

สายอากาศมือถือโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์
ระบบดิจิทัล

HAND-HELD ANTENNA USING A MAGNETO-DIELECTRIC FOR DTV
RECEPTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-010-186

สายอากาศมือถือโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์
ระบบดิจิทัล

HAND-HELD ANTENNA USING A MAGNETO-DIELECTRIC FOR DTV
RECEPTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558
KMITL-2015-EN-M-XXX-XXX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HAND-HELD ANTENNA USING A MAGNETO-DIELECTRIC FOR DTV RECEPTION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

KMITL-2015-EN-M-XXX-XXX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สายอากาศมือถือที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล
Thesis Title Hand-held Antenna using a Magneto-dielectric for DTV Reception
นักศึกษา นายพิพัฒน์ บำรุงกาญจน์
รหัสประจำตัว 56601280
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-010-186

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกฉานลิน	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
รศ.ดร.ชวงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2558 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการคืนทุนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2558
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สายอากาศมือถือโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กสำหรับ
รับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

นักศึกษา

นายพิพัฒน์ บำรุงกาญจน์

รหัสนักศึกษา

56601280

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ. ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

รายงานนี้นำเสนอสายอากาศแบบพกพาสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอลระบบ DVB-H โดยมีย่านความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz โครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัวแพร่กระจายคลื่นซึ่งใช้โครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัวแพร่กระจายคลื่นซึ่งใช้เทคนิค (Meander line) ในการออกแบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติแถบความถี่กว้าง อยู่บนวัสดุฐานรองแม่เหล็กเทียม (Magneto dielectric substrate) เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีขนาดเล็ก ซึ่งวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกแม่เหล็กจะถูกออกแบบรวมอยู่กับระนาบกราวด์บนวัสดุฐานรอง FR4 โดยสายอากาศที่นำเสนอ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่ได้มีค่าต่ำกว่า -6 dB ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 464 MHz จนถึง 892 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ 61.12% มีผลการทดสอบค่าอัตราขยาย -3.101 dBi ถึง 1.890 dBi ตลอดย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Hand-held Antenna using a Magneto-dielectric for DTV Reception
Student	Mr. Pipat Bumrungkarn
Student ID.	56601280
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This report presents the design of hand-held antenna using magneto-dielectric for DTV reception (DVB-H antenna) which operates at the frequency range from 470 MHz to 862 MHz. The antenna structure consists of the radiating part using meander line technique to enhance the impedance bandwidth. The radiating part is designed on artificial magneto dielectric substrate (Magneto dielectric substrate) to obtain a small antenna. The magneto dielectric substrate is designed to be integrated with the ground plane on FR4 substrate. The antenna produces an omnidirectional radiation pattern. The simulated $|S_{11}|$ less than -6 dB covers the frequency range from 464 MHz to 892 MHz. (61.12 %). The measured gains are -3.101 dBi to 1.890 dBi over the frequency range from 470 MHz to 862 MHz.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นได้จากการสนับสนุนของ รศ. ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ อาจารย์ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและองค์ความรู้ต่าง ๆ รวมทั้งแนวคิด และกระบวนการทางงานวิจัย และให้กำลังใจในการทำงาน ที่ซึ่งเป็นแรงสนับสนุนงานวิจัยมาเป็นอย่างดี และขอขอบคุณอาจารย์อีกหลายๆท่านที่ผ่านมามาอันซึ่งได้ประสิทธิ์ประสาทองค์วิชาความรู้ต่าง ๆ ให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ดร.บัญชา เหลือแดง คุณสิทธิชัย เต็นตรี คุณอานนท์ สกลคณาพงษ์ คุณรัศมีทัต แผนสมบุรณ์ คุณคณศ พุกกะพันธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้องค์ความรู้ในทางเทคนิคและข้อคิดอย่างเป็นระเบียบแบบแผน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณดร.บัญชา เหลือแดง ที่คอยแนะนำแนวทาง ตลอดจนแนวคิดในการวิจัยรวมถึงการสนับสนุนงานวิจัยให้กับข้าพเจ้า และคุณพิสิษฐ์ จันทร์เงิน ที่ช่วยทดสอบการประยุกต์ใช้งานรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

ขอขอบคุณน้อง ๆ ทุกท่านในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายที่ช่วยให้คำปรึกษา และกำลังใจให้กับข้าพเจ้าอย่างดีมาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ผู้ซึ่งมีความสำคัญยิ่งที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจตลอดช่วงชีวิตของข้าพเจ้า จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อย่างลุล่วง คุณค่าและองค์ความรู้อันเป็นประโยชน์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้ซึ่งมีพระคุณทุกท่าน

พิพัฒน์ บำรุงกาญจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 โทรทัศน์ระบบดิจิทัลสำหรับประเทศไทย	1
1.2 มาตรฐานของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	1
1.3 ข้อดีของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล	4
1.4 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	5
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	
2.1 บทนำ.....	7
2.2 ความเป็นมาของการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	7
2.3 รูปแบบและแบนด์วิดท์.....	8
2.4 โทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย.....	9
2.4.1 การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล.....	9
2.4.2 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย.....	10
2.4.3 กล่องรับสัญญาณ (Set Top Box).....	14
2.5 โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินสำหรับมือถือ	17
2.6 มาตรฐานการส่งโทรทัศน์มือถือ	18
2.7 การส่งโทรทัศน์มือถือผ่านเครือข่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial)	20
2.8 ศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อน.....	22
2.8.1 งานวิจัยสายอากาศสายอากาศระบบดิจิทัล.....	22
2.9 บทสรุป.....	33
บทที่ 3 การประยุกต์วัสดุแม่เหล็กกับสายอากาศ.....	34
3.1 บทนำ.....	34
3.2 สารแม่เหล็ก.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การศึกษาวิธีการลดขนาดสายอากาศ.....	38
3.3.1 สายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก.....	41
3.3.2 สายอากาศที่ใช้อิ่ววัสดุ.....	42
3.3.3 สายอากาศไมโครสตริปที่ใช้เรโซเนเตอร์วงแหวนแยก.....	44
3.4 งานวิจัยสายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก.....	46
3.5 บทสรุป.....	49
บทที่ 4 การออกแบบและจำลองสายอากาศ.....	50
4.1 บทนำ.....	50
4.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ.....	50
4.3 บทสรุป.....	69
บทที่ 5 การทดสอบ.....	70
5.1 บทนำ.....	70
5.2 สายอากาศต้นแบบ.....	70
5.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบ.....	71
5.3.1 ผลการทดสอบ S_{11}	71
5.3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	72
5.3.3 อัตราขยาย.....	77
5.4 สรุป.....	78
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	80
เอกสารอ้างอิง.....	84
ประวัติผู้เขียน.....	87
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติและข้อกำหนดด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ.....	15
2.2	สรุปคุณสมบัติของสายอากาศโทรทัศนระบบดิจิทัล.....	33
3.1	แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของสายอากาศไดโพลเล็กทรอนิกส์เรโซเนเตอร์กับ ความแตกต่างของค่าคงที่ไดโพลเล็กทรอนิกส์.....	40
3.2	การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์จากการวัดระหว่างสายอากาศแบบแพตช์ทั่วไปกับ สายอากาศแบบ CSRR.....	45
4.1	แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศพารามิเตอร์.....	51
4.2	พารามิเตอร์ของวัสดุฐานรองของสายอากาศโดยใช้ไดโพลเล็กทรอนิกส์แม่เหล็ก.....	52
4.3	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ.....	54
4.4	ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศจากการออกแบบ.....	66
4.5	สรุปสมรรถนะของสายอากาศที่ได้จากการจำลอง.....	57
5.1	สรุปผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ.....	78
6.1	เปรียบเทียบสายอากาศแบบพกพา กับสายอากาศที่ออกแบบ.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอล.....	2
1.2	โครงสร้างของสายอากาศ.....	6
2.1	มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของแต่ละประเทศ.....	8
2.2	การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล.....	10
2.3	การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5.....	11
2.4	ผลการทดสอบสัญญาณของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5 ที่ส่งจากตึก ไบหยก.....	11
2.5	การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของช่อง 9 อสมท.....	12
2.6	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของ อสมท. ที่ส่งจากตึกไบหยก...	12
2.7	การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัด ขอนแก่น.....	13
2.8	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดขอนแก่น.....	13
2.9	การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัด สุโขทัย.....	14
2.10	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดสุโขทัย.....	14
2.11	จอภาพ (โทรทัศน์ที่รับสัญญาณระบบดิจิตอลได้) และแบบไม่มีจอภาพ (กล่องรับ สัญญาณ Set Top Box)	15
2.12	สายอากาศแบบโมโนโพลไมโครสตริปพร้อมระนาบกราวด์สำหรับประยุกต์ใช้ งานโทรทัศน์ดิจิตอล.....	22
2.13	สายอากาศโมโนโพลรูปตัวเจสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินที่ยาน ความถี่ยูเอชเอฟ].....	23
2.14	สายอากาศแบบเกลียวสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล.....	24
2.15	สายอากาศแบบโมโนโพลรูปร่างซ้อนสำหรับประยุกต์ใช้งานแบบยูเอสบีสำหรับ รับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล].....	25
2.16	สายอากาศสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้วัสดุฐานรองเฟอร์ไรท์สำหรับรับ สัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล.....	26
2.17	สายอากาศแบบแผ่นพับและการใช้คลัมปลิ่งโดยการใช้เฟอร์ไรท์ สำหรับรับ สัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล.....	27
2.18	สายอากาศขนาดเล็กใช้วัสดุเฟอร์ไรท์สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลใน โทรศัพท์เคลื่อนที่.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา **VII** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
2.19	สายอากาศแบบโมโนโพลสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	29
2.20	สายอากาศแบบโมโนโพลโดยใช้อาเรคเตอร์และการชดววงนสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลในระบบดิจิทัล.....	30
2.21	สายอากาศแบบชดววงนโมโนโพลกับพาราซิติคสตริปสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่....	31
2.22	สายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลบรอดแบนด์โดยใช้อาเรคเตอร์.....	31
3.1	แผนผังสภาพยอมไฟฟ้าและค่าซีมซาบแม่เหล็ก.....	36
3.2	โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริก.....	40
3.3	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันความถี่.....	41
3.4	การเปรียบเทียบค่า Q กับปริมาตรของสายอากาศเมื่อความถี่คงที่.....	41
3.5	การเปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับและแบนด์วิดธ์ของสายอากาศที่ใช้วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก.....	42
3.6	โครงสร้างสายอากาศและคุณสมบัติสายอากาศ.....	43
3.7	เรขาคณิตของสายอากาศแบบไดโพล.....	35
3.8	คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยที่ใช้วัสดุฐานรองที่มีค่าเป็นลบ.....	44
3.9	การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของสายอากาศ.....	45
3.10	สายอากาศขนาดเล็กย่านความถี่ UHF โดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก.....	46
3.11	สายอากาศไมโครสตริปขนาดเล็กโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กบางเป็นวัสดุฐานรอง.....	47
3.12	การออกแบบสายอากาศขนาดเล็กสำหรับโทรศัพท์มือถือโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กเป็นวัสดุฐานรอง.....	47
3.13	สายอากาศขนาดเล็กและวัสดุนาโนเฟอร์ไรท์วัสดุไดอิเล็กตริก-แม่เหล็ก.....	48
4.1	โครงสร้างต้นแบบของสายอากาศ.....	50
4.2	คุณสมบัติของวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก (MF-124).....	53
4.3	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เปรียบเทียบค่าวัสดุฐานรองระหว่างเฟอร์ไรท์กับไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก.....	54
4.4	โครงสร้างสายอากาศแบบ.....	54
4.5	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับความยาวของสตริปป้อนสัญญาณ.....	55
4.6	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับความกว้างของชดววงนแบบสี่เหลี่ยม.....	55
4.7	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับความยาวความยาวสตริปเชื่อมกราวด์.....	56
4.8	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับความยาวความยาวสตริปเชื่อมกราวด์.....	56
4.9	ผลการจำลองค่า $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับความหนาของไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก.....	57
4.10	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อปรับระยะระหว่างระนาบกราวด์กับวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก.....	57
4.11	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อปรับมุมของระนาบกราวด์.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษ **VIII** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
4.12	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศ.....	58
4.13	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความยาวของระนาบกราวนด์	59
4.14	ผลของอัตราขยายสายอากาศปรับความยาวของระนาบกราวนด์.....	60
4.15	การปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศโดยการเพิ่มความยาวของจำนวนขดวงวน.	61
4.16	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศเมื่อปรับขนาดความยาวของจำนวนขดวงวน.....	61
4.17	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับสตริปกราวนด์แนวนอน.....	62
4.18	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับสตริปกราวนด์แนวตั้ง.....	62
4.19	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความหนาของวัสดุฐานรอง FR4.....	63
4.20	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความสูงของขดวงวน.....	63
4.21	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความกว้างของขดวงวน.....	64
4.22	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความหนาของขดวงวน.....	64
4.23	โครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอ.....	65
4.24	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศ.....	67
4.25	ผลการจำลองอัตราขยายที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศที่ออกแบบ.....	67
4.26	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 470 MHz.....	68
4.27	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 666 MHz.....	68
4.28	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 862 MHz.....	68
5.1	โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ.....	70
5.2	การติดตั้งเพื่อทำการทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศ.....	71
5.3	เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันความถี่.....	71
5.4	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xy.....	73
5.5	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xy.....	73
5.6	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xz.....	74
5.7	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xz.....	74
5.8	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ yz.....	75
5.9	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ yz.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
5.10 ผลจากการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) กับโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar)	76
5.11 ผลจากการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) กับโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar)	76
5.12 ผลจากการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) กับโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar)	76
5.13 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 โทรทัศน์ระบบดิจิทัลสำหรับประเทศไทย

กิจการโทรทัศน์ถือได้ว่าเป็นกิจการที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมอย่างมาก เนื่องจากเป็นกิจการที่เป็นรากฐานอันสำคัญของระบอบประชาธิปไตย และมีอิทธิพลอย่างสูงต่อทางด้านความคิด พฤติกรรม รวมถึงคุณภาพชีวิตของประชาชน เพราะการที่ประชาชนสามารถเข้าถึง และรับรู้ข้อมูลข่าวสารที่หลากหลาย จะทำให้มีโอกาสในการพัฒนาความคิด และความเป็นอยู่ อีกทั้งนำมาซึ่งการมีส่วนร่วมในการพัฒนาประเทศชาติ

กิจการโทรทัศน์ของประเทศไทยมีการพัฒนามาตั้งแต่การออกอากาศระบบโทรทัศน์ขาวดำ ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2498 ปรับเปลี่ยนเป็นระบบโทรทัศน์สีในปี พ.ศ. 2510 และมีการขยายโครงข่ายโทรทัศน์จนครอบคลุมทั่วประเทศ กิจการโทรทัศน์โดยเฉพาะการบริการระบบภาคพื้นดินถือได้ว่าเป็นบริการขั้นพื้นฐานที่ควรจะมีหลากหลายและประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ ปัจจุบันประเทศไทยยังคงใช้ระบบการรับส่งสัญญาณในระบบอนาล็อก ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้มีข้อจำกัดในการเพิ่มจำนวนช่องรายการและคุณภาพการให้บริการ

การพัฒนาเทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ถือได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของกิจการโทรทัศน์ครั้งสำคัญ เพราะเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพการให้บริการคลื่นความถี่วิทยุให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีกหลายเท่าตัว ด้วยขนาดคลื่นความถี่วิทยุที่เท่ากัน โทรทัศน์ระบบอนาล็อกสามารถส่งช่องรายการได้เพียงช่องเดียว แต่เมื่อใช้เทคโนโลยีระบบดิจิทัลจะสามารถออกอากาศได้มากถึง 8-25 ช่องรายการ พร้อมทั้งมีคุณภาพที่ดีกว่าเดิม สามารถให้บริการมัลติมีเดียใหม่ ๆ และช่วยลดการใช้พลังงานของประเทศ เนื่องจากระบบส่งสัญญาณและเครื่องรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัลจะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบอนาล็อกหลายเท่าตัว นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทรัพยากรโครงสร้างพื้นฐานและโครงข่ายการส่งสัญญาณร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากทรัพยากรคลื่นความถี่จะได้รับการพัฒนาให้มีการใช้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ประชาชนยังได้รับบริการที่มีความหลากหลายจากผลของจำนวนช่องรายการที่เพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มช่องทางการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารด้วยคุณภาพที่ดีกว่าเดิมอันจะนำมาซึ่งการพัฒนาคุณภาพชีวิต ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาประเทศ สังคม และเศรษฐกิจของประเทศโดยตรง [1]

1.2 มาตรฐานของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

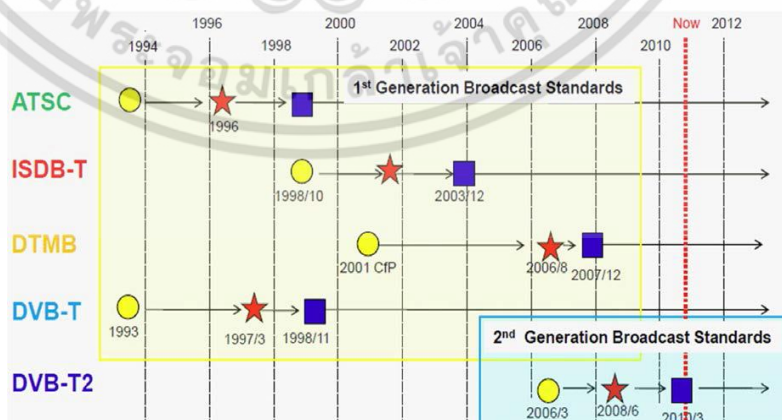
ปัจจัยสำคัญที่จะทำการเปลี่ยนไปสู่โทรทัศน์ระบบดิจิทัลประสบความสำเร็จ คือ การกำหนดมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัล เพื่อให้สถานวิทยุโทรทัศน์ทุกแห่งใช้เป็นมาตรฐานในการส่งสัญญาณออกอากาศ และภาคอุตสาหกรรมใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการผลิตอุปกรณ์เครื่องรับโทรทัศน์สำหรับผู้ชมโทรทัศน์

การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์จากระบบอนาล็อกไปสู่ระบบดิจิทัล จึงส่งผลกระทบต่อประชาชนแทบทุกคนเร็ววัน ส่งผลให้ได้รับบริการโทรทัศน์ที่มีคุณภาพดีกว่า เดิม มีความคมชัดสูง มีจำนวนช่องรายการเพิ่มขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าตัว สามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่ หลากหลาย เกิดการพัฒนาทางด้านความเป็นอยู่ ความคิด ความเข้าใจต่อสังคมภายนอก และมี โอกาสที่จะเลือกรับบริการในสิ่งที่ตรงกับความต้องการของตนเองมากยิ่งขึ้น

กิจการโทรทัศน์ที่ใช้คลื่นความถี่ภาคพื้นดินของประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ยุค (Generation) ด้วยกัน คือ ยุคที่ 1 : ยุคโทรทัศน์ขาว-ดำ (พ.ศ. 2490 – 2510) ยุคที่ 2 : ยุคโทรทัศน์ สี (พ.ศ. 2510 – 2557) และยุคที่ 3 : ยุคโทรทัศน์ระบบดิจิทัล (พ.ศ. 2557 เป็นต้นไป) [2]

กิจการโทรทัศน์ในยุคที่ 3 เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปสู่ระบบ ดิจิทัลที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม สามารถใช้เทคนิคที่ได้รับการพัฒนาสำหรับระบบ ดิจิทัล รองรับการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ยุคของการหลอมรวมสื่อ (Convergence) โทรทัศน์ระบบดิจิทัล (หรือ ดิจิตอลทีวี) เป็นระบบโทรทัศน์ที่มีการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลกล่าวคือ มีการเปลี่ยนสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงเป็นรหัสสัญญาณแบบดิจิทัลก่อนมีการส่งจากสถานีส่ง สัญญาณโทรทัศน์ ในขณะที่เครื่องรับโทรทัศน์ที่บ้านของผู้รับบริการจะแปลงสัญญาณดิจิทัลที่ส่งมา จากสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์กลับมาเป็นสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงเพื่อให้เครื่องรับโทรทัศน์ สามารถแสดงผลเป็นภาพและเสียงที่ส่งมาได้การเข้ารหัสในลักษณะดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกับการ รับ-ส่งสัญญาณในกิจการสื่อสารสมัยใหม่อื่น ๆ แตกต่างจากโทรทัศน์ในระบบอนาล็อกเดิมที่ไม่มีการ เข้ารหัสสัญญาณดิจิทัล การเข้ารหัสดิจิทัลทำให้เกิดประโยชน์ในหลายประการรวมถึงการใช้เทคนิค สมัยใหม่ที่ใช้กับการสื่อสารโทรคมนาคมอื่น ๆ ด้วย นอกจากนี้ โทรทัศน์ดิจิทัลยังมีคุณภาพของ สัญญาณที่ดีขึ้น ภาพจะคมชัดเสมอ อัตราการถูกรบกวนน้อย ไม่มีคลื่นแทรก หรือการสะท้อน รวมไปถึง การรับชมที่ชัดเจนแม้ขณะอยู่ในพาหนะเคลื่อนที่หรือการรับชมผ่านอุปกรณ์สมัยใหม่ (เช่น Smart Phone) [3]

ปัจจุบันมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ให้การ รับรองมี 5 ระบบ คือ ระบบ ATSC DVB-T ISDB-T DTMB และ DVB-T2



รูปที่ 1.1 มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DVB-T2 ย่อมาจาก Digital Video Broadcasting–Second Generation Terrestrial เป็นมาตรฐานที่องค์การ Digital Video Broadcasting Project (DVB) เริ่มพัฒนาปรับปรุงมาจากมาตรฐาน DVB-T ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006 (พ.ศ. 2549) โดยการนำเทคโนโลยีการผสมสัญญาณและการเข้ารหัสแบบใหม่มาใช้เพื่อให้การรับส่งสัญญาณประเภทเสียง วิดีโอและข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่า DVB-T ประมาณ 1.5 เท่า

ระบบ DVB-T2 ที่ออกอากาศโดยใช้คลื่นความถี่ขนาด 8 MHz จะมีความจุช่องสัญญาณสูงสุด 50.4 Mb/s สามารถบรรจุช่องรายการโทรทัศน์ปกติได้ประมาณ 25 ช่อง ระบบนี้เริ่มใช้งานจริงตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 (พ.ศ. 2553) ปัจจุบันมีประเทศที่ใช้ระบบ DVB-T2 ประมาณ 38 ประเทศทั่วโลก โดยส่วนหนึ่งเป็นประเทศที่ใช้ระบบ DVB-T อยู่แล้วและปรับเปลี่ยนไปเป็น DVB-T2 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการใช้คลื่นความถี่มากกว่า อีกส่วนหนึ่งเป็นประเทศที่เปลี่ยนผ่านไปสู่โทรทัศน์ระบบ DVB-T2 โดยตรง ซึ่งการเปลี่ยนผ่านจากระบบโทรทัศน์อนาล็อกในระบบ PAL ไปสู่ระบบดิจิทัล DVB-T2 ที่เป็นมาตรฐานของยุโรปเหมือนกัน ก็สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว

นอกจากการรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลด้วยสายอากาศภายนอกไปยังเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลแล้ว การรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลที่เป็นที่นิยมอีกรูปแบบหนึ่ง คือ การใช้อุปกรณ์แบบพกพาในการรับสัญญาณโดยผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต และการรับสัญญาณที่ใช้สายอากาศในการรับสัญญาณการแพร่ภาพโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นสำหรับมือถือในระบบ DVB-H

ระบบดิจิทัลตามมาตรฐาน DVB-H คือ มาตรฐานดิจิทัลทีวีในโทรศัพท์พกพา (DVB-H) เป็นหนึ่งในมาตรฐานการส่งล่าสุดที่ได้รับการพัฒนาโดยโครงการ DVB-H โดยระบบ DVB-H ดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานของโทรทัศน์ภาคพื้นระบบดิจิทัลที่นำไปใช้งานกับโทรทัศน์แบบพกพาและบริการการแพร่ภาพ (DVB-T) อื่น ๆ ในอุปกรณ์พกพาขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ บทความนี้เสนอภาพรวมเรื่องมาตรฐานของมาตรฐานดิจิทัลทีวีในโทรศัพท์พกพาทั้งในแง่โครงสร้าง ลักษณะเทคโนโลยี สมรรถนะ และทรัพยากร

การรับสัญญาณในระบบ DVB-H มีลักษณะจำนวนมากที่ถูกรวมในการรับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งปัจจุบันนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ได้มากกว่าการพูดคุยและกำลังก้าวไปสู่การรับสัญญาณแบบมัลติมีเดีย ดังนั้น จึงเป็นที่คาดการณ์กันว่าจะมีการให้บริการโทรทัศน์ในอุปกรณ์เหล่านี้ ปัจจุบันนี้การเข้าถึงบริการโทรทัศน์และวิดีโอบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นเรื่องที่ทำได้ง่ายโดยการเชื่อมต่อระบบโทรคมนาคมของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (UMTS) แต่วิธีนี้อาจจะดูเสียเปรียบในเรื่องอัตราข้อมูล (และรอบ คุณภาพวิดีโอ) และในเรื่องปริมาณการใช้ของเครือข่ายที่เกิดจากการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดจำนวนหลายจุด

วิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าข้างต้น คือ การเปลี่ยนถ่ายวิดีโอข้อมูลวิดีโอไปยังเครื่องรับผ่านเครือข่ายแพร่ภาพที่ดี เช่น เครือข่ายโทรทัศน์ภาคพื้น โทรทัศน์ภาคพื้นระบบดิจิทัลตามมาตรฐาน DVB-H นั้นมีในหลายประเทศทั่วโลก ระบบแพร่ภาพภาคพื้นดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพเป็นที่สนใจของอุตสาหกรรมสื่อสารด้วยอุปกรณ์พกพาเนื่องจากมีข้อดี 2 ประการ คือ ความสามารถในการส่งไปถึงอุปกรณ์รับผ่านการเชื่อมโยงแบบไร้สายจากจุดหนึ่งไปหลาย ๆ จุดซึ่งจะยังมีประโยชน์เมื่อใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครอบคลุมพื้นที่กว้างขวาง และความจุในการส่งสูง ดังนั้นโครงการ DVB-H จึงตอบสนองความสนใจนี้ โดยการระบุมมาตรฐานการแพร่ภาพดิจิทัล DVB-H ใหม่ซึ่งเป็นการปรับ DVB-T ให้ตรงกับความต้องการเรื่องเครื่องรับแบบพกพา

ก่อนที่จะมีการพัฒนามาตรฐาน DVB-T ได้มีการรวบรวมความต้องการไว้เป็นจำนวนมาก สิ่งสำคัญที่สุดที่ถูกระบุเป็นพิเศษคือ DVB-T ควรให้บริการแพร่ภาพไปยังอุปกรณ์พกพาและการใช้โทรศัพท์มือถือ รวมไปถึงการส่งผ่านแบบเคลื่อนที่ (streaming) ภาพและเสียงที่มีคุณภาพดี อุปกรณ์ดังกล่าวมาพร้อมกับสายอากาศที่มีอัตราขยายต่ำทำให้มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนในการส่งได้ ดังนั้น จึงมีความต้องการเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งประการคือการเข้าถึงบริการทั้งภายในและภายนอกสถานที่ รวมทั้งเมื่อมีการเคลื่อนที่ในยานพาหนะ ทั้งนี้ เป็นที่ทราบกันว่าการรับแบบเคลื่อนที่เสี่ยงต่อการเกิดความคลาดเคลื่อนในช่องสัญญาณและการรบกวนประเภทอื่น ๆ อีกหลายประเภท ด้วยเหตุนี้ DVB-H จึงได้พัฒนาการแก้ไขข้อผิดพลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

DVB-H ถูกออกแบบให้มีช่องในย่านความถี่สูงยิ่งยวด (VHF/UHF) แต่เนื่องจากอุปกรณ์รับที่คล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกทำให้ DVB-H ต้องใช้เทคโนโลยีการใช้ช่องสัญญาณตามเวลา (time-multiplexing technology) เพื่อให้มีการใช้พลังงานที่ต่ำในอุปกรณ์รับ การส่งระหว่างเซลล์วิทยุช่องสัญญาณประชิดไปยังผู้ใช้เมื่อมีการเคลื่อนที่ในระยะที่ไกลขึ้นเป็นไปได้ น้อยมาก นอกจากนี้ระบบ DVB-H จึงต้องเข้ากันได้กับระบบ DVB-T เพื่อการส่งของ DVB-H และบริการ DVB-T ในอุปกรณ์รวมสัญญาณ (multiplex) เดียวกันและใช้โครงสร้างพื้นฐาน DVB-T และอุปกรณ์การส่งที่มีอยู่แล้ว

การระบุระบบ DVB-H มีขึ้นครั้งแรกในปี 2004 โดยโครงการ DVB ซึ่งนำโดยสมาคมอุตสาหกรรมอันประกอบไปด้วยผู้แพร่ภาพ ผู้ผลิต ผู้ให้บริการเครือข่าย ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ ผู้กำกับ และผู้ที่ออกแบบมาตรฐานระดับโลกเพื่อการส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิทัลและบริการข้อมูลทั่วโลกจำนวนมากกว่า 260 ราย และ ETSI ได้ตีพิมพ์มาตรฐานที่เรียกว่า European Norm EN 302 304 ที่กำหนดโดยสถาบันมาตรฐานโทรคมนาคมยุโรป (European Telecommunications Standards Institute: ETSI) ในเดือนพฤศจิกายน 2004 และต่อมามีคู่มือ DVB-H Implementation Guidelines ซึ่งตีพิมพ์ออกมาเป็น Technical Report TR 102 377 ซึ่งเป็นเวอร์ชันสุดท้าย v1.2.1 ในเดือน 2005 [5]

1.3 ข้อดีของโทรศัพท์ระบบดิจิทัล

การปรับเปลี่ยนเข้าสู่ระบบโทรศัพท์ในระบบดิจิทัล จะทำให้ประชาชนได้รับชมโทรทัศน์ด้วยคุณภาพสัญญาณที่ดีขึ้นทั้งในระบบ SD และสามารถพัฒนาให้แพร่ภาพได้ในระบบความคมชัดสูง HD การเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัลจะทำให้สามารถแก้ไขสัญญาณรบกวนได้ง่าย ตลอดจนสามารถใช้เทคนิคสมัยใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณนอกจากนี้ผู้รับบริการสามารถรับชมโทรทัศน์ด้วยอัตราส่วน

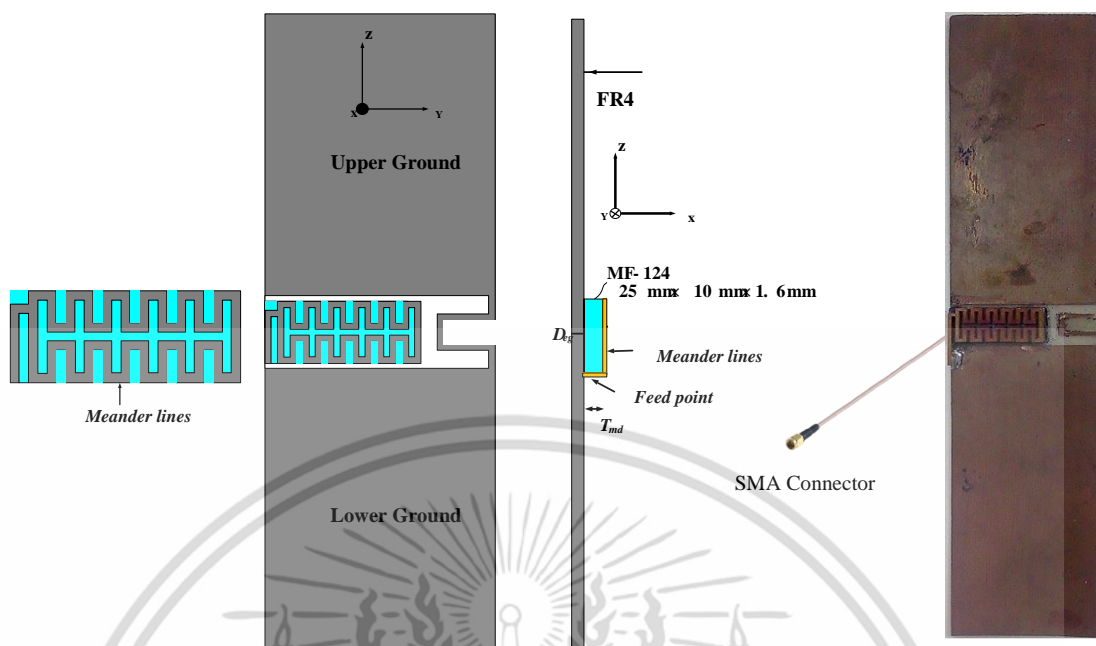
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนในโอกาสพิเศษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เรียนการสอน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแบบ Wide screen ส่งผลให้สามารถให้บริการเนื้อหาที่หลากหลายเพิ่มทางเลือกให้กับประชาชน กล่าวคือ จากเดิมจะมีจำนวนช่องโทรทัศน์เพียง 6 ช่องรายการในระบบอนาล็อก ก็จะสามารถเพิ่มมากขึ้นเป็นจำนวน 48 ช่องรายการในระบบดิจิทัล ภายหลังจากการเปลี่ยนผ่านไปสู่โทรทัศน์ในระบบดิจิทัลเสร็จสิ้นสมบูรณ์ มีบริการโทรทัศน์สาธารณะและโทรทัศน์ชุมชน ซึ่งจะสามารถตอบสนองกับชีวิตสังคมสมัยใหม่ที่มีความสัมพันธ์กับเทคโนโลยีและสื่อสังคม (Social Media) มากขึ้นเรื่อย ๆ โทรทัศน์ระบบดิจิทัลยังสามารถรองรับบริการมัลติมีเดียใหม่ ๆ และประชาชนจะสามารถรับบริการที่หลากหลายมากขึ้น เช่น บริการเสริมลักษณะโต้ตอบ (Inter active) เช่น VDO-on-Demand โทรทัศน์เคลื่อนที่ (Mobile TV) Smart TV และ Internet TV เป็นต้น

การรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลผ่านมือถือ DVB-H จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายไม่ว่าในเรื่องของพลังงานที่ใช้งาน เทคโนโลยีแบตเตอรี่สำหรับโทรทัศน์มือถือมีข้อจำกัดของแบตเตอรี่อาจต้องพัฒนาให้เครื่องรับโทรทัศน์ใช้พลังงานน้อยลง ปัจจุบันความจุของความจำที่มีอยู่ยังไม่เหมาะที่จะใช้ชมรายการโทรทัศน์ที่เป็นเวลานานหลายชั่วโมง ซึ่งในอนาคตจะต้องพัฒนาสร้างอุปกรณ์ที่สามารถเก็บความจำได้ปริมาณมากกว่าเดิม การออกแบบสำหรับการใช้งาน โทรศัพท์มือถือจำนวนมากยังไม่มีระบบรับสัญญาณโทรทัศน์มือถือ ดังนั้น ผู้ที่ต้องการโทรทัศน์มือถือจะต้องซื้อเครื่องโทรศัพท์มือถือรุ่นใหม่ที่สามารถรับโทรทัศน์ได้ เครื่องโทรศัพท์รุ่นใหม่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของจอภาพและระบบการใช้งาน จอภาพจะมีขนาดใหญ่ขึ้น การใช้งานและเพื่อความสะดวกใช้ระบบสัมผัส (touch screens) ระบบจ่ายพลังงาน โรงงานผู้ผลิตอุปกรณ์จะต้องปรับปรุงยิ่งไปกว่านั้น ประชาชนจะมีโอกาสในการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารได้มากขึ้น สะดวกรวดเร็วขึ้นจากบริการ ซึ่งการพัฒนากิจการโทรทัศน์ เพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน เกิดประโยชน์ต่อสังคมโดยรวมในด้านเศรษฐกิจ และสังคม

1.4 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

กิจการโทรทัศน์นั้นถือได้ว่าเป็นกิจการที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมโดยรวมของประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นสื่อที่มีอิทธิพลต่อประชาชนในหลายด้าน อาทิ ความคิด ความเชื่อ พฤติกรรม และ การใช้ชีวิต การเปลี่ยนไปสู่โทรทัศน์ระบบดิจิทัลจึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน จากความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดการพัฒนาด้านความเป็นอยู่ ความคิด ความเข้าใจต่อสังคมภายนอก และมีโอกาสที่จะเลือกในสิ่งที่ตรงกับความต้องการของตนเองมากขึ้น ในปัจจุบันการสื่อสารในระบบโทรทัศน์ดิจิทัลได้กลายมาเป็นสิ่งที่น่าสนใจมากสำหรับการใช้งานกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น คอมพิวเตอร์ชนิดพกพา โทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมไปถึงยานพาหนะเคลื่อนที่ สำหรับการใช้งานดังกล่าวจำเป็นต้องมีการพัฒนาสายอากาศเพื่อรับสัญญาณในระบบโทรทัศน์ดิจิทัลที่ดีพอ ไม่เพียงแต่ความต้องการสายอากาศที่มีขนาดเล็ก แต่ที่สำคัญสายอากาศจะต้องมีแบนด์วิดท์ที่ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 510 MHz ถึง 790 MHz ของการสื่อสารในระบบโทรทัศน์ดิจิทัลด้วย ประเทศไทยได้นำมาตรฐาน DVB โดยใช้น่านความถี่ตั้งแต่ 470 ถึง 862 MHz ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลแบบพกพาที่ครอบคลุมย่านความถี่ดังกล่าว



รูปที่ 1.2 โครงสร้างของสายอากาศ

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษา ขอบเขตการวิจัยและรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล งานวิจัยที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศ Integrate ชนิดพกพาและงานวิจัยที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของ Magneto dielectric substrate และงานวิจัยที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศที่ใช้ Magneto-dielectric เป็นวัสดุฐานรอง

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบ การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ และการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ โดยเริ่มจากการคำนวณหาความยาวของสายอากาศ เริ่มต้น เพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO®[25] พร้อมทั้งศึกษาและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ และทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 470 ถึง 862 MHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางตลอดย่านความถี่ใช้งาน

บทที่ 5 กล่าวถึงการสร้าง ทดสอบและวิจารณ์ผลสายอากาศ

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ ปัญหาที่เกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางการศึกษาสำหรับการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

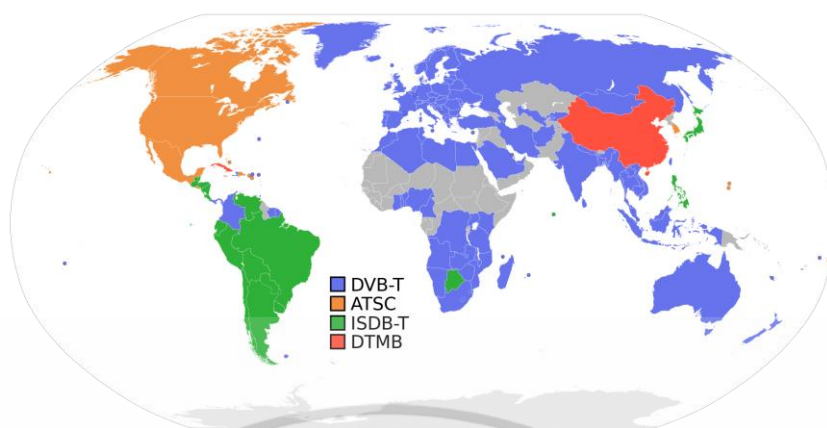
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของการสื่อสารโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยเริ่มจากความจำเป็นของการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล รูปแบบและแบนด์วิดธ์ของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย คุณสมบัติของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล งานวิจัยที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

2.2 ความเป็นมาของการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

โทรทัศน์ระบบดิจิตอล (Digital Television) หรือทีวีดิจิตอลหรือ DTV คือการส่งผ่านของสัญญาณเสียงและวิดีโอโดยใช้กระบวนการของการผสมสัญญาณแบบดิจิตอลซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงกับการส่งผ่านสัญญาณแบบอนาล็อกที่มีการแยกสัญญาณของช่องสัญญาณออกจากกัน ซึ่งรูปแบบดังกล่าวนี้ถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมที่ปฏิวัติเทคโนโลยีโทรทัศน์เป็นอย่างมากนับตั้งแต่ นวัตกรรมโทรทัศน์สีเมื่อปี พ.ศ. 2493 โดยสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบอนาล็อกในหนึ่งช่องสัญญาณซึ่งสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Multicasting การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลนั้นจะทำให้ได้คุณภาพของสัญญาณภาพและเสียงที่ดีกว่า เช่น โทรทัศน์ระบบ HDTV ซึ่งในหลาย ๆ ประเทศ กำลังเปลี่ยนระบบการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกมาเป็นการส่งสัญญาณแบบดิจิตอลโดยเป็นการใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่วิทยุในอีกรูปแบบหนึ่ง รูปที่ 2.1 แสดงมาตรฐานในการรับส่งสัญญาณภาคพื้นดินในแนวราบที่ใช้กันในแต่ละประเทศซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 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) ได้รับการพัฒนาใน ญี่ปุ่น 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 มาตรฐานนี้ถูกพัฒนาในประเทศจีนรวมทั้งฮ่องกง และมาเก๊า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของแต่ละประเทศ [22]

2.3 รูปแบบและแบนด์วิธ

โทรทัศน์ระบบดิจิทัลมีการส่งหลายรูปแบบของภาพที่แตกต่างกันที่กำหนดโดยระบบการออกอากาศทางโทรทัศน์ซึ่งเป็นส่วนผสมของขนาด และอัตราส่วนของความกว้างต่อความสูง ระบบการรับส่งสัญญาณภาพและเสียงที่มีข้อมูลจะมีการเข้ารหัสเป็นแบบดิจิทัล ที่มีค่า “0” กับ “1” เท่านั้น โดยมีกระบวนการต่าง ๆ ที่จะทำการแปลงสัญญาณภาพและเสียงให้เป็นดิจิทัล มีการบีบอัดข้อมูลทำการเข้ารหัสข้อมูลก่อนที่จะทำการมอดูเลตข้อมูลดิจิทัลเหล่านี้เพื่อส่งผ่านตัวกลางไปสู่ผู้รับปลายทาง ซึ่งต่างกันโดยสิ้นเชิงกับโทรทัศน์ระบบอนาล็อก เมื่อสัญญาณดิจิทัลถูกส่งมายังเครื่องรับโทรทัศน์จะผ่านกระบวนการบีบอัดข้อมูลสัญญาณดิจิทัลโดย MPEG-2 หรือ MPEG-4 ทำการถอดรหัส หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังหลอดภาพ แล้วหลอดภาพจะยิงลำแสงออกไปยังหน้าจอโทรทัศน์ทำให้เกิดพิกเซลบนจอภาพซึ่งในระบบโทรทัศน์ความละเอียดสูง (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 สัญญาณโทรทัศน์มาตรฐานที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันเป็นแบบดิจิทัล
- 480p/576p (EDTV) คือ โทรทัศน์ที่มีความชัดเจนเพิ่มขึ้น (Enhanced Definition Television) หรือ EDTV ที่ให้ภาพชัดเจนใกล้เคียงกับ HDTV ซึ่งดีกว่าที่รับชมกันในขณะนี้และทุกวันนี้สามารถเล่นแผ่นดีวีดีทั้งหมดกับ EDTV ได้
- 720p (HDTV) เป็น HDTV Format ที่ให้คุณภาพใกล้เคียงกับ 1080i แต่ก็ยอมให้ส่งสัญญาณ 480p ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1080i (HDTV) เป็น HDTV Image ที่มีคุณภาพของภาพที่คมชัด ซึ่งเป็นแบบที่ผู้ให้บริการโทรทัศน์ใช้อยู่

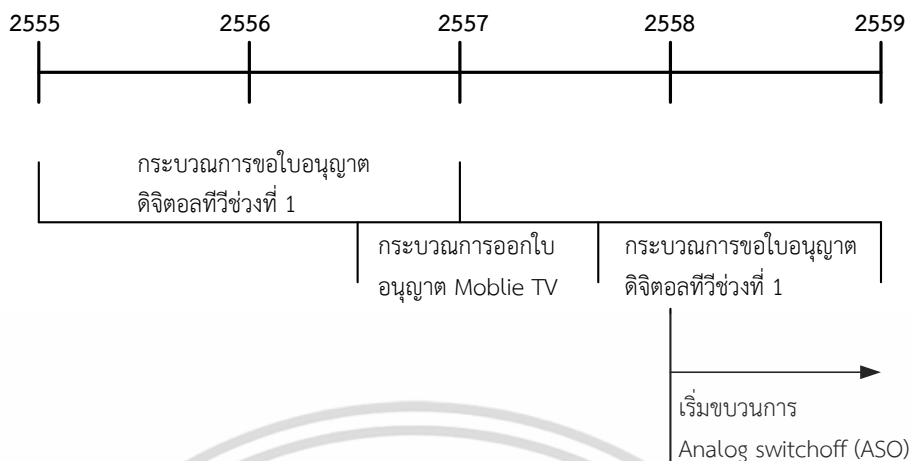
การส่งกระจายเสียงและภาพในระบบดิจิทัลทีวี ช่วงของรูปแบบสามารถแบ่งออกกว้าง ๆ ได้เป็นสองประเภทได้แก่ โทรทัศน์ความละเอียดสูง (High Definition Television) หรือ HDTV สำหรับการส่งภาพวิดีโอความละเอียดสูงและโทรทัศน์ความละเอียดมาตรฐาน (Standard Definition Television) หรือ SDTV ซึ่งภาพของโทรทัศน์มีความละเอียดที่แตกต่างกัน ซึ่งหมายถึงความคมชัดของภาพโดยจะเป็นไปตามจำนวนชิ้นส่วนเล็ก ๆ ของภาพใหญ่ที่มีมากน้อยเพื่อสร้างภาพทั้งหมดขึ้นมาใหม่ คำนิยามนี้จะแสดงเป็นจำนวนของเส้นแนวนอนและชิ้นส่วนเล็กๆ ของภาพ หรือพิกเซล ในแต่ละเส้นแนวนอนนั้น ๆ ที่ถูกใช้สำหรับหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อเรากล่าวว่า รูปแบบคือ 640×480p ที่เราหมายถึงมี 640 ชิ้นส่วนเล็ก ๆ ของภาพในแต่ละ 480 เส้นแนวนอนรวมเป็น 307,200 พิกเซล และอัตราส่วนของ 640:480 หรือ 4:3 นั่นคือกว้าง 4 สูง 3 หรือ SDTV หนึ่งในหลาย ๆ รูปแบบของ HDTV จะมีความแตกต่างกันที่การส่งผ่านบน DTV คือ 1280×720 พิกเซลในโหมด Progressive Scanning เขียนย่อ ๆ ว่า 720p หรือ 1920×1080 ในโหมดวิดีโอ interlaced เขียนย่อๆว่า 1080i แต่ละรูปแบบเหล่านี้ใช้อัตราส่วน 16:9 ซึ่งในโทรทัศน์บางเครื่องมีความสามารถในการรับ HD ที่ 1920×1080 ที่อัตราเฟรมโปรเกรสซีฟสแกน 60 Hz ที่รู้จักกันคือ 1080p รูปแบบ HDTV ไม่สามารถส่งผ่านช่องทางโทรทัศน์อนาล็อกปัจจุบันได้เนื่องจากปัญหาความจุของช่องสัญญาณเมื่อเปรียบเทียบกับ โทรทัศน์ความละเอียดมาตรฐาน (SDTV) อาจจะใช้หนึ่งในรูปแบบที่แตกต่างกันโดยการเลือกรูปแบบที่หลากหลายของอัตราส่วนต่าง ๆ 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 ผู้ส่งกระจายเสียงอาจเลือกที่จะลดความละเอียดนี้เพื่อประหยัดแบนด์วิดท์ เช่น หลายช่อง DVB -T ในสหราชอาณาจักรใช้ความละเอียดในแนวนอนที่ 544 หรือ 704 พิกเซลต่อเส้น

2.4 โทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย

ประเทศไทยได้เลือกใช้การรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลแบบ DVB-T2 ซึ่งพัฒนาจาก DVB-T ตามประเทศในแถบยุโรปโดยมีคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. เป็นผู้จัดทำมาตรฐานการรับส่งทางสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล และได้กำหนดให้มีมาตรฐาน กสทช. มส. 4002-2555 ซึ่งเป็นมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

2.4.1 การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล

กสทช. ได้วางแผนระบบรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปเป็นระบบดิจิทัลตามรูปที่ 2.2 โดยมีเป้าหมายให้จำนวนครัวเรือนในเมืองใหญ่สามารถรับสัญญาณดิจิทัลได้ไม่น้อยกว่า 80% ภายในปี 2560



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล [1]

- ก.พ. 55 - ธ.ค. 56 กระบวนการออกใบอนุญาตทีวีดิจิทัลช่วงที่ 1
 - ก.พ. 55 เริ่มต้นแผนปรับเปลี่ยนสู่ระบบดิจิทัล
 - ส.ค. 55 ออกใบอนุญาตทีวีดิจิทัล โครงสร้างพื้นฐานโครงข่าย
 - ธ.ค. 55 ออกใบอนุญาตทีวีดิจิทัล กิจกรรมบริการสาธารณะ
 - ส.ค. 56 ออกใบอนุญาตทีวีดิจิทัล กิจกรรมทางธุรกิจ
 - ธ.ค. 56 ออกใบอนุญาตทีวีดิจิทัล กิจกรรมบริการชุมชน
- มิ.ย. 56 - มิ.ย. 57 กระบวนการออกใบอนุญาตโมบายล์ทีวี
- มิ.ย. 57- ธ.ค. 58 กระบวนการออกใบอนุญาตทีวีดิจิทัลช่วงที่ 2
- ม.ค. 2558 เริ่มกระบวนการยุติการรับส่งสัญญาณทีวีระบบอนาล็อก (Analog Switch Off)

ทั้งนี้ กสทช. ยังกำหนดให้ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ประเภทที่ใช้คลื่นความถี่ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลต้องขยายโครงข่ายให้สามารถครอบคลุมครัวเรือนทั่วประเทศ อย่างน้อยดังนี้

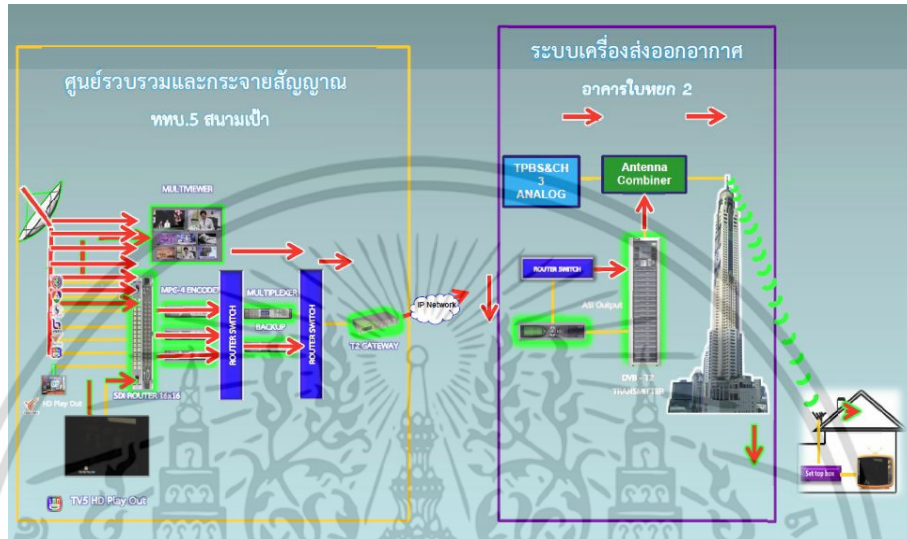
- ร้อยละ 50 ของจำนวนครัวเรือนภายใน 1 ปีนับจากวันที่ได้รับใบอนุญาต
- ร้อยละ 80 ของจำนวนครัวเรือนภายใน 2 ปีนับจากวันที่ได้รับใบอนุญาต
- ร้อยละ 90 ของจำนวนครัวเรือนภายใน 3 ปีนับจากวันที่ได้รับใบอนุญาต
- ร้อยละ 95 ของจำนวนครัวเรือนภายใน 4 ปีนับจากวันที่ได้รับใบอนุญาต

2.4.2 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. ได้ร่วมมือกับสถานีโทรทัศน์ 3 และสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5 เพื่อทดลองระบบการรับส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5 ตามรูปที่ 2.3 ได้เริ่มทดลองออกอากาศตั้งแต่วันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2556 โดยออกอากาศจากตึกไบหยกสอง และมีการตรวจวัดสัญญาณพบว่ามีรัศมีการออกอากาศของตึกไบหยกที่ 80 ถึง 90 km ตามรูปที่ 2.4



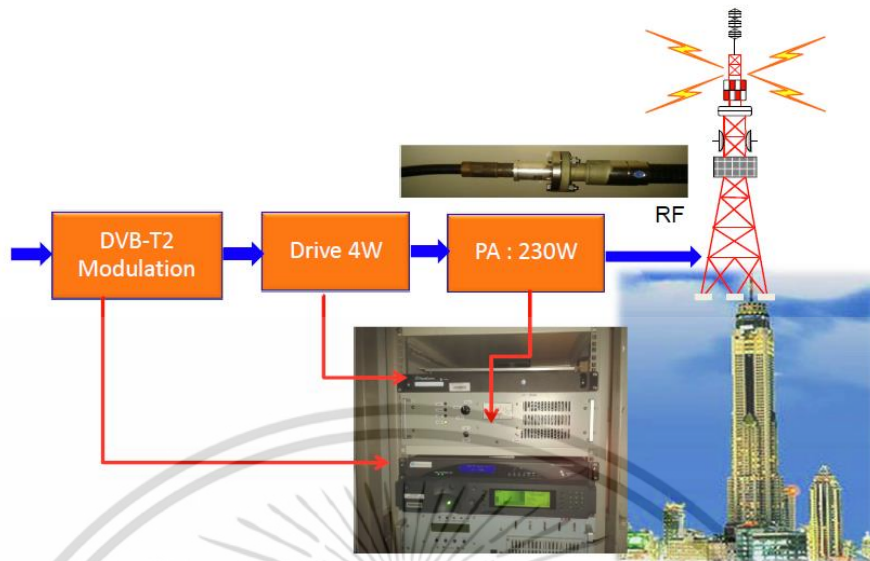
รูปที่ 2.3 การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5



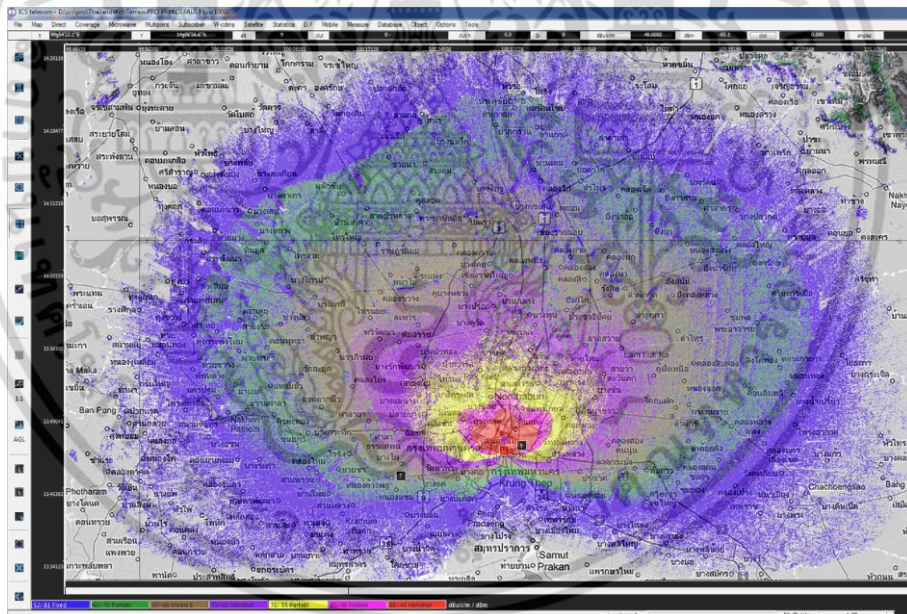
รูปที่ 2.4 ผลการทดสอบสัญญาณของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5 ที่ส่งจากตึกไบหยก

การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของช่อง 9 อสมท. ตามรูปที่ 2.5 ได้เริ่มทดลองออกอากาศจากตึกไบหยกสอง และมีการตรวจวัดสัญญาณ พบว่ามีรัศมีการออกอากาศของตึกไบหยกที่ 80 ถึง 90 km ตามรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของช่อง 9 อสมท.



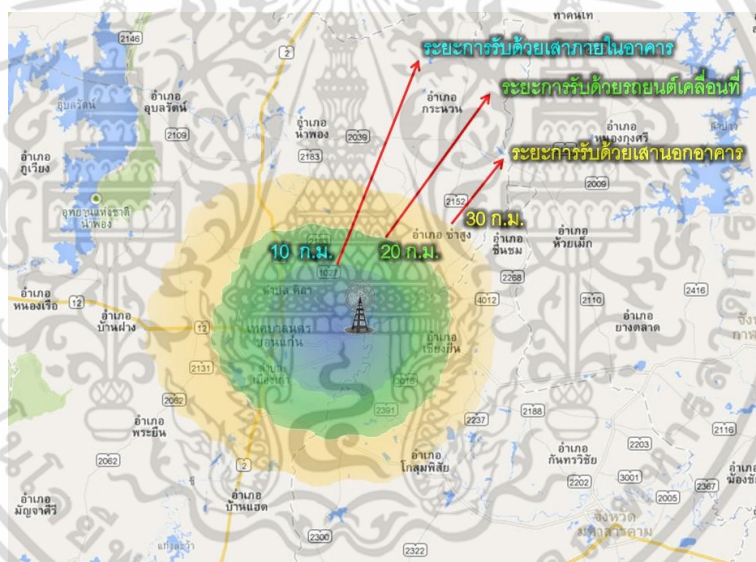
รูปที่ 2.6 ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของ อสมท. ที่ส่งจากตึกใบหยก

สถานีโทรทัศน์ ช่อง 9 อสมท. จังหวัดขอนแก่น ทดลองออกอากาศทีวีดิจิทัลเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2556 สัญญาณช่อง 44 ความถี่ 658 MHz กำลังส่ง 3 kW โดยใช้แผงสายