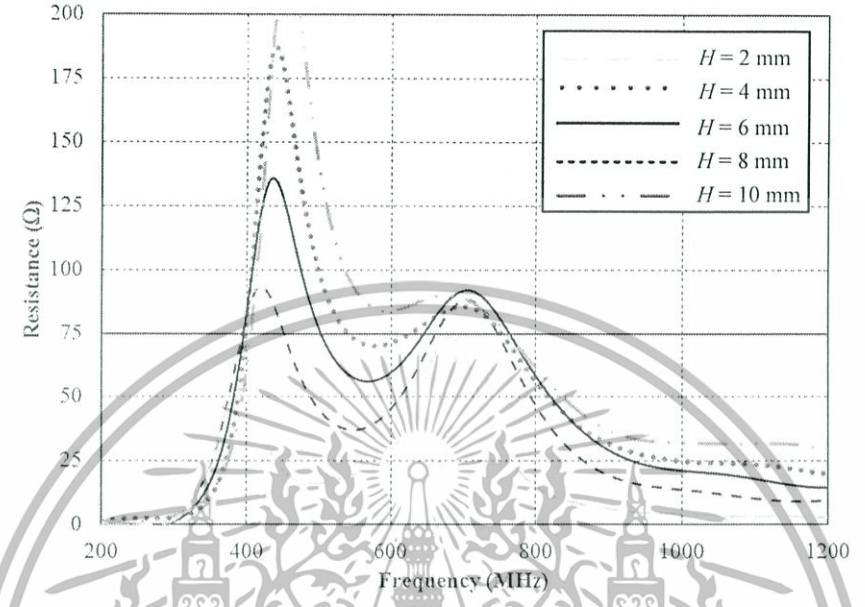


(ก) ก่อน (ข) หลัง

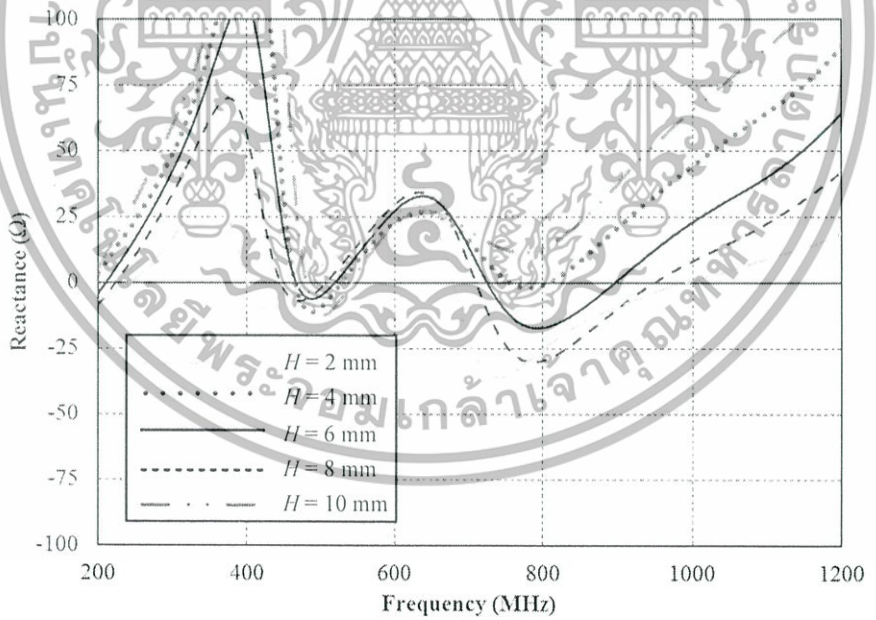
รูปที่ 3.29 โครงสร้างของสายอากาศก่อน และหลังเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.29 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศที่ส่งผลกระทบโดยตรงกับแบนด์วิดธ์ของสายอากาศคือมีแบนด์วิดธ์ที่แคบลง ซึ่งพบว่าการเพิ่มพื้นที่ของจุดป้อนสัญญาณ อาจจะมีผลกับพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (*H*) ด้วย จึงได้ทำการปรับระยะห่างระหว่างวงแหวน (*H*) ดังรูปที่ 3.30 และ 3.31 ตามลำดับ



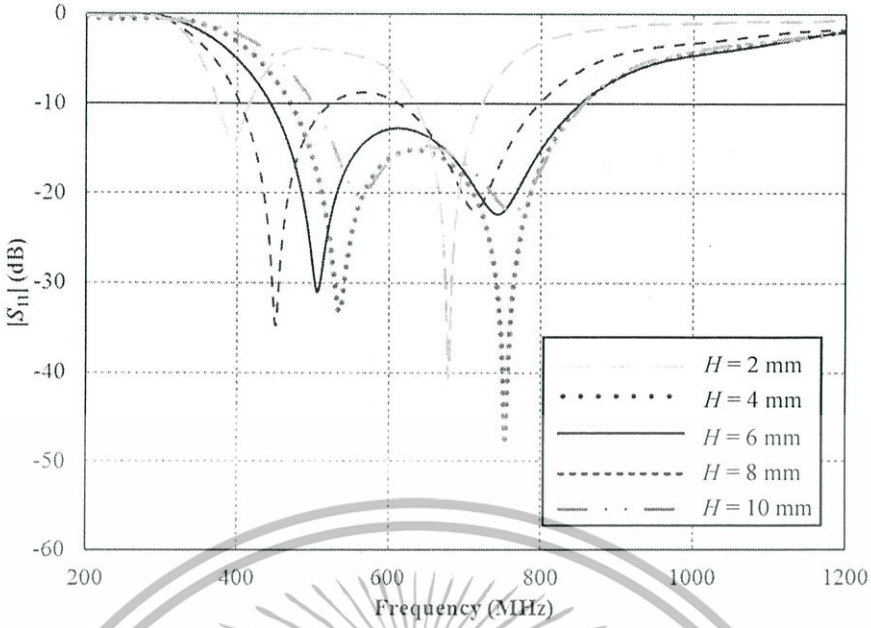
(ข) ค่าความต้านทาน



(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.30 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้าก้าน ที่มีการเพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณ เมื่อทำการปรับลดระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (*H*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



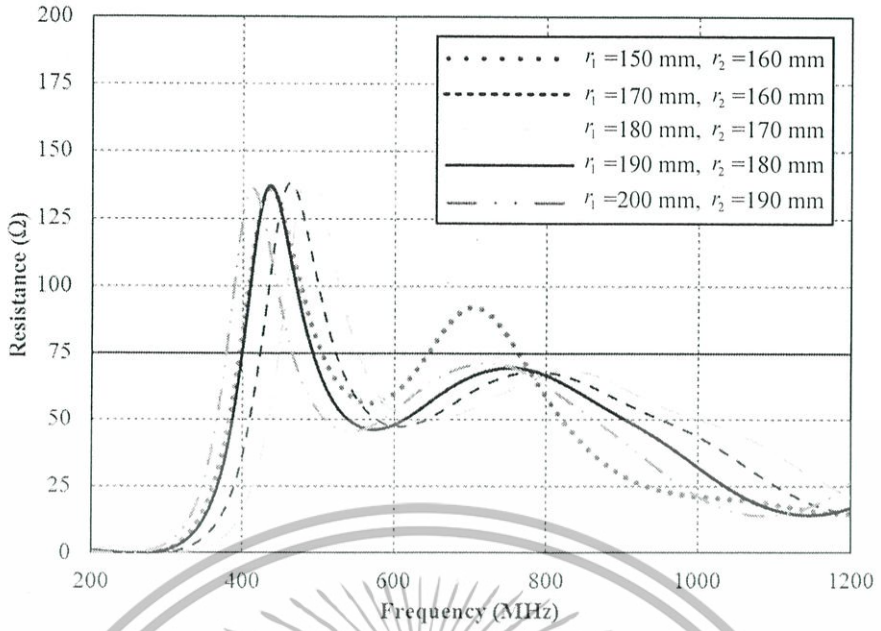
รูปที่ 3.31 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบห้าก้าน ที่มีการเพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณเมื่อปรับลดระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H)

เมื่อกำหนดให้รัศมีของจุดป้อนสัญญาณ (r_3) เท่ากับ 24 mm และทำการปรับลดระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H) พบว่าที่รัศมีของจุดป้อนสัญญาณ (r_3) เท่ากับ 6 mm จากเดิมเท่ากับ 8 mm ทำให้แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่ครอบคลุมช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz

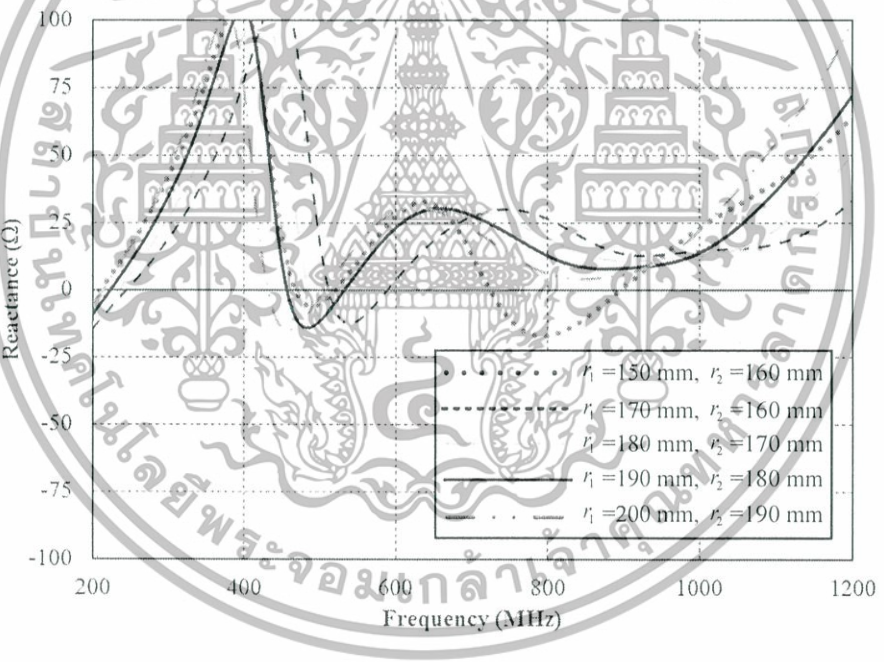
การปรับพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณยังส่งผลต่อความยาวไดโพลหรือรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2) ที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ ขนาดความยาวของก้านไดโพลที่ลดลง ทำให้ก้านไดโพลยาวเท่ากับ r_1 ลบกับ r_3 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.28 จากการที่ก้านไดโพลมีขนาดที่ลดลงจึงทำการทดลองปรับเพิ่มพารามิเตอร์ดังกล่าวอีกครั้ง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.32 และ 3.33 ตามลำดับ

จากรูปที่ 3.32 การปรับพารามิเตอร์รัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) เท่ากับ 190 mm และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2) เท่ากับ 180 mm คือค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากผลการจำลองของค่าความต้านทานสายอากาศเข้าใกล้ 75Ω และค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ศูนย์ ตั้งแต่ความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz และยังส่งผลให้พารามิเตอร์ $|S_{11}| \leq$ -10 dB ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งาน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



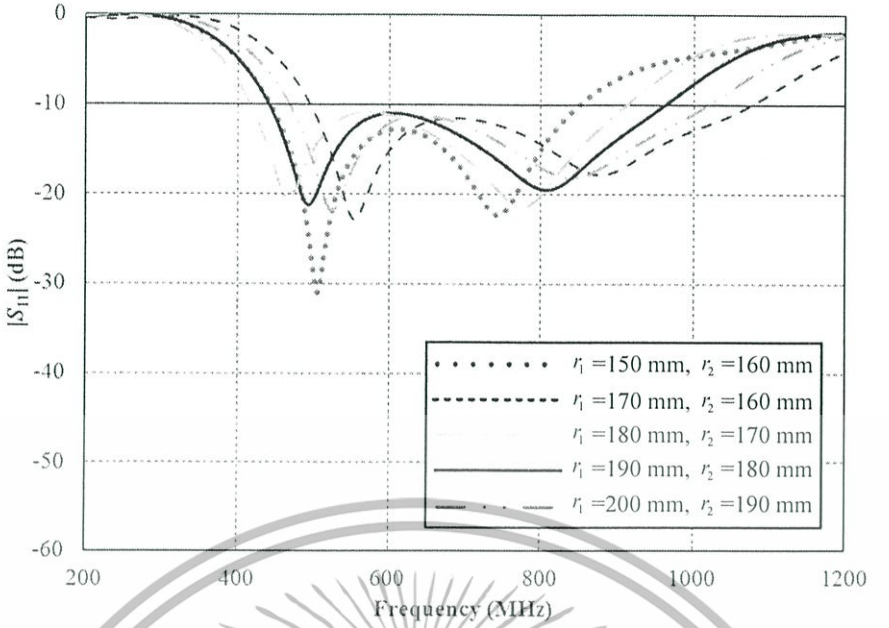
(ข) ค่าความต้านทาน



(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.32 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2)

จากผลการจำสองสายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณ พบว่า พารามิเตอร์ $|S_{11}| \leq -10$dB ในช่วงความถี่ที่ใช้งาน แต่พารามิเตอร์ $|S_{11}|$ ค่อนข้างสูง โดยพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณแสดงในตารางที่ 3.5

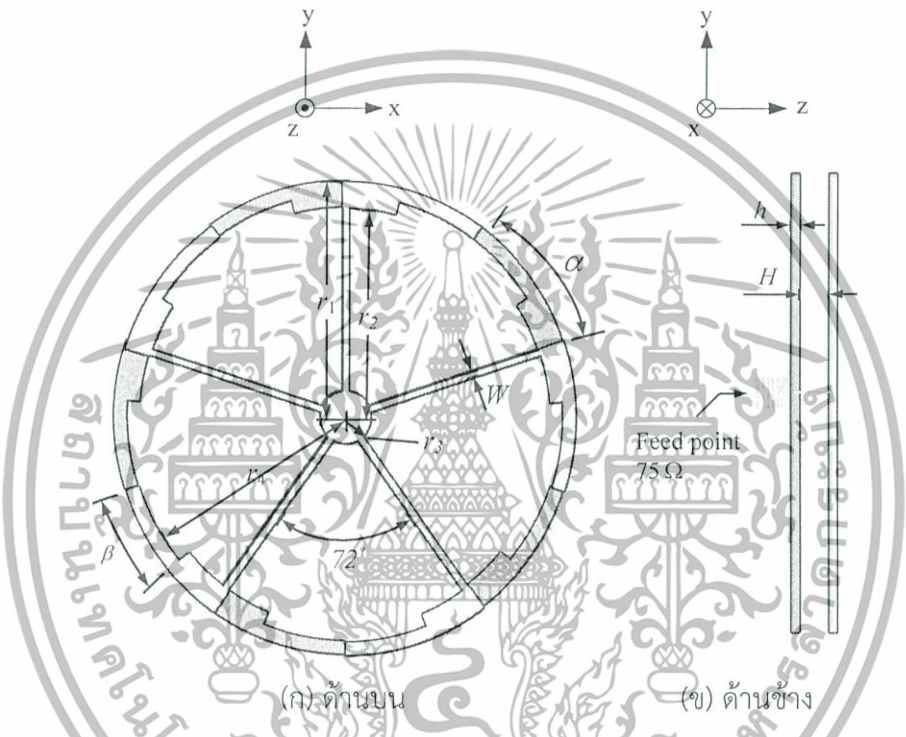
ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ

พารามิเตอร์	คำจำกัดความ	ขนาด
r_1	รัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ	190 mm
r_2	รัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ	180 mm
W	ความกว้างก้านของสายอากาศ	2 mm
H	ระยะห่างระหว่างวงแหวน	6 mm
h	ความหนาแผ่นทองเหลือง	1 mm
α	มุมของส่วนโค้ง	37 deg
r_3	รัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ	24 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้านโดยเพิ่มกิ่งโค้ง

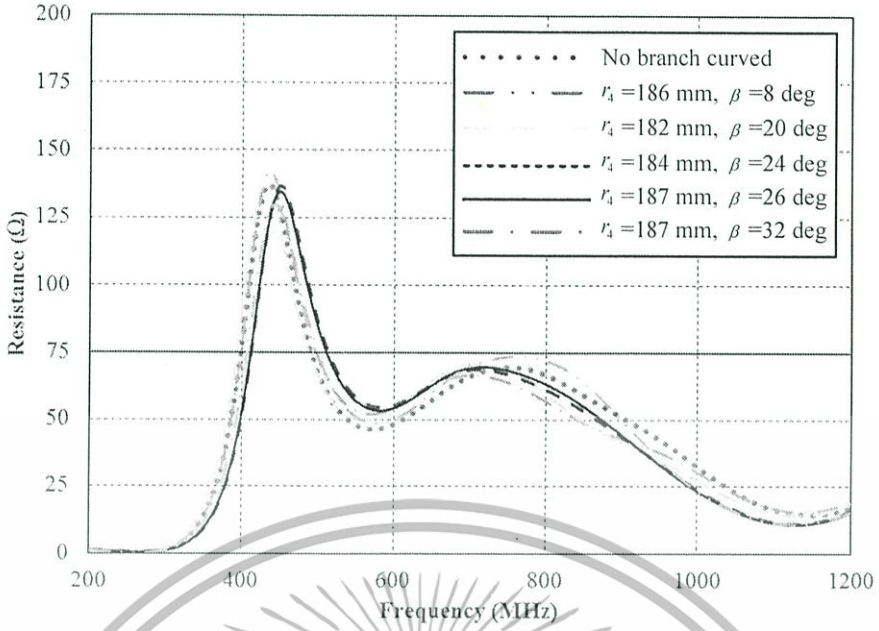
จากรูปที่ 3.34 ได้ทำการพัฒนาสายอากาศแบบห้าก้านโดยทำการเพิ่มกิ่งโค้ง เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณจะส่งผลให้ค่า $|S_{11}|$ มีค่าที่ค่อนข้างสูง จึงได้ทำการทดลองเพิ่มกิ่งโค้งเข้าไปบริเวณส่วนโค้งขององค์ประกอบไดโพล ซึ่งจะทำให้มีพารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศเพิ่มขึ้นมาจำนวน 2 พารามิเตอร์ คือ พารามิเตอร์ของรัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง (r_4) และมุมของส่วนโค้งกิ่งโค้ง (β) จากนั้นทำการจำลองผลและศึกษาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวโดยใช้โปรแกรม [13] ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.35 และ 3.36 ตามลำดับ



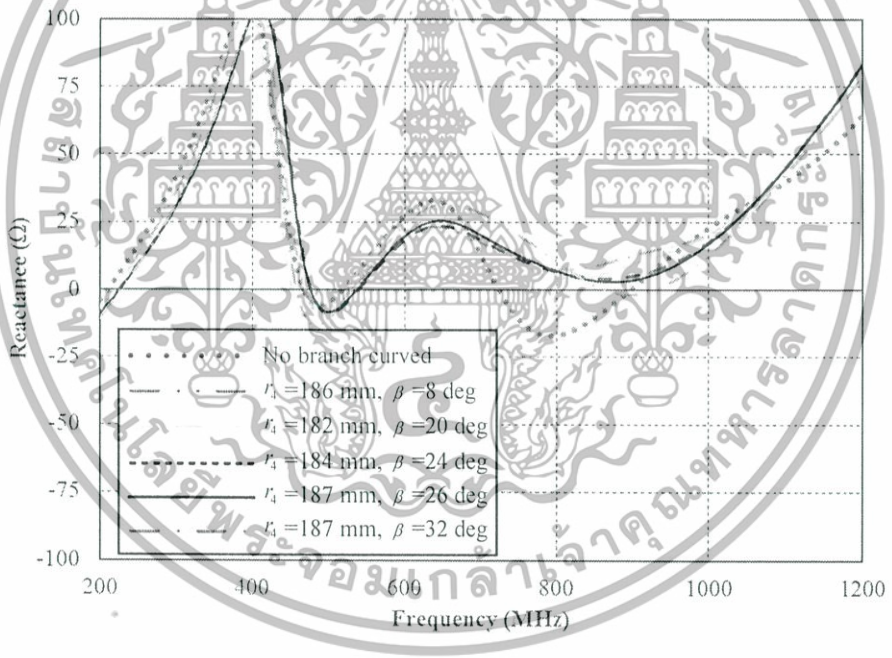
รูปที่ 3.34 สายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง

จากการปรับค่ารัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง (r_4) และมุมของส่วนโค้งกิ่งโค้ง (β) เพิ่มขึ้น พบว่าส่งผลให้มีความต้านทานเข้าใกล้ 75Ω และค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.35 และยังส่งผลให้ค่า $|S_{11}|$ มีค่าที่ลดต่ำลงง รวมทั้งครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งานของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลตามรูปที่ 3.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



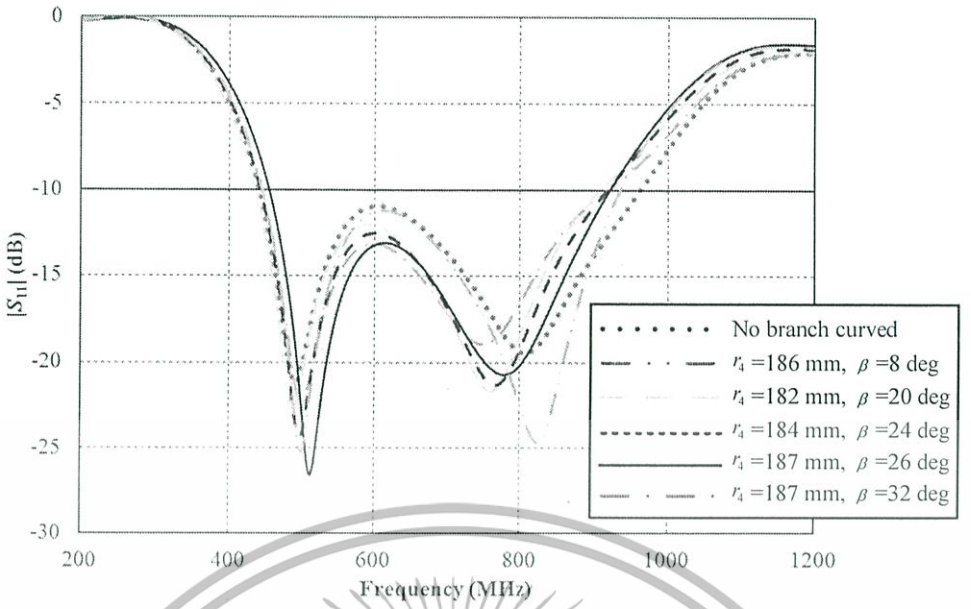
(ก) ค่าความต้านทาน



(ข) ค่ารีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.35 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับรัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง (r_4) มุมของส่วนโค้งกิ่งโค้ง (β)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



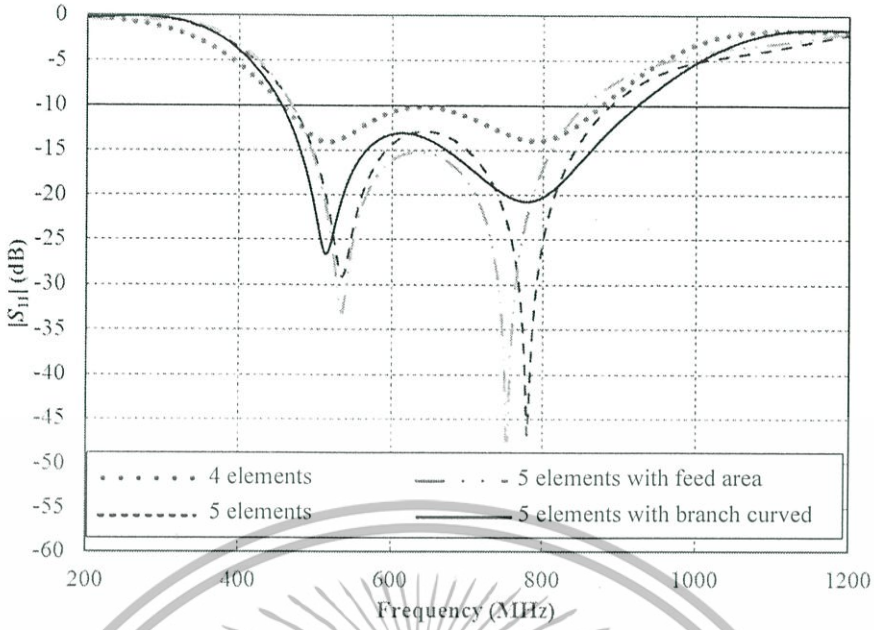
รูปที่ 3.36 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับรัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง (r_4) และมุมของส่วนโค้งกิ่งโค้ง (β)

จากการปรับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้าน และโครงสร้างของกิ่งโค้ง พบว่าสามารถทำให้ค่า $|S_{11}|$ มีค่าที่ลดต่ำลงและสามารถครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งานของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล และพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มกิ่งโค้งได้แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มกิ่งโค้ง

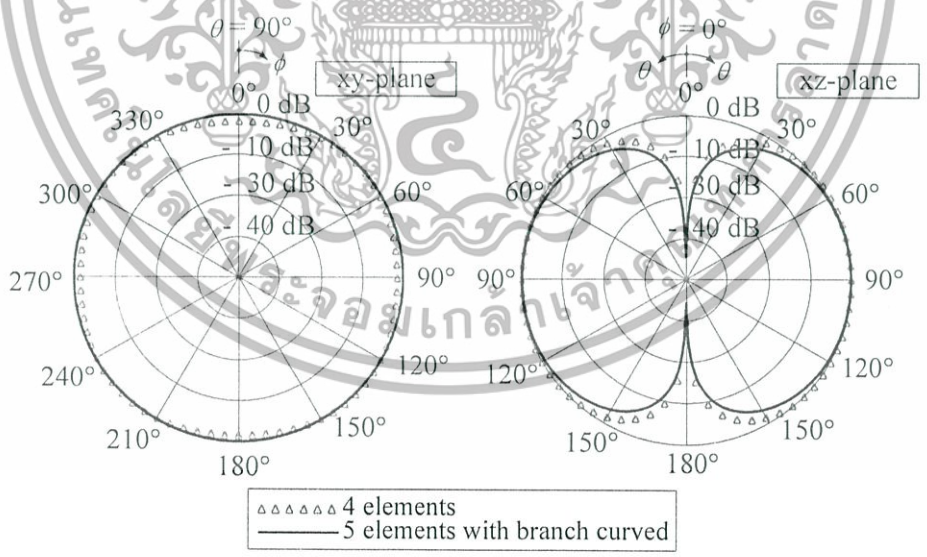
พารามิเตอร์	คำจำกัดความ	ขนาด
r_1	รัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ	190 mm
r_2	รัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ	180 mm
W	ความกว้างก้านไดโพล	2 mm
H	ระยะห่างระหว่างวงแหวน	6 mm
h	ความหนาแผ่นวงแหวน	1 mm
α	มุมส่วนโค้ง	37 deg
r_3	รัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ	24 mm
r_4	รัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง	186 mm
β	มุมส่วนโค้งกิ่งโค้ง	24 deg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



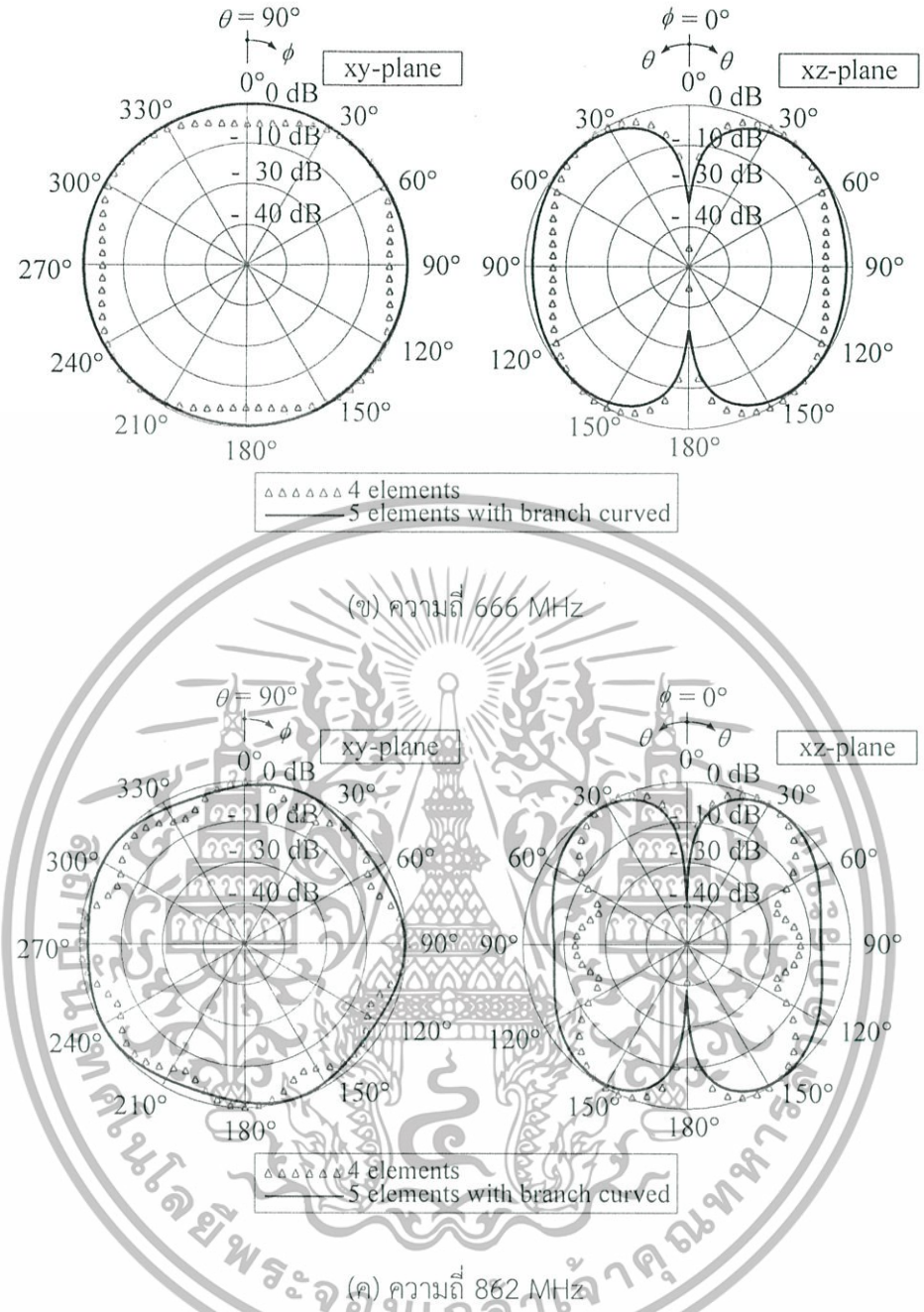
รูปที่ 3.37 เปรียบเทียบผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศทั้ง 4 แบบ ที่ได้ทำการออกแบบ

จากรูปที่ 3.37 เป็นผลการเปรียบเทียบสายอากาศตั้งแต่เริ่มต้น คือสายอากาศแบบสี่ก้าน สายอากาศแบบห้าก้าน สายอากาศห้าก้านที่ทำการเพิ่มบริเวณจุดป้อนสัญญาณ และสายอากาศแบบห้าก้านที่ทำการเพิ่มกิ่งโค้ง ซึ่งการปรับเปลี่ยนโครงสร้างและพารามิเตอร์ต่างๆ ส่งผลให้แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเพิ่มขึ้น



(ก) ความถี่ 470 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความถี่ 666 MHz

(ค) ความถี่ 862 MHz

รูปที่ 3.38 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยการเปรียบเทียบสายอากาศแบบสี่ก้านที่เป็นโครงสร้างเริ่มต้น และสายอากาศห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง

จากรูปที่ 3.38 เป็นผลการเปรียบเทียบจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเริ่มต้นที่มี 4 ก้าน กับสายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง พบว่าสายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มกิ่งโค้งมีผลที่ดีขึ้น คือในระนาบ xy สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวทั้ง 3 ความถี่ คือ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ส่วนความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz และผลเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแสดงดังตารางที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบการกระเพื่อมสูงสุดและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

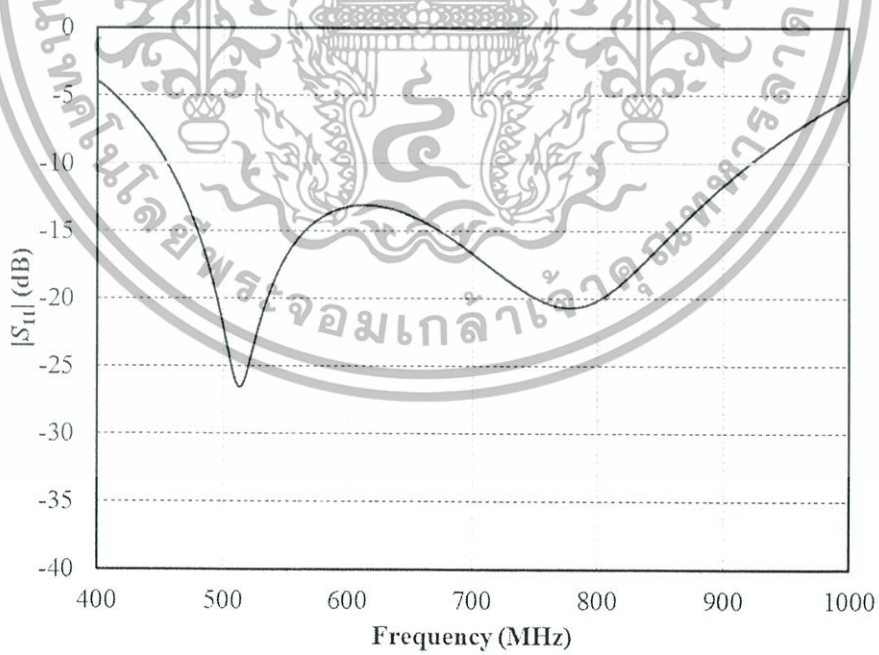
ความถี่	การกระเพื่อมสูงสุด (dB) ในระนาบ xy (Ripple)		ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (deg) ในระนาบ xz (HPBW)	
สายอากาศ	แบบสี่ก้าน	แบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง	แบบสี่ก้าน	แบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง
470 MHz	1.69	0.16	132.4	121.8
666 MHz	4.95	0.66	44.0	140.0
862 MHz	5.96	2.38	30.3	38.9

3.3 ผลการจำลองของสายอากาศ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการจำลองของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันที่ใช้สายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง สำหรับการประยุกต์ใช้งานในช่วงความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยนำค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.6 มาทำการจำลองเป็นโครงสร้างของสายอากาศเพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น การกระจายของกระแส และอัตราขยายของสายอากาศ

3.3.1 ผลการจำลอง $|S_{11}|$

สำหรับการพิจารณา $|S_{11}|$ ของสายอากาศ จะพิจารณาที่ $|S_{11}| \leq -10$ dB ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้งาน โดยผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวที่มีโครงสร้างแบบห้าก้านและมีกิ่งโค้ง แสดงดังรูปที่ 3.39



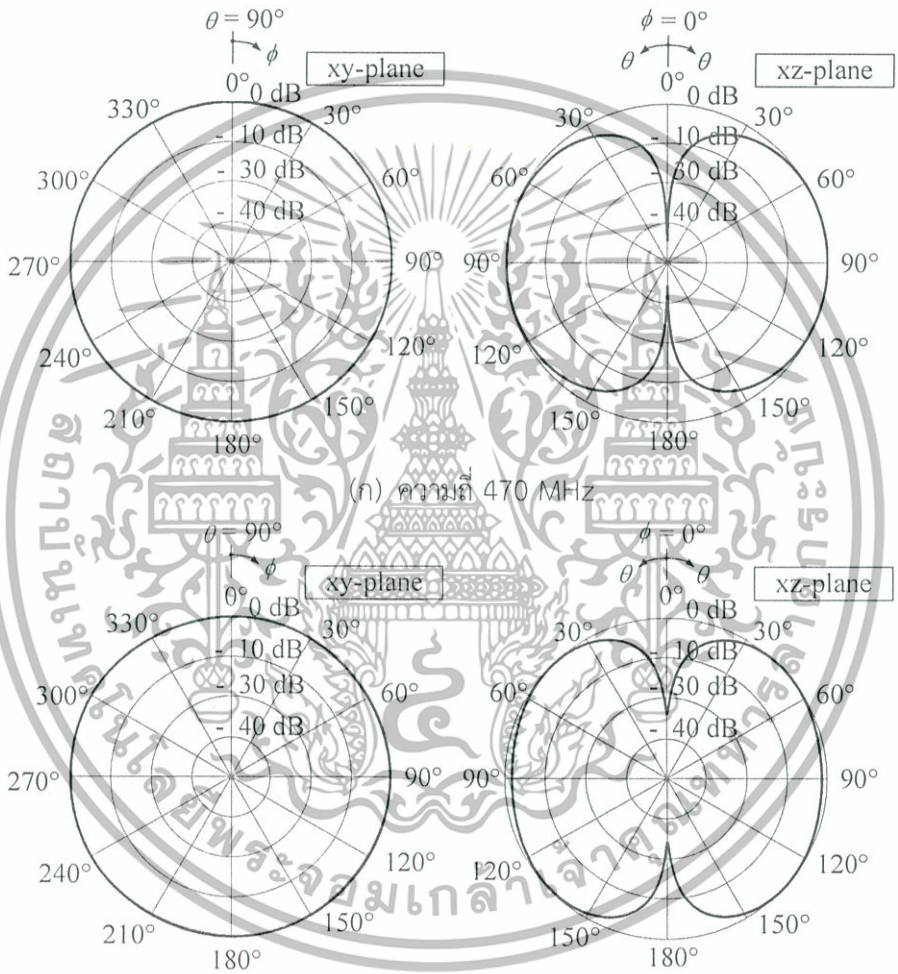
รูปที่ 3.39 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ สายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.38 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน ที่มีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 455 MHz ถึง 920 MHz โดยมีแบนด์วิดธ์ 465 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล ตามที่ กสทช. กำหนด คือ 470 MHz ถึง 862 MHz

3.3.2 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

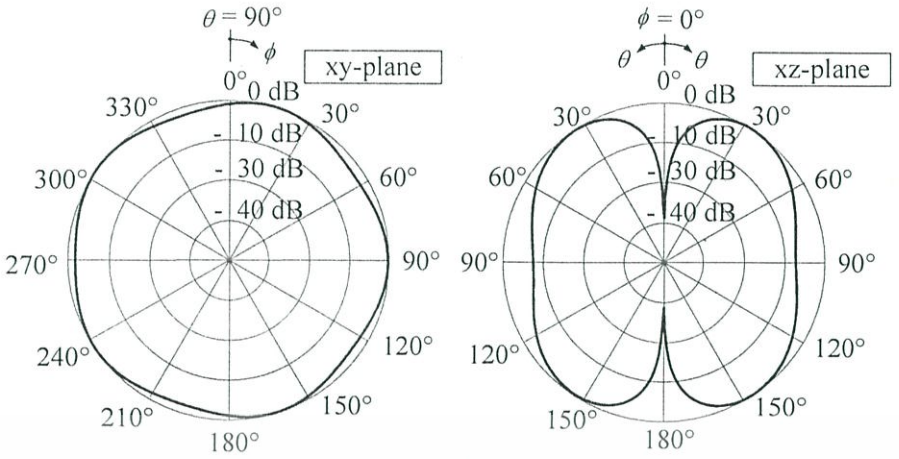
การจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอ จะพิจารณาที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงจากรูปที่ 3.40



(ก) ความถี่ 470 MHz

(ข) ความถี่ 666 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



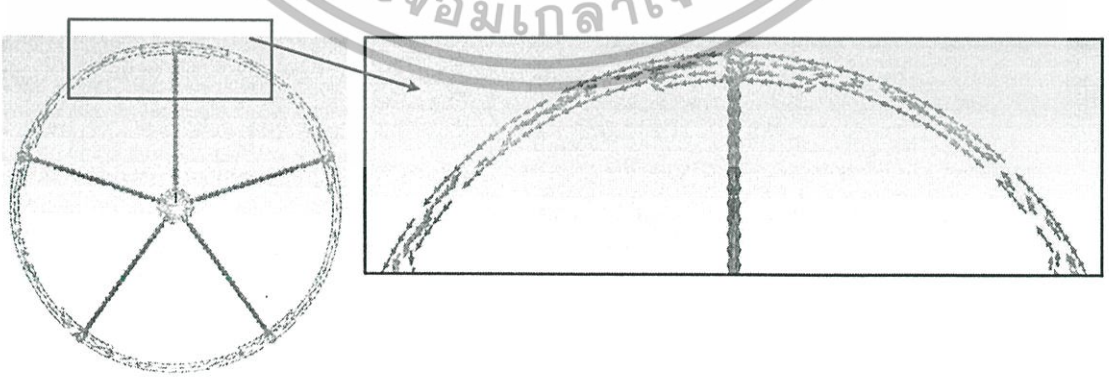
(ค) ความถี่ 862 MHz

รูปที่ 3.40 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน

ในรูปที่ 3.40 ซึ่งพิจารณาที่ระนาบ xz และ yz ตามลำดับ สายอากาศที่นำเสนอจะอยู่ในระนาบ xy และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศอยู่ในระนาบ xy โดยจะพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้ง 3 ความถี่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน สายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันเป็นสายอากาศที่มีโพลาไรซ์เป็นเชิงเส้นแนวนอน และพบว่าผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz มีการกระเพื่อมสูงสุด 0.16 0.66 และ 2.38 ตามลำดับ ส่งผลให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีทิศทางการแพร่กระจายแบบรอบทิศทางในระนาบ xy เพราะมีค่าการกระเพื่อมไม่เกิน 3 dB ส่วนความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz เป็น 121.8 deg 140.0 deg และ 38.9 deg ตามลำดับ

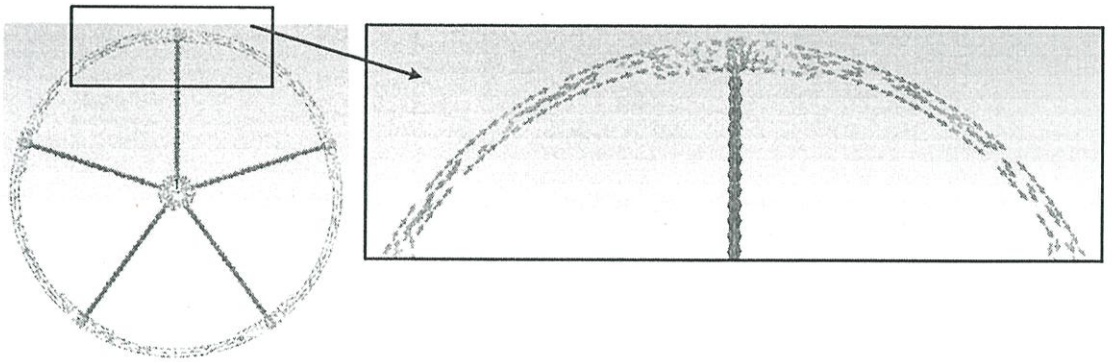
3.3.3 ผลการจำลองการกระจายของกระแส (Current distribution)

การแสดงผลการจำลองการกระจายของกระแสบนผิวของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน โดยพิจารณาที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ จากรูปที่ 3.41

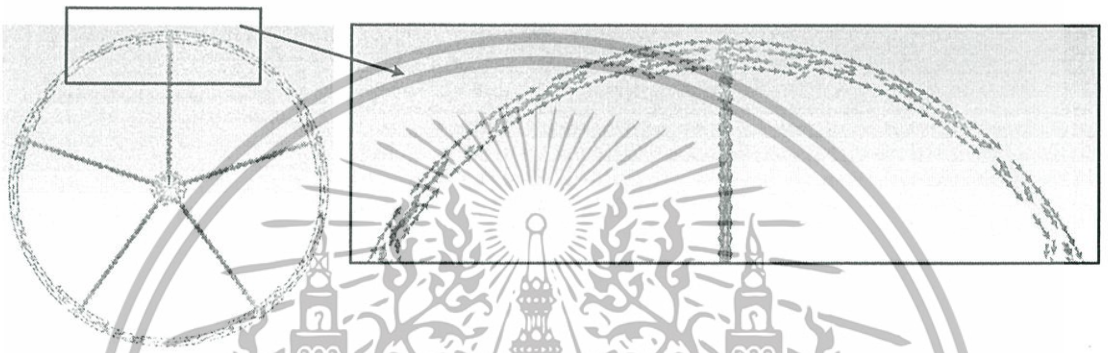


(ก) ความถี่ 470 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความถี่ 666 MHz



(ค) ความถี่ 862 MHz

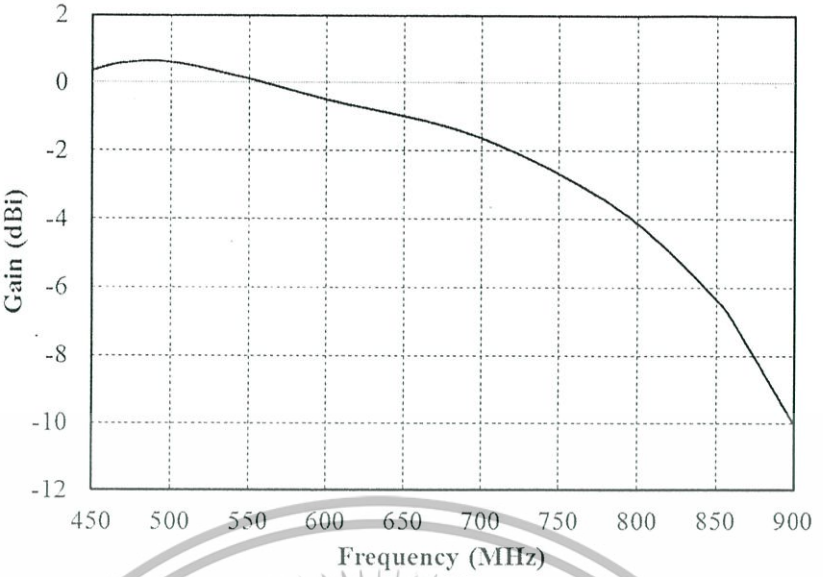
รูปที่ 3.41 ผลการจำลองการกระจายของกระแสบนผิวของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอน โดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน

จากรูปที่ 3.41 จะสังเกตได้ว่าการกระจายตัวของกระแสที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz จะมีความหนาแน่นของกระแสทั่วทั้งโครงสร้างของสายอากาศเหมือนกันทั้งหมด การกระจายตัวของกระแสทั้งหมดมีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันกับสายอากาศทั้งสองแผ่นวงแหวน จึงส่งผลให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมีความสมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 3.40 แต่ช่วงความถี่ 862 MHz มีการกระจายตัวของกระแสบริเวณส่วนโค้งของวงแหวนเบาบางกว่าบริเวณก้านไดโพล ส่งผลให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ดังกล่าวมีความเพี้ยนเล็กน้อย แต่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังกล่าวยังคงเป็นแบบรอบทิศทาง โดยการกระจายของกระแสทั้ง 3 ความถี่ มีทิศทางของการกระจายของกระแสในแนวแกน $-x$ ถึง $+x$ และแนวแกน $-y$ ถึง $+y$ ตามลำดับ อันเป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างของสายอากาศที่ออกแบบจากสายอากาศไดโพล

3.3.4 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลจำลองอัตราขยายของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง ซึ่งทำการพิจารณาตั้งแต่ช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง

จากรูปที่ 3.42 แสดงผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อความถี่สูงขึ้น แนวโน้มของอัตราขยายของสายอากาศก็จะลดลง โดยมีอัตราขยายของสายอากาศอยู่ที่ 0.67 dBi -1.14 dBi และ -6.52 dBi ที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ

ตารางที่ 3.8 สรุปคุณลักษณะของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง

คุณลักษณะของสายอากาศ	ผลการจำลอง		
ความถี่ที่ออกแบบ	470 MHz	666 MHz	862 MHz
$\|S_{11}\|$	-12.79 dB	-14.59 dB	-13.13 dB
แบนด์วิดธ์	455 MHz ถึง 920 MHz		
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	รอบทิศทางในระนาบ xy	รอบทิศทางในระนาบ xy	รอบทิศทางในระนาบ xy
โพลาไรซ์	เชิงเส้นแนวนอน	เชิงเส้นแนวนอน	เชิงเส้นแนวนอน
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz	121.8 deg	140.0 deg	38.9 deg
อัตราขยายของสายอากาศ	0.59 dBi	-1.15 dBi	-7.07 dBi

3.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการออกแบบและการจำลองผลของสายอากาศ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณตามทฤษฎี เพื่อหาค่าขนาดของสายอากาศเริ่มต้น และทำการปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ตามข้อกำหนดของ กสทช. ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการจำลองผลจะประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า $|S_{11}| \leq -10$ dB ตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz เพื่อที่จะรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยมีสัญญาณสะท้อนกลับมาต่ำ หรืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ 455 MHz ถึง 920 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางในระนาบ xy ส่วนความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz มีค่าเท่ากับ 121.8 deg, 140.0 deg และ 38.9 deg ตามลำดับ อัตราขยายของสายอากาศอยู่ที่ 0.59 dBi -1.15 dBi และ -7.07 dBi ที่ความถี่ 470 MHz, 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

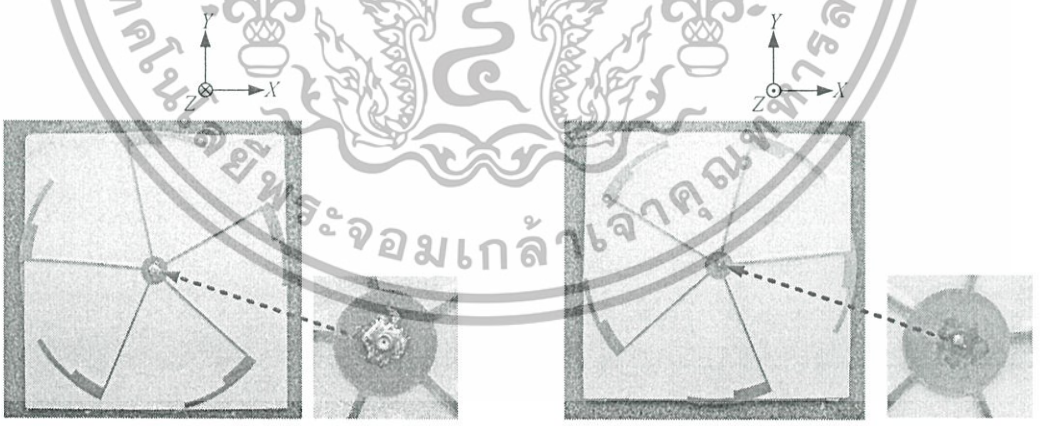
บทที่ 4
การทดสอบ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ซึ่งจะพิจารณาคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xy และ xz และอัตราขยายของสายอากาศ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างสายอากาศที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 และนำผลจากการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ มาทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องระหว่างผลที่ได้จากการจำลองและการทดสอบดังที่จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2 สายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้นำเสนอสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล เพื่อยืนยันความถูกต้องจากผลการจำลอง โดยสายอากาศดังกล่าวมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ครอบคลุมช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ยูเอชเอฟ และมีแบนด์วิดธ์อย่างน้อย 493 MHz ตามข้อกำหนดของ DVB-T2 และมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล ของ กสทช. โดยสายอากาศชนิดนี้ถูกออกแบบด้วยแผ่นทองเหลือง ที่มีความหนา 1 mm และใช้คอนเนคเตอร์ต่อร่วมกับสายนำสัญญาณ 75Ω โดยโครงสร้างของสายอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



(ก) ด้านล่าง (ข) ด้านบน

รูปที่ 4.1 โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบ

การทดสอบคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เพื่อทดสอบสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล มีดังนี้

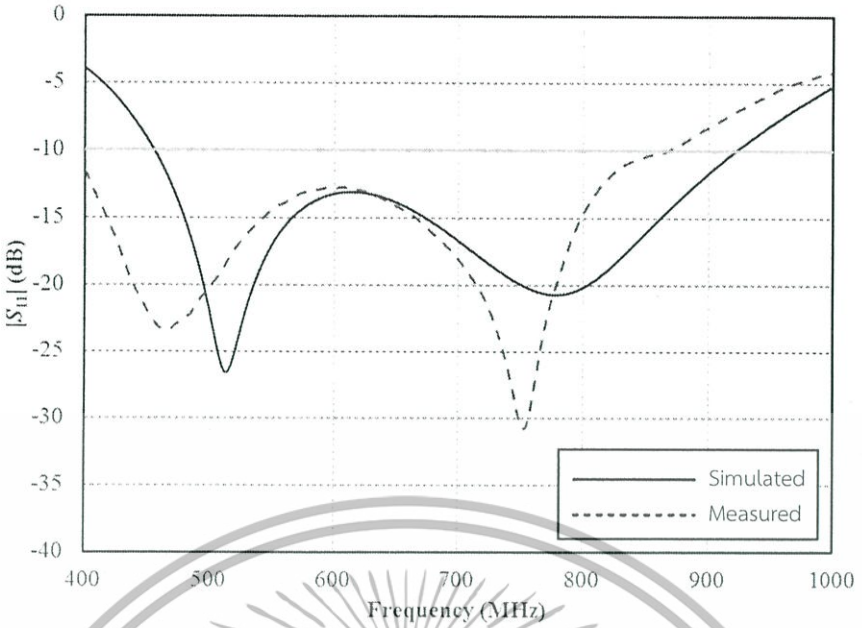
- ห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Microwave anechoic chamber)
- เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network analyzer) รุ่น HP-8720C
- สายนำสัญญาณอิมพีแดนซ์ 50Ω
- บาลัน 50Ω/75Ω

4.3.1 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$

การทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ ทำได้โดยนำสายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันเชื่อมต่อเข้ากับสายนำสัญญาณและพอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายตามลำดับ โดยก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศเพื่อที่จะทดสอบนั้น จะทำการปรับเทียบให้กับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยการปรับเทียบดังกล่าวจะอยู่ที่ปลายสายของสายนำสัญญาณเพื่อลดการสูญเสียระหว่างสายนำสัญญาณที่อาจจะส่งผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ โดยการทดสอบ $|S_{11}|$ จะมีวิธีการติดตั้งสายอากาศร่วมกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยสายนำสัญญาณจะมีการเชื่อมต่อที่ด้านหลังของสายอากาศ และผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.2 การทดสอบคุณลักษณะ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบและการจำลองมีความสอดคล้องกัน โดยผลการทดสอบของค่า $|S_{11}|$ มีค่าน้อยกว่า -10 dB โดยมีช่วงความถี่ที่ตั้งแต่ 404 MHz ถึง 871 MHz และมีแบนด์วิดธ์ เท่ากับ 467 MHz ซึ่งยังมีความคลาดเคลื่อนทางความถี่เกิดขึ้น กล่าวคือ ความถี่เกิดการเลื่อนลงมา ส่งผลให้ช่วงความถี่ของสายอากาศที่นำมาทดสอบเลื่อนต่ำลงมาจากผลที่ได้จากการจำลอง อันเนื่องมาจากการจำลองของสายอากาศในโปรแกรมจำลองไม่มีการออกแบบในส่วนของคอนเนคเตอร์เชื่อมต่อสัญญาณ ที่ไม่ทราบคุณสมบัติของวัสดุและอุปกรณ์ภายใน จึงยากที่จะทำการออกแบบในโปรแกรมเพื่อจำลองร่วมกับสายอากาศ อีกทั้งขั้นตอนของการสร้างสายอากาศอาจมีความคลาดเคลื่อน อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่ทำการออกแบบยังคงมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตรงตามข้อกำหนดของ DVB-T2 และมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลของ กสทช. ที่กำหนดไว้

4.3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

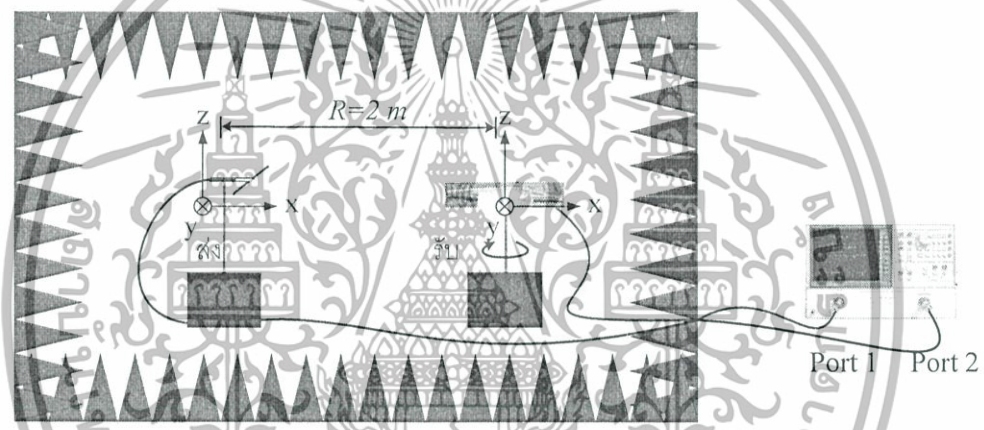
ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน ซึ่งแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ทดสอบได้จะเป็นของสายอากาศภาครับ และใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศภาคส่ง เนื่องจากสายอากาศไดโพลมาตรฐาน มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและโพลาไรซ์ที่แน่นอน จึงเหมาะสมกว่าที่จะใช้สายอากาศคู่เหมือนในการทดสอบ เนื่องจากยังไม่ทราบถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและโพลาไรซ์ โดยการติดตั้งสายอากาศภาคส่งและภาครับสำหรับทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะต้องมีระยะห่างมากพอที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะคงที่ หรือเรียกระยะดังกล่าวนั้นว่า ระยะสนามระยะไกล (Far-field : R) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$R \geq \frac{2\left(D^2\right)}{\lambda} \tag{4.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ D คือ มิติยาวที่สุดของสายอากาศ (m)

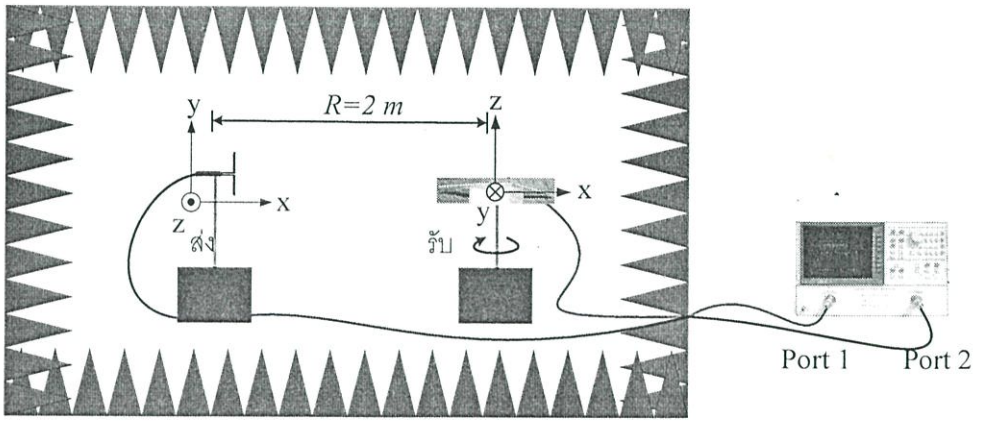
โดยการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันจะทดสอบในห้องไร้การสะท้อนคลื่น ซึ่งเป็นห้องที่มีสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงช่องว่างอิสระ (Free space) มากที่สุด โดยการติดตั้งสายอากาศเพื่อทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จะต้องทำการเชื่อมต่อสายอากาศภาคส่งเข้าที่พอร์ต 1 และเชื่อมต่อสายอากาศภาครับเข้าที่พอร์ต 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.6 จากรูปดังกล่าวแสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาไรซ์ร่วมในระนาบ xy และในระนาบ xz ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 4.4 และ 4.7 จะเป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาไรซ์ร่วมในระนาบ xy และในระนาบ xz ตามลำดับ โดยจะพิจารณาที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 ซึ่งการวางแกนในการทดสอบสายอากาศโพลาไรซ์แนวนอนรอบตัวโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสามารถอ้างอิงได้จากรูปที่ 4.1 โดยผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเปรียบเทียบกับผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xy

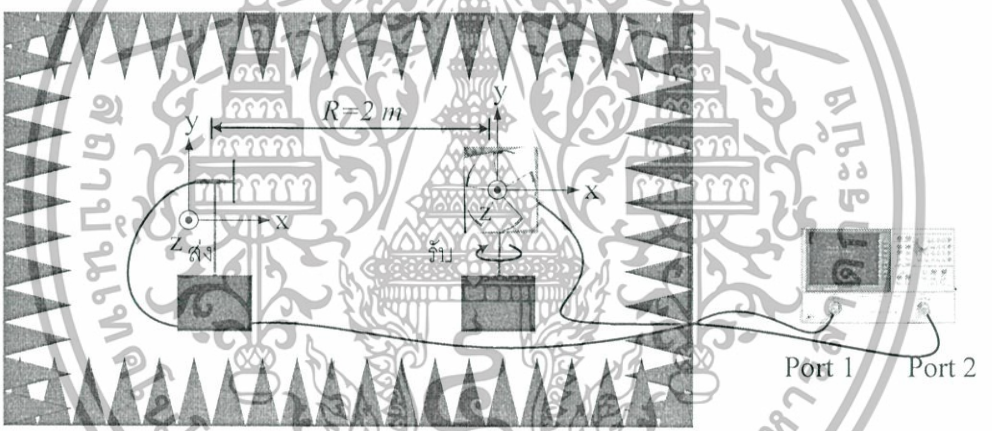
จากรูปที่ 4.4 จะเป็นการแสดงวิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xy สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวนอน ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 4.1 จะวางในแนวนอน จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xy

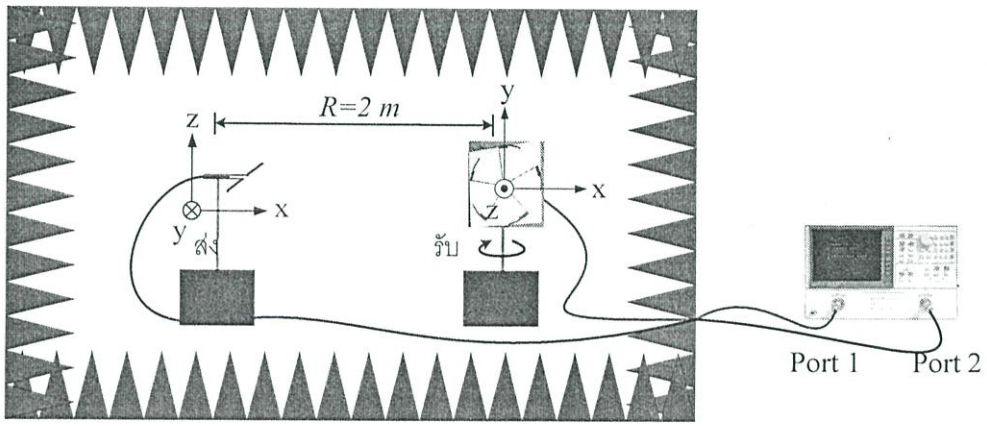
จากรูปที่ 4.5 จะเป็นการแสดงวิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xy สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวตั้ง ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 4.1 จะวางในแนวนอน จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$



รูปที่ 4.6 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xz

จากรูปที่ 4.6 จะเป็นการแสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xz สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวตั้ง ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 4.1 จะวางในแนวตั้งเหมือนกัน จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$

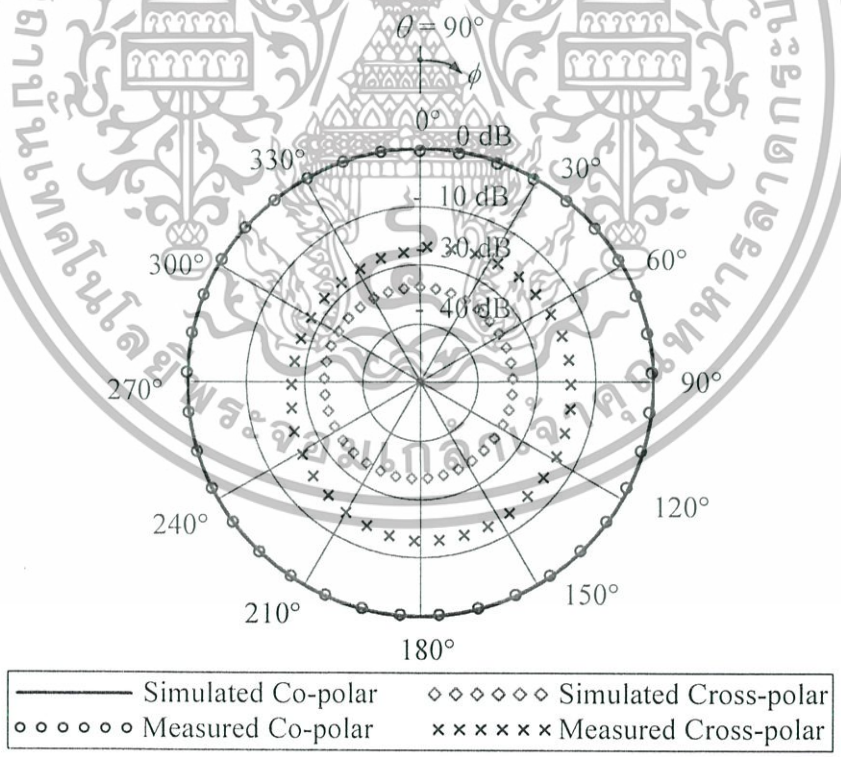
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xz

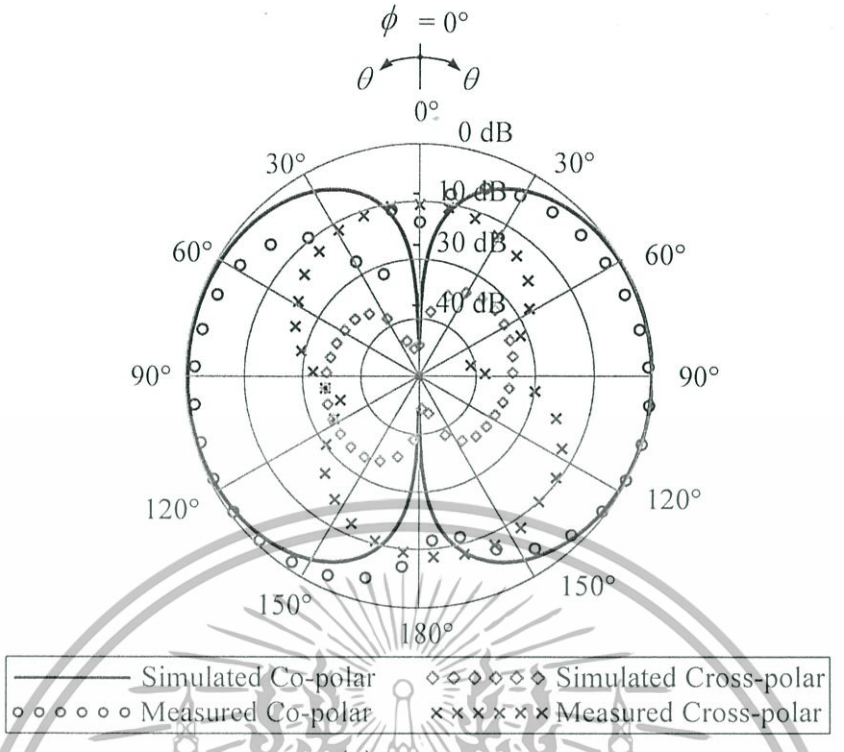
จากรูปที่ 4.7 จะเป็นการแสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xz สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวนอน ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 4.1 จะวางในแนวตั้ง จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$

จากการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นทั้ง 4 แบบ นั้นจะได้ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเปรียบเทียบกับผลการจำลองซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.10



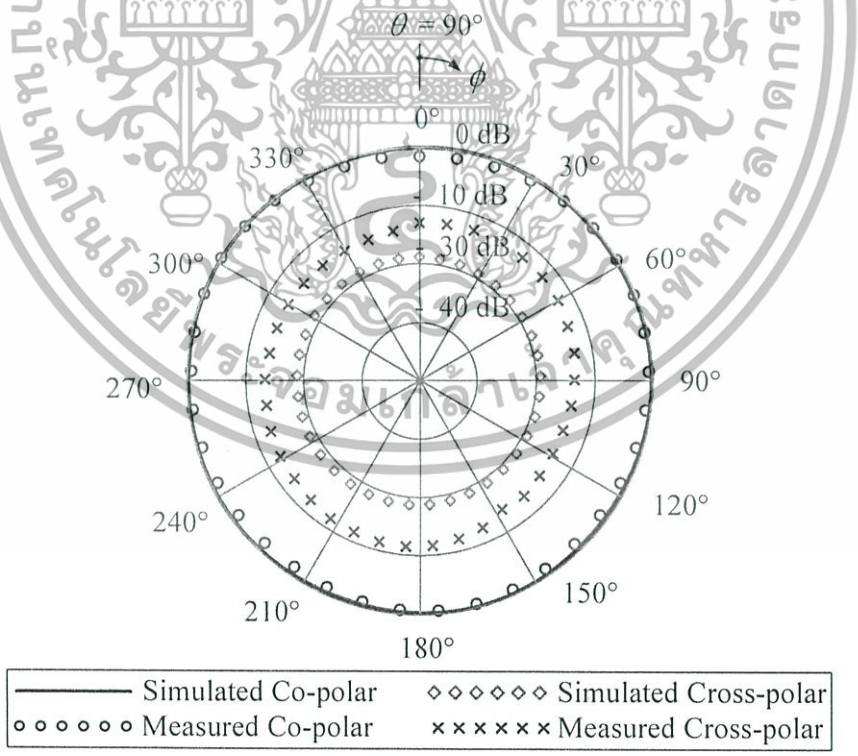
(ก) ระนาบ xy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



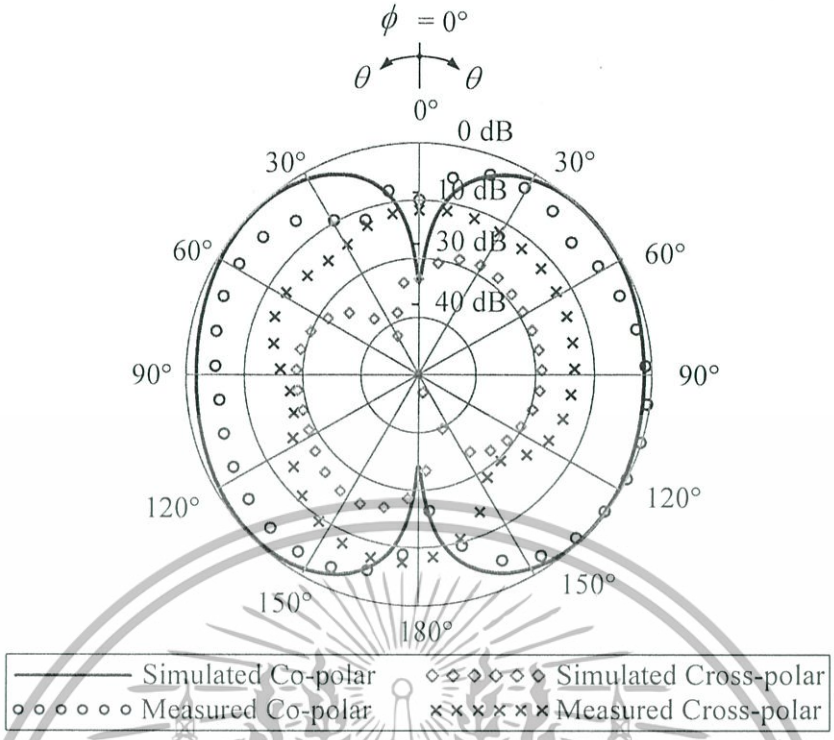
(ข) ระนาบ xz

รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลอง และผลการทดสอบที่ความถี่ 470 MHz



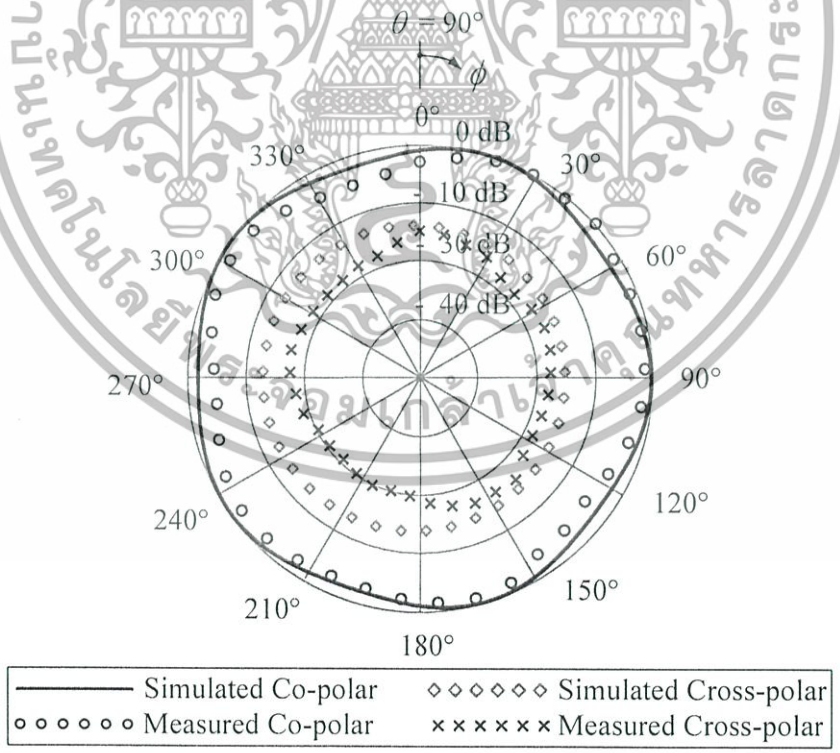
(ก) ระนาบ xy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



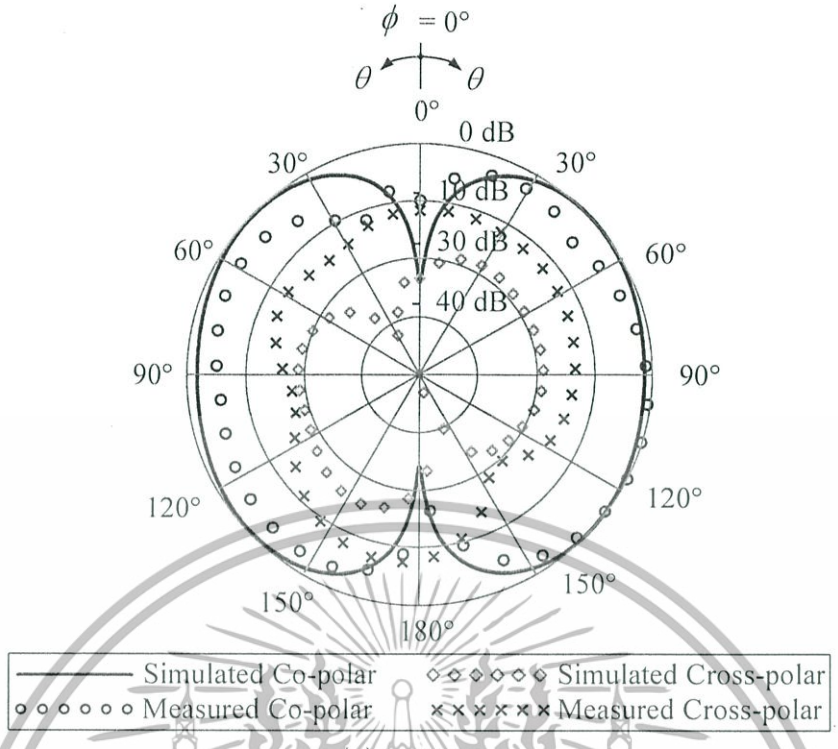
(ข) ระนาบ xz

รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบที่ความถี่ 666 MHz



(ก) ระนาบ xy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ระนาบ xz

รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลอง และผลการทดสอบที่ความถี่ 862 MHz

จากรูปที่ 4.8 ถึง 4.10 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xy และ ระนาบ xz ตามลำดับ ซึ่งเป็นการแสดงผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม และแบบโพลาไรซ์ไขว้ ซึ่งผลที่ได้นั้นพบว่า กำลังงานที่รับได้จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้นั้น มีค่าน้อยกว่ากำลังงานที่รับได้จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม 20 dB จึงสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันเป็นสายอากาศที่มีโพลาไรซ์เป็นเชิงเส้นแนวนอน และพบว่าผลการจำลองและผลการทดสอบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้ มีความสอดสอดคล้องกัน และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีทิศทางที่แพร่กระจายแบบรอบทิศทางในระนาบ xy ได้ดี โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz เป็นแบบรอบตัวในระนาบ xy โดยมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz เป็น 121.8 องศา 140 องศา และ 38.9 องศา ตามลำดับ

4.3.3 อัตราขยาย (Gain)

สำหรับการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสามารถใช้วิธีการติดตั้งดังรูปที่ 4.4 แต่จะไม่มีการหมุนที่สายอากาศภาครับ โดยใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศภาคส่ง ที่มีอัตราขยายเท่ากับ 2 dBi และใช้สายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันเป็นสายอากาศภาครับเพื่อทดสอบหาอัตราขยาย ซึ่งอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 และผลการทดสอบอัตราขยายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(G_{0t})_{dB} + (G_{0r})_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{P_r}{P_t}\right) \quad (4.2)$$

เมื่อ G_{0t} คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (dBi)

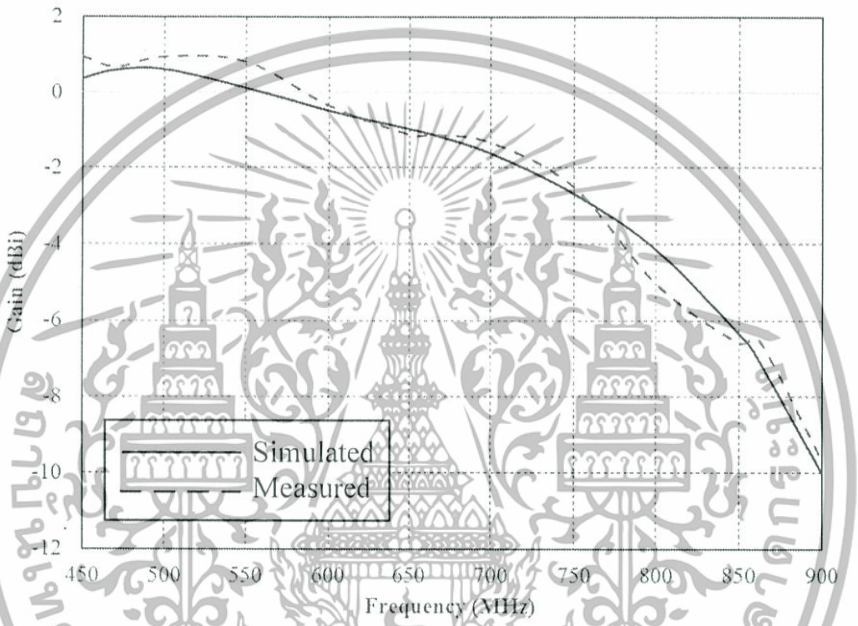
G_{0r} คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (dBi)

R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ (m)

λ คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน (m)

P_t คือ กำลังของภาคส่ง (W)

P_r คือ กำลังของภาครับ (W)



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน โดยที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ผลการทดสอบมีอัตราขยาย 0.67 dBi -1.14 dBi และ -6.52 dBi ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มของอัตราขยายของสายอากาศที่ลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น โดยมีความสอดคล้องกันระหว่างผลจากการจำลองและผลจากการทดสอบ ซึ่งสังเกตได้ว่าผลการทดสอบมีการกระเพื่อมเล็กน้อย โดยสาเหตุอาจจะเกิดจากสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเกิดการสูญเสียระหว่างคอนเนคเตอร์และสายนำสัญญาณ ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

โดยผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสามารถสรุปไว้ในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน

คุณลักษณะของสายอากาศ	ผลการทดสอบ		
ความถี่ที่ออกแบบ	470 MHz	666 MHz	862 MHz
$\|S_{11}\|$	-11.02 dB	-14.59 dB	-14.90 dB
แบนด์วิดธ์	404 MHz ถึง 871 MHz		
โพลาไรซ์	เชิงเส้นแนวนอน		
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	รอบทิศทางในระนาบ xy	รอบทิศทางในระนาบ xy	รอบทิศทางในระนาบ xy
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz	100 องศา	70 องศา	40 องศา
ความแตกต่างระหว่างกำลังงานที่แพร่กระจายได้มากที่สุดและน้อยที่สุด	0.56 dB	1.69 dB	3.06 dB
อัตราขยายของสายอากาศ	0.67 dBi	-1.14 dBi	-6.52 dBi

4.4 สรุป

จากการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ประกอบไปด้วยค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โพลาไรซ์ และอัตราขยายของสายอากาศ โดยนำผลที่ได้จากการจำลองที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 มาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 นี้ พบว่าผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับผลการจำลอง และเมื่อพิจารณาคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากผลการทดสอบยังมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการจำลองของสายอากาศไม่ได้มีการออกแบบอุปกรณ์คอนเนคเตอร์ และอาจเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างขั้นตอนการสร้างสายอากาศ แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศต้นแบบสามารถนำไปใช้งานที่ช่วงความถี่ของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้ โดยมีช่วงความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 404 MHz ถึง 871 MHz และมีแบนด์วิดธ์ 467 MHz ซึ่งมากพอสำหรับการประยุกต์ใช้งานตามข้อกำหนดของ กสทช. และการพิจารณาถึงคุณลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่พิจารณาที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ พบว่าที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้ง 3 ความถี่ดังกล่าวมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันระหว่างผลการทดสอบและผลการจำลอง โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบ xy ทั้ง 3 ความถี่มีความแตกต่างของกำลังที่แพร่กระจายได้สูงสุดและต่ำสุดมากเกิน 3 dB จึงสามารถจะกล่าวได้ว่าสายอากาศต้นแบบมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางในระนาบ xy และผลการทดสอบยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ที่มีสาเหตุมาจากการเชื่อมต่อของสายนำสัญญาณที่ด้านหลังของสายอากาศ ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสายนำสัญญาณร่วมกับสายอากาศภาครับและภาคส่ง และการส่งสัญญาณที่มาจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะต้องผ่านสายนำสัญญาณมาสู่สายอากาศ ที่มีจุดเชื่อมต่อกันระหว่างคอนเนคเตอร์อยู่มาก โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบสำหรับความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz เป็นแบบรอบตัวในระนาบ xy โดยมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz เป็น 121.8 องศา 140 องศา และ 38.9 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว และมีอัตราขยายในช่วงความถี่ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz พบว่าผลการทดสอบและผลการจำลองมีความสอดคล้องกัน เมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้นอัตราขยายของสายอากาศจะลดลง โดยมีอัตราขยายน้อยที่สุดและมากที่สุดคือ -6.52 dBi และ 0.67 dBi ตามลำดับ ตลอดช่วงความถี่ที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การประยุกต์ใช้งาน

5.1 บทนำ

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในขณะนี้สามารถรับสัญญาณได้ เนื่องจากขณะนี้มีการทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลบ้างแล้ว โดยรับสัญญาณโดยใช้สายอากาศต้นแบบ และเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล (Set Top Box) จากนั้นเชื่อมต่อเข้ากับโทรทัศน์ เพื่อดูผลกระทบเมื่อทำการรับสัญญาณจริงซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 5.2 นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลกระทบของสายอากาศดังกล่าว โดยทำการจำลองติดตั้งสายอากาศบนรถยนต์ ซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 5.3

5.2 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

สำหรับการทดสอบการใช้งานรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล ได้ทดสอบรับสัญญาณบริเวณพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอลจากสถานีเครื่องส่งโทรทัศน์และซ่อมบำรุงช่อง 9 อสมท จังหวัดขอนแก่น ได้ทดลองออกอากาศในช่อง 44 ความถี่ 658 MHz ระบบ DVB-T2 ด้วยกำลังส่ง 3 kW ครอบคลุมพื้นที่บริเวณรัศมีไม่เกิน 30 km ดังรูปที่ 5.1

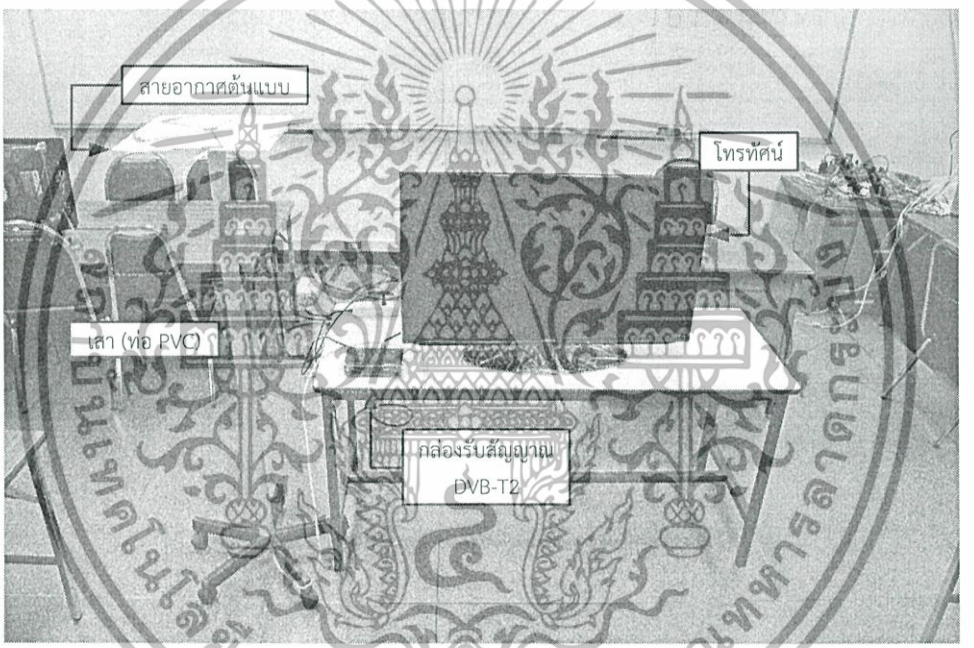
รูปที่ 5.1 พื้นที่บริเวณรัศมีทดลองออกอากาศโทรทัศน์ดิจิตอลโดยสถานีเครื่องส่งโทรทัศน์และซ่อมบำรุง อสมท จังหวัดขอนแก่น
(http://dtv.mcot.net/data/up_show.php?id=1380764708&web=reportdtv)

การทดสอบการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล โดยทำการติดตั้งสายอากาศ อุปกรณ์ต่อพ่วง และเครื่องรับโทรทัศน์ ตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5.2 ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศ กล่องรับสัญญาณ DVB-T2 และเครื่องรับโทรทัศน์

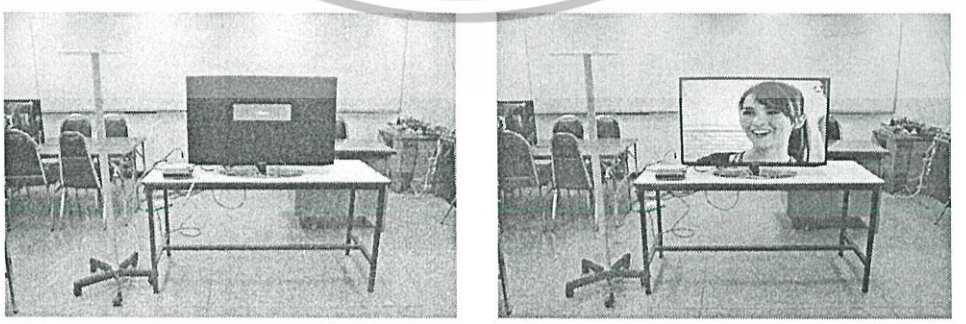
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 การต่ออุปกรณ์ทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

จากนั้นทำการติดตั้งสายอากาศเข้ากับเสา ที่ทำด้วยท่อ PVC และต่อสายนำสัญญาณโคแอกเชียลอิมพีแดนซ์ 75Ω ต่อเข้ากับสายอากาศต้นแบบ จากนั้นนำสายนำสัญญาณโคแอกเชียล 75Ω ต่อออกจากบาลันไปยังกล่องรับสัญญาณ DVB-T2 จากนั้นต่อสายนำสัญญาณจากกล่องรับสัญญาณ DVB-T2 เข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์แบบ LED ขนาด 40 นิ้ว ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 อุปกรณ์สำหรับทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล



(ก) (ข)

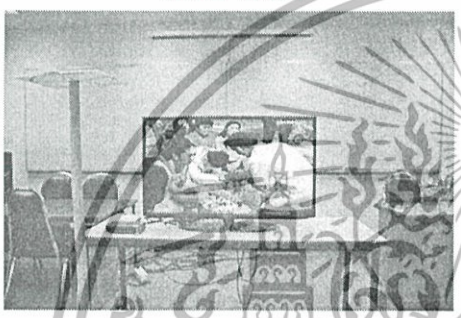
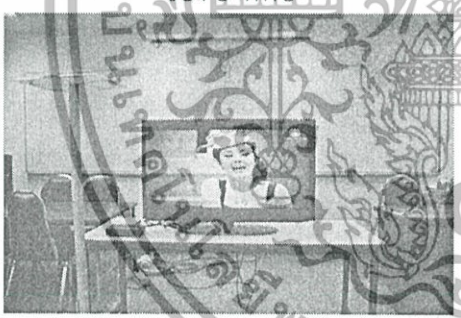
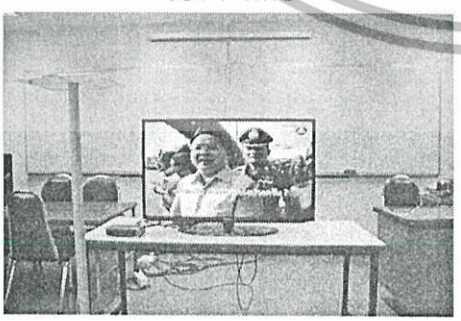
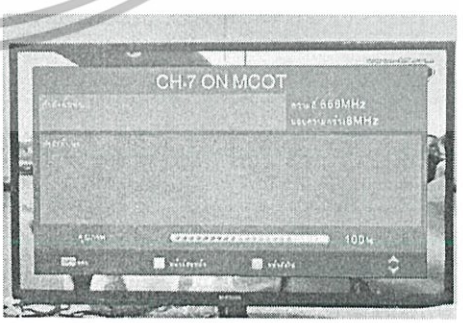
รูปที่ 5.4 การติดตั้งสายอากาศและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล
(ก) เมื่อไม่ต่อสายอากาศ (ข) เมื่อต่อสายอากาศต้นแบบเข้ากับกล่องรับสัญญาณ DVB-T2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.4 เมื่อไม่ทำการต่อสายอากาศเข้ากับกล่องรับสัญญาณ DVB-T2 จะไม่สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้และจากนั้นดำเนินการต่อสายอากาศที่นำเสนอเข้ากับกล่องรับสัญญาณ DVB-T2 พบว่าสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอลได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

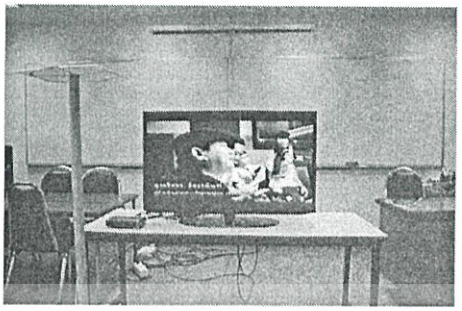
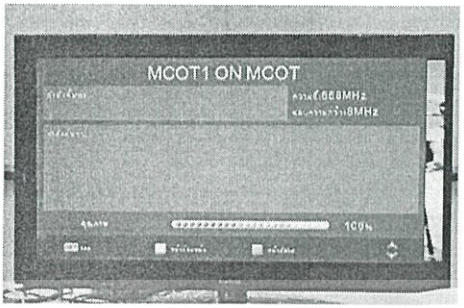
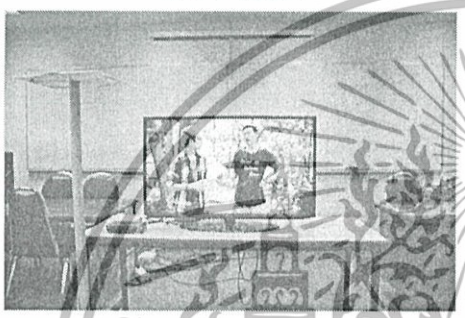
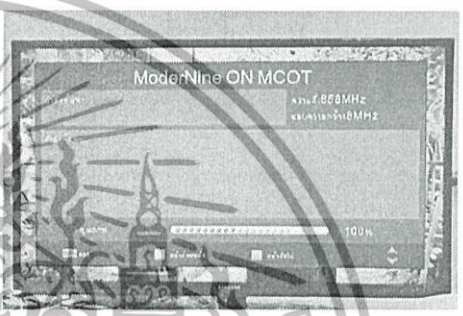
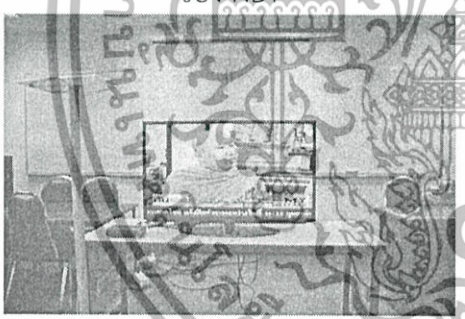
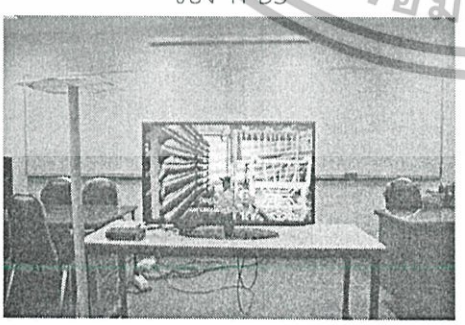
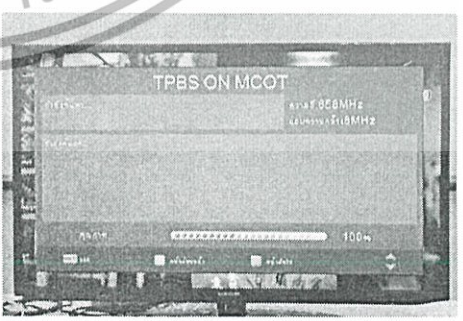
จากการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่จังหวัดขอนแก่น จากสถานีส่งของช่อง 9 อสมท. ได้ทดลองส่งสัญญาณในความถี่ 658 MHz โดยความถี่ดังกล่าวมีทั้งหมด 8 ช่อง หรือ 8 รายการ คือ ช่อง 3 อสมท ช่อง 5 ททบ ช่อง 7 ททบ ช่อง MCOT1 ช่อง 9 อสมท ช่อง NBT ช่อง TPBS และช่อง TPBS แบบ HD ซึ่งทุกช่องสามารถรับสัญญาณได้ดี โดยมีคุณภาพในการรับสัญญาณ 100%

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล

การรับสัญญาณโทรทัศน์	ข้อมูลการรับแต่ละช่องสัญญาณ
ช่อง 3 อสมท 	
ช่อง 5 ททบ 	
ช่อง 7 ททบ 	

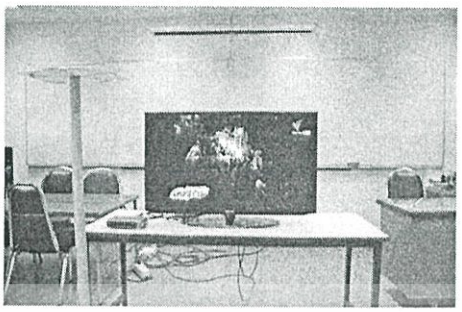
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล (ต่อ)

การรับสัญญาณโทรทัศน์	ข้อมูลการรับแต่ละช่องสัญญาณ
ช่อง MCOT1 	
ช่อง 9 อสมท 	
ช่อง NBT 	
ช่อง TPBS 	

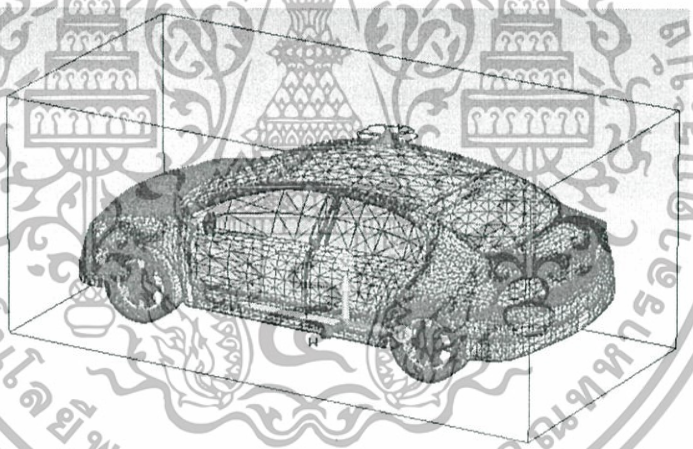
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล (ต่อ)

การรับสัญญาณโทรทัศน์	ข้อมูลการรับแต่ละช่องสัญญาณ
ช่อง TPBS แบบ HD 	

5.3 การจำลองสายอากาศด้วยการติดตั้งบนรถยนต์

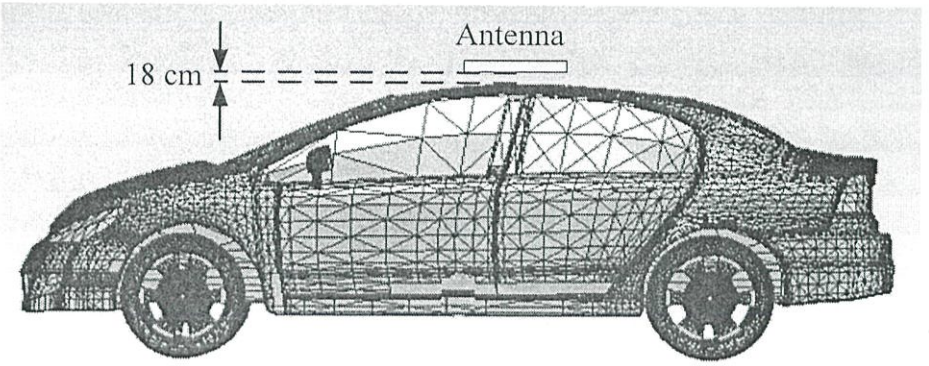
ในหัวข้อนี้จะแสดงการจำลองสายอากาศรอบตัวไพลาไรซ์แนวนอน โดยทำการจำลองติดตั้งสายอากาศบนรถยนต์ และทำการศึกษาค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยาย เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของสายอากาศดังกล่าว จากนั้นเปรียบเทียบกับผลการจำลอง และผลการทดสอบ ในช่วงความถี่ของระบบโทรทัศน์ระบบดิจิตอล คือ 470 MHz ถึง 862 MHz



รูปที่ 5.5 การจำลองสายอากาศขณะติดตั้งบนรถยนต์

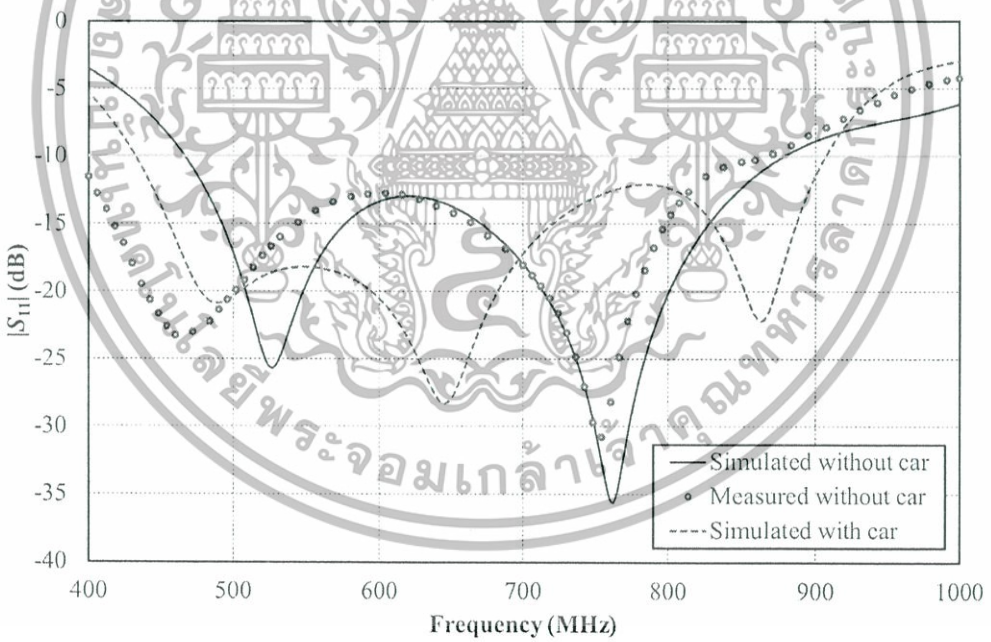
จากรูปที่ 5.5 เป็นการจำลองสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ก่อนหน้านี้ และทำการติดตั้งสายอากาศบนรถ โดยพารามิเตอร์โครงสร้างของสายอากาศยังคงใช้ค่าเดิม ตามตารางที่ 3.6 การจำลองสายอากาศดังกล่าว พบว่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญ คือโครงสร้างของรถยนต์ เพราะมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยาย เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ยังศึกษาพบว่าระยะการวางสายอากาศเข้าใกล้กับบริเวณรถยนต์ ค่า $|S_{11}|$ ซึ่งยังอยู่ในย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล คือ 18 cm ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับรถ

ในรูปที่ 5.7 เป็นแสดงผลการเปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$ <-10 dB จากการจำลองสายอากาศที่ติดตั้งบนรถยนต์ ให้ผลตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 430 MHz ถึง 903 MHz และจากการจำลองสายอากาศแบบไม่มีรถยนต์ จะให้ผลตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 442 MHz ถึง 875 MHz ส่วนผลการทดสอบแบบไม่ได้ติดตั้งบนรถยนต์ ให้ผลตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 404 MHz ถึง 871 MHz จะเห็นว่าผลการจำลองสายอากาศบนรถยนต์นั้น ทำให้ค่า $|S_{11}|$ ได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก เนื่องจากได้รับผลกระทบจากโครงสร้างของรถยนต์ ที่มีขนาดใหญ่ แต่ยังสามารถที่จะตอบสนองอยู่ในช่วงความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้

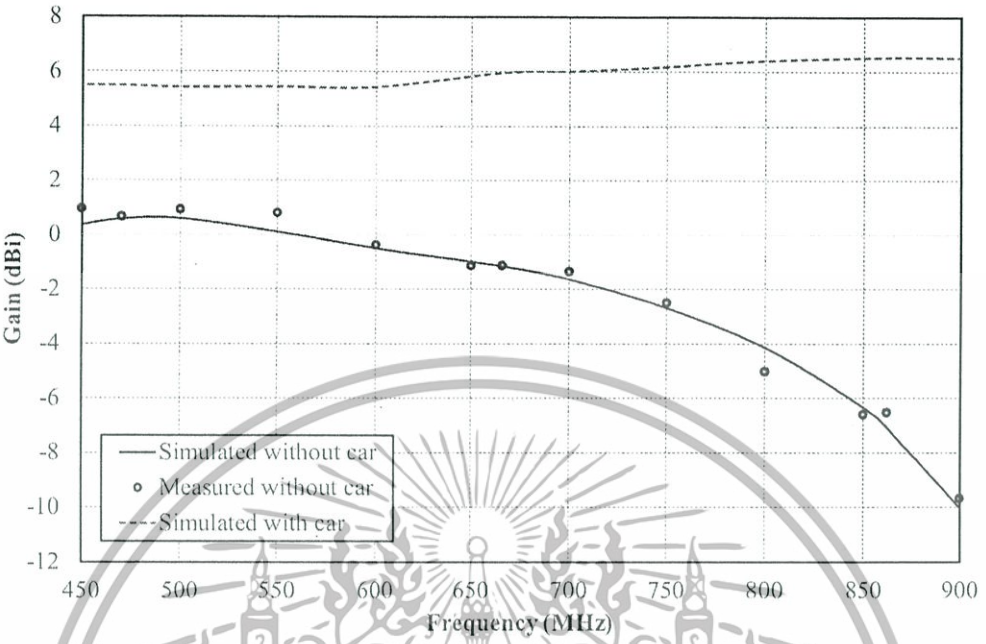


รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$ ระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถยนต์ ขณะติดตั้งบนรถยนต์ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถยนต์

จากรูปที่ 5.8 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบของอัตราขยายของสายอากาศตั้งแต่ความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz พบว่าสายอากาศที่จำลองบนรถยนต์ มีอัตราขยาย 5.49 dBi ถึง 6.54 dBi และจำลองเฉพาะสายอากาศอย่างเดียว พบว่ามีอัตราขยาย -7.07 dBi ถึง 0.59 dBi ส่วนผลการทดสอบเฉพาะสายอากาศอย่างเดียวนั้น มีอัตราขยาย -6.52 dBi ถึง 0.67 dBi จะเห็นได้ว่าผลการ

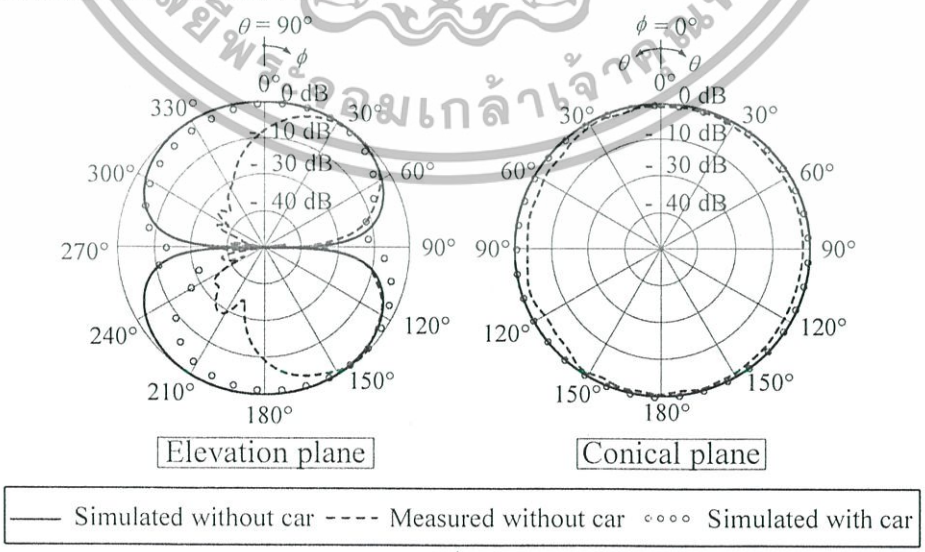
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำลองอัตราขยายของสายอากาศที่ติดตั้งบนรถยนต์นั้น มีอัตราขยายค่อนข้างสูงกว่า ผลการจำลองและทดสอบสายอากาศอย่างเดียว เนื่องจากได้รับผลกระทบจากโครงสร้างของรถยนต์



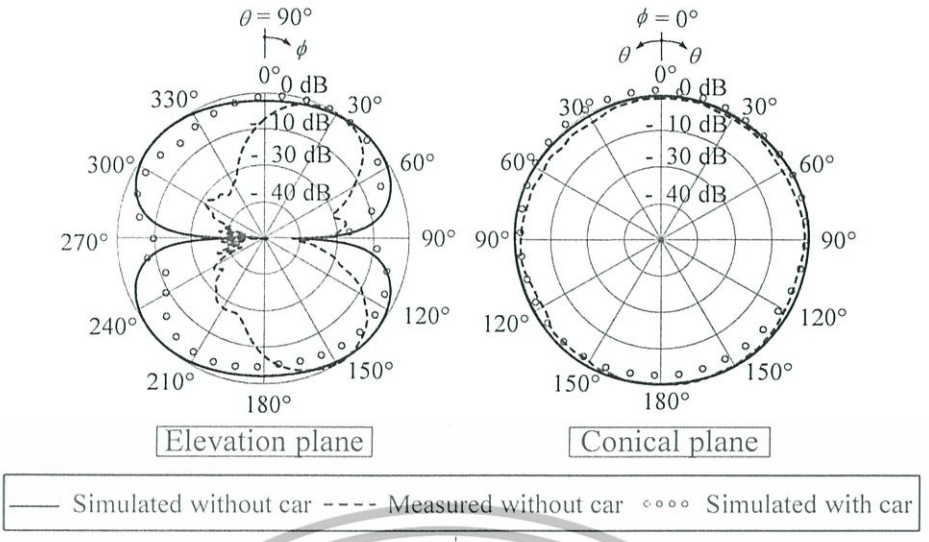
รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถยนต์ ขณะติดตั้งบนรถยนต์ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถ

จากรูปที่ 5.9 แสดงผลการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในแต่ละความถี่ของสายอากาศที่ได้จากการจำลองของสายอากาศอย่างเดียว และจำลองบนรถยนต์ รวมไปถึงเป็นการทดสอบของสายอากาศอย่างเดียว จะพบว่าเป็นการจำลองและผลการทดสอบของสายอากาศอย่างเดียวนั้น จะให้ลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัว ส่วนผลการจำลองของสายอากาศบนรถยนต์นั้น ลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นลำคลื่นรูปกรวย ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนของโครงสร้างรถ

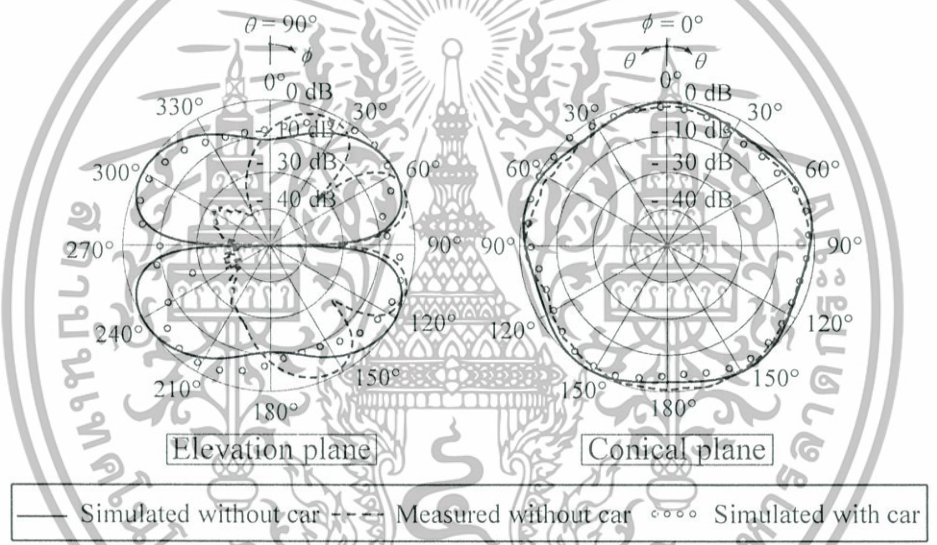


(ก) ความถี่ 470 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความถี่ 666 MHz



(ค) ความถี่ 862 MHz

รูปที่ 5.9 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถ ขณะติดตั้งบนรถ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถ

จากการจำลองคุณลักษณะของสายอากาศดังกล่าว โดยจำลองติดตั้งบนรถยนต์นั้น จะให้ผลตามที่กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งสามารถสรุปคุณลักษณะดังกล่าวไว้ในตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการจำลองคุณลักษณะของสายอากาศขณะติดตั้งสายอากาศบนรถยนต์

คุณลักษณะของสายอากาศ	ผลการจำลองขณะติดตั้งบนรถ		
ความถี่ที่ออกแบบ	470 MHz	666 MHz	862 MHz
$\|S_{11}\|$	-11.02 dB	-14.59 dB	-14.90 dB
แบนด์วิดธ์	430 MHz ถึง 903 MHz		
โพลาไรซ์	เชิงเส้นแนวนอน		
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	ลำคลื่นรูปกรวย	ลำคลื่นรูปกรวย	ลำคลื่นรูปกรวย
อัตราขยายของสายอากาศ	5.49 dBi	5.96 dBi	6.55 dBi

5.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการศึกษาการทดสอบการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่เป็นสัญญาณช่วงความถี่ 658 MHz โดยใช้สายอากาศต้นแบบ โดยวางสายอากาศในแนวขนานกับพื้นโลก พบว่าได้หนึ่งความถี่สามารถรับสัญญาณได้แบบช่อง และคุณภาพในการรับสัญญาณเท่ากับ 100% ส่วนผลการจำลองสายอากาศดังกล่าวเมื่อนำไปติดตั้งบนรถยนต์ พบว่าค่า $|S_{11}|$ ยังคงอยู่ในช่วงความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยมีอัตราขยายสูง และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบลำคลื่นรูปกรวย เนื่องมาจากเป็นผลจากโครงสร้างของรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

รายงานนี้นำเสนอสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยมีวัตถุประสงค์สำหรับการออกแบบสายอากาศคือ น้ำหนักเบา ราคาถูก สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้รอบทิศทาง และมีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับติดตั้งในอาคาร โดยเริ่มจากการหาค่าขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และทำการปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศเพื่อให้คุณลักษณะของสายอากาศนั้น สอดคล้องกับมาตรฐาน DVB-T2 ตามข้อกำหนดของ กสทช. เพื่อทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบสำหรับใช้งานจริงต่อไป

ในบทนี้จะแบ่งหัวข้อหลักออกเป็น 2 หัวข้อ โดยในหัวข้อแรกจะกล่าวถึง พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน รวมไปถึงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองและผลที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศ ในส่วนที่สองนั้นจะเป็นการเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.1 สรุปเนื้อหาของรายงาน

รายงานนี้ได้อธิบายถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศในช่วงความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิตอล รวมไปถึงวิธีการออกแบบสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO [13] ในการจำลองผลเพื่อหาค่าขนาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสม ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความเหมาะสมนั้น จะถูกนำไปใช้สำหรับการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ และนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป

มาตรฐานของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ตามที่ กสทช. กำหนดนั้น ถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงความถี่ที่ใช้งาน คือ ย่านความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz ซึ่งในงานรายงานนี้ จะนำเสนอวิธีการออกแบบสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน ซึ่งมีคุณลักษณะของสายอากาศที่มีเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบดังกล่าว โดยการออกแบบจะมุ่งเน้น ให้สายอากาศมีน้ำหนักเบา เพื่อง่ายต่อการติดตั้ง และสายอากาศดังกล่าวสามารถรับสัญญาณได้รอบทิศทาง

การออกแบบสายอากาศสำหรับการจำลองผลนั้น เริ่มจากการคำนวณขนาดเริ่มต้นตามทฤษฎีของสายอากาศไดโพล จากนั้นทำการปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศ ให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ตามข้อกำหนดของ DVB-T2 โดยสายอากาศรอบตัวโพลาไรซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกันนั้น สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมีช่วงความถี่ที่ค่า $|S_{11}| \leq -10$ dB ตั้งแต่ 404 MHz จนถึง 872 MHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับผลการจำลอง อันเป็นผลมาจากการกระจายของกระแสที่ผิวของแผ่นวงแหวนทั้งสองข้างที่ใกล้เคียงกัน ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.18 ถึง 3.20 โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 460 MHz มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 862 MHz เป็นแบบรอบตัวในระนาบ xy โดยมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz เป็น 121.8 องศา 140 องศา และ 38.9 องศา ตามลำดับ และมีอัตราขยายเป็น 0.67 dBi -1.14 dBi และ -6.52 dBi ที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความเหมาะสมจากตารางที่ 3.6 มาทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์ และอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ พบว่าค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการทดสอบนั้นมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลอง แม้ว่าลักษณะกราฟ $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบจะมีความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่ได้จากการจำลองเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากความความคลาดเคลื่อนระหว่างขั้นตอนการสร้างสายอากาศ รวมไปถึงผลที่ได้การจำลองสายอากาศนั้น ยังไม่ได้มีการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการอุปกรณ์คอนเนคเตอร์ อย่างไรก็ตามสายอากาศต้นแบบก็ยังมีแบนด์วิดธ์ที่กว้างถึง 467 MHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 404 MHz ถึง 871 MHz ซึ่งมีค่าที่มากเพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานตามข้อกำหนดของ กสทช.

จากนั้นทำการทดสอบสายอากาศ โดยการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ซึ่งจะทำการต่อสายอากาศเข้ากับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล และต่อเข้ากับโทรทัศน์ พบว่าสามารถรับสัญญาณได้จริง

และมีการจำลองเพิ่มเติมโดยนำสายอากาศดังกล่าวไปติดตั้งบนรถ และทำการจำลองด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO [13] พบว่าพารามิเตอร์ |S11| เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ยังคงอยู่ในช่วงความถี่ที่ใช้งานของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล สายอากาศมีอัตราขยายเพิ่มสูงขึ้น และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบลำคลื่นรูปกรวย

จากการเปรียบเทียบสายอากาศที่นำเสนอ กับงานวิจัยของสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่มีมาก่อน พบว่าสายอากาศที่มีการวิจัยมาก่อน ส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง และมีโพลาไรซ์แนวตั้ง ยกเว้นสายอากาศแบบเกลียวสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [5] ที่มีโพลาไรซ์แนวนอน และมีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว แต่สายอากาศดังกล่าวมีอัตราขยายน้อย คือ -19 dBi ถึง 12 dBi จากการศึกษาและวิจัยสายอากาศที่ได้นำเสนอพบว่าสายอากาศดังกล่าวมีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง มีโพลาไรซ์แนวนอน มีอัตราขยาย -6.52 dBi ถึง 0.67 dBi ซึ่งจะเห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน และมีอัตราขยายที่มากกว่า ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1 และเมื่อนำสายอากาศอากาศที่นำเสนอไปทดลองบนรถยนต์ พบว่าสายอากาศมีอัตราขยายเท่ากับ 5.49 dBi ถึง 6.55 เนื่องจากมีการสะท้อนจากโครงสร้างของรถยนต์ ดังที่ได้มีการอธิบายไว้ก่อนหน้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบสายอากาศที่นำเสนอ กับงานวิจัยสายอากาศโทรทัศน์ดิจิตอลที่มีมาก่อน

ผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	ขนาดของสายอากาศ (mm)	ช่วงความถี่ใช้งาน (MHz)	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	โพลาไรซ์	อัตราขยาย (dBi)
สายอากาศไดโพลพับโหลดด้วยตัวเก็บประจุและสตับสำหรับรับโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดิน [1]	15x280x0.125	470 ถึง 950	สองทิศทาง	เชิงเส้นแนวนอน	0.7 ถึง2.5
สายอากาศโมโนโพลไมโครสติป พร้อมระนาบกราวนด์ สำหรับประยุกต์ใช้งานโทรทัศน์ดิจิตอล [2]	114x25x3	459 ถึง 891	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	1.5 ถึง 2.1
สายอากาศไดโพลที่มีจุดป้อนสัญญาณเป็นช่องว่างสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [3]	20x227x0.4	470 ถึง 806	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	1.5 ถึง 2.8
สายอากาศโมโนโพลรูปอักษรตัวเจสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ [4]	91x62x1.6	440 ถึง 770	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	-
สายอากาศแบบเกลียวสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [5]	30x20x0.4	470 ถึง 862	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวนอน	-19 ถึง -12
สายอากาศ PIFA แบบสองย่านความถี่ สำหรับประยุกต์ในโทรทัศน์ระบบดิจิตอล และ WiMAX [6]	230x31x20	470 ถึง 862	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	2.7 ถึง 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบสายอากาศที่นำเสนอ กับงานวิจัยสายอากาศโทรทัศน์ดิจิตอลที่มีมาก่อน (ต่อ)

ผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	ขนาดของสายอากาศ (mm)	ช่วงความถี่ใช้งาน (MHz)	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	โพลาไรซ์	อัตราขยาย (dBi)
สายอากาศ EBG สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดิน [7]	3.5x25x2	470 ถึง 960	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวตั้ง	1.5 ถึง 3.6
สายอากาศแบบห่วงสำหรับ LTE และเครื่องเล่นแบบพกพาสำหรับรับสัญญาณย่านโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [8]	150x150x0.8	496 ถึง 862	สองทิศทาง	เชิงเส้นแนวนอน	3 ถึง 5
สายอากาศที่นำเสนอ	360x360x8	404 ถึง 871	รอบทิศทาง	เชิงเส้นแนวนอน	-6.52 ถึง 0.67
สายอากาศที่นำเสนอติดตั้งบนรถยนต์	360x360x8	430 ถึง 903	ลำคลื่นรูปกรวย	เชิงเส้นแนวนอน	5.49 ถึง 6.55

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากการศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศพบว่า โครงสร้างสายอากาศสามารถที่จะออกแบบให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ตลอดย่านความถี่ที่ใช้งานของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล แต่อัตราขยายของสายอากาศมีค่าน้อย อย่างไรก็ตามสายอากาศต้นแบบสามารถที่จะรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้ และการรับสัญญาณนั้นมีคุณภาพสัญญาณ 100% ซึ่งการทดลองของสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลนั้น จะอยู่ในรัศมี 10 km และเมื่อมีการนำสายอากาศวางอยู่ห่างจากสถานีส่งมากกว่า 10 km ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณจะมีคุณภาพที่ลดต่ำลง ซึ่งการแก้ไขของข้อบกพร่องดังกล่าวสามารถทำได้ โดยทำการออกแบบสายอากาศให้มีค่าอัตราขยายที่เพิ่มสูงขึ้น

ในรายงานฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและทดสอบสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจ สามารถที่จะนำไปพัฒนาเพื่อก่อให้เกิดความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] H. Iizuka, K. Sakakibara, and N. Kikuma, "Stub- and Capacitor-Loaded Folded Dipole Antenna for Digital Terrestrial TV Reception," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 1, pp.215-222, 2008.

[2] H. D. Chen, "Compact Broadband Microstrip-Line-Fed Sleeve Monopole Antenna for DTV Application and Ground Plane Effect," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.7, pp.497-500, 2008.

[3] Y. W.Chi, K. L.Wong, and S. W. Su, "Broadband Printed Dipole Antenna With a Step-Shaped Feed Gap for DTV Signal Reception," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.55, no.11, pp.3353-3356, 2007.

[4] S. Kashihara and F. Kuroki, "J-Shaped Monopole Antenna Array As an Antenna for Terrestrial Digital Broadcasting at UHF Band," *Microwave Symposium Digest*, pp.293-296, 2009.

[5] D. B. Lin, P. C.Tsai, I T.Tang, and P. S.Chen, "Spiral and Multimode Antenna Miniaturization for DTV Signal Receptions," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.9, pp.902-905, 2010.

[6] R. Caso, A. Serra, and P. Nepa, "An Integrated Dual-Band PIFA for DVB-T and WiMAX Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.10, pp.1027-1030, 2011.

[7] M. Sanad and N. Hassan, "An Internal EBG Antenna for Indoor Reception of UHF Terrestrial Digital TV Broadcasting," *Loughborough Antennas & Propagation Conference*, pp.289-292, 2010.

[8] A. N. Kulkarni and S. K. Sharma, "Frequency Reconfigurable Microstrip Loop Antenna Covering LTE Bands With MIMO Implementation and Wideband Microstrip Slot Antenna all for Portable Wireless DTV Media Player," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.61, no.2, pp.964-968, 2013.

[9] X. Quan and R. Li, "A Broadband Dual-Polarized Omnidirectional Antenna for Base Stations," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.61, no.2, pp.943-947, 2013.

[10] C. Jiang, X. W. Dai, and Y. C. Jiao, "A Novel Compact Horizontally Polarized Omni-directional Antenna," *Proceedings of International Symposium on Signal, Systems and Electronics (ISSSE2010)*, 2010.

[11] A. Chen, T. Jiang, Z. Chen, and D. Su, "A Novel Low-profile Wideband UHF Antenna," *Progress in Electromagnetics Research*, vol.121, pp.75-88, 2011.

[12] Y.-Yu, F. Jolani, and Z.-Chen, "A Wideband Omnidirectional Horizontally Polarized Antenna for 4G LTE Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.12, pp.686-689, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] CST-Microwave Studio, User's Manual, 2006.

[14] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, "มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล," เล่ม 129, หน้า 45, 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. รศ.ดร. ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
   Assoc.Prof.Dr. Chuwong Phongcharoenpanich
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3730100326364
3. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
   โทร. 023264111 ต่อ 3346 โทรสาร 023264554
   E-mail kpchuwon@kmitl.ac.th, pchuwong@gmail.com

4. ประวัติการศึกษา

สถานศึกษา	วุฒิ	สาขาวิชา	ปี (พ.ศ.)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.ด.	วิศวกรรมไฟฟ้า	2544
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	2541
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.บ.(เกียรตินิยมอันดับสอง)	วิศวกรรมโทรคมนาคม	2539

5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ตำแหน่ง	หน่วยงาน	ปี
อาจารย์ / รองศาสตราจารย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2542- ปัจจุบัน
ผู้ช่วยวิจัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2539- 2541

<u>ผลงานวิจัย</u>

ชื่อโครงการ	ปี
Propagation Modeling in Durian Orchard for Wireless Sensor Network	2551-ปัจจุบัน
Performance Enhancement of RFID Antennas for Animal Identification	2551-2552
Antenna for Wireless Sensor Network at 433 MHz	2550
Design of RF-ID Antennas for Animal Identification	2549-2550
Research and Development in 3rd Generation Mobile Telecommunication Systems	2547-2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ	ปี
A High Gain Antenna using Circular Ring above the Reflector for Wireless LAN System	2546-2547
Development of Dielectric Property Measurement for Export Quality Control	2545-2546
Steerable Spherical Slot Array Antenna	2540-2542

หนังสือ

ชื่อหนังสือ	ผู้แต่ง	สำนักพิมพ์/โรงพิมพ์	ปี
หลักการออกแบบสายอากาศของระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำสำหรับการจัดการฟาร์มและการลงทะเบียนสัตว์	ดนัย ต.รุ่งเรือง ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ศุภกิต แก้วดวงตา	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	2552

บทความวิชาการระดับนานาชาติ

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Design of a Novel Dual-Loop Gate Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) Systems at Low Frequency Band	S.Kawdungta C.Phongcharoenpanich D.Torrungrueng	Progress in Electromagnetics Research C	2553
A Two-Slot Array Antenna on a Concentric Sectoral Cylindrical Cavity Excited by a Coupling Slot	P.Wounchoum D.Worasawate C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	Progress in Electromagnetics Research	2551
Bidirectional Ultra-Wideband Antenna Using Rectangular Ring Fed By Stepped Monopole	S.Lamultree C.Phongcharoenpanich	Progress in Electromagnetics Research	2551
Dual-Band Microstrip-to-Coplanar Strip Balun Transition and Loop Antenna Application	K.Meelarpkit M.Chongcheawchamnan C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh L.B.Lok I.D.Robertson	IET Microwaves, Antennas & Propagation	2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
A Multibeam Antenna using Quasi-Optical Antenna-Mixers	S Janin K.Sripimanwat C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	AEU-International Journal of Electronics and Communications	2551
Characteristics of An Elliptical Ring Antenna Excited by A Linear Electric Probe	K.Chawanonphithak C.Phongcharoenpanich S.Kosulvit M.Krairiksh	International Journal of Electronics	2550
Probe-Fed Rectangular Ring Antenna with a Cross Strip for Low Cross Polarization	D.Srimoon C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	IEEE Trans. Antennas Propagat	2549
A Probe-Fed U-Shaped Cross-Sectional Antenna with Tuning Stubs on a U-Shaped Ground Plane	D.Srimoon C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	IEICE Trans. Communications	2549
Signal-to-Interference Ratio Improvement by Using a Phased Array Antenna of Switched-Beam Elements	P.Ngamjanyaporn C.Phongcharoenpanich P.Akkaraekthalin M.Krairiksh	IEEE Trans. Antennas Propagat	2548
Impedance Characteristic Analysis of an Axial Slot Antenna on a Sectoral Cylindrical Cavity Excited by a Probe using Method of Moments	R.Wongsan C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh J.Takada	IEICE Trans. Fundamentals	2546
Covariance Matrix Adjustment for Interference Cancellation Improvement in Adaptive Beamforming	T.Sukontapong P.Ngamjanyaporn C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	ECTI Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communicationss	2546
A Spherical Array Self-Mixing Oscillator Antenna	M.Krairiksh W.Buasomboon P.Ngamjanyaporn C.Phongcharoenpanich	Electronics Letters	2545
A Simple and Cost-Effective Bidirectional Antenna Using a Probe Excited Circular Ring	S.Kosulvit M.Krairiksh	IEICE Trans. Electronics	2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
	C.Phongcharoenpanich T.Wakabayashi		
A Bidirectional Antenna Using a Probe Excited Rectangular Ring	S.Kosulvit C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	Science Asia	2544
Theoretical Investigations of Radiation and Impedance Characteristics of a Probe Excited Rectangular Cavity-Backed Slot Antenna	T.Lertwiriyaprapa C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	International Journal of Science and Technology	2543

รางวัลที่ได้รับจากการวิจัย

ชื่อผลงาน	ชื่อรางวัลและหน่วยงานที่มอบ	ปี
Synthesis of the Antenna Array Pattern Accomplishing the Tapered Minor Lobe Distributions	Outstanding Contribution Paper in the 5th International Symposium on Antennas, Propagation and Electromagnetic Theory	2543
Theory and Experiment of a Circularly Polarized Conical Beam Spherical Slot Array Antenna	Honorable Mention in the Student Paper Competition in the 2001 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting	2544

ผู้ร่วมวิจัยที่ 1

1. นายคมกฤช บุญยิ่ง
   Mr. Komkris Boonying
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5331090003127
3. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
   โทร. 023264111 ต่อ 3346 โทรสาร 023264554
   E-mail komkris@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประวัติการศึกษา

สถานศึกษา	วุฒิ	สาขาวิชา	ปี (พ.ศ.)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	วศ.ม.	วิศวกรรมโทรคมนาคม	2553
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	วศ.บ.	วิศวกรรมโทรคมนาคม	2550

5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ
6. บทความนำเสนอในการประชุมนานาชาติ

งานวิจัย

วารสารวิชาการระดับประเทศ

ชื่อวารสาร	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
สายอากาศไมโครสตริปไดเวอร์ซิตี้เชิงโพลาไรซ์แทรกร่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพค่าแยกโดดเดี่ยว	คมกฤช บุญยิ่ง, สมผล โกศัลวิตร์, อภิณาน กาญจนวาปสถิตย์ และธีรวิศิฏร์ เลาหะเพ็ญแสง	วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	2554

บทความนำเสนอในการประชุมนานาชาติ

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Flat Antenna for Polarization Diversity	Komkris Boonying Teeravisit Laohapensaeng Sompol Kosulvit Chuwong Phongcharoenpanich	Proceedings of Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT 20010)	2553
Dual-Polarized Microstrip Antenna with High Isolation using an Inserted Slot	Teeravisit Laohapensaeng Komkris Boonying	Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISAP 2011)	2554
Two Probes Fed Fate Circular Antenna for Polarization Diversity WLAN Application	Komkris Boonying Teeravisit Laohapensaeng Sompol Kosulvit Chuwong Phongcharoenpanich	Proceedings of Thailand - Japan MicroWave	2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Dual-band flat antenna for polarization diversity with high isolation	Komkris Boonying Teeravisit Laohapensaeng Sompol Kosulvit Chuwong Phongcharoenpanich	IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (ICEAA2012)	2555
Dual-Band Circular Plate Antenna with Annular-ring Slot and Four-Paired Rectangular Slots	Komkris Boonying Sompol Kosulvit Chuwong Phongcharoenpanich	Engineering/Electronic, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-con 2013)	2556

ผู้ร่วมวิจัยที่ 2

1. นายบัญชา เหลือแดง
   Mr. Bancha Luadang
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3920400024451
3. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร. 023264111 ต่อ 3346 โทรสาร 023264554
E-mail lubancha@gmail.com

1. ประวัติการศึกษา

สถานศึกษา	วุฒิ	สาขาวิชา	ปี (พ.ศ.)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.ม.	วิศวกรรมโทรคมนาคม	2554
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.บ.	วิศวกรรมโทรคมนาคม	2543

2. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ

3. **บทความนำเสนอในการประชุมนานาชาติ**

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
A printed micky mouse antenna on defected ground structure for UHF digital television reception	B. Luadang C. Phongcharoenpanich P. Boonsrimuang	International Symposium on Technology for	2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
	T. Paungma	Sustainability (ISTS2012)	
A CPW-Fed printed tulip antenna for UHF digital television reception	B. Luadang C. Phongcharoenpanich P. Boonsrimuang T. Paungma	International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST2012)	2555
A parasitic printed monopole antenna for a VHF mobile communication	B. Luadang C. Phongcharoenpanich S. Kawdungta	2012 IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2012)	2555
A printed bi-triangular monopole antenna for VHF mobile communication	B. Luadang C. Phongcharoenpanich	Thailand-Japan MicroWave 2012 (TJMW2012)	2555
Investigation of spiral square loop antenna for reader of HF-RFID system	B. Luadang C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the 25th International Technical Conference on Circuits/ Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2010)	2553
A Walk-through gate antenna using paralleled spiral square loop for HF-RFID applications	B. Luadang C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the 2010 International Workshop on Information Communication Technology (ICT2010)	2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้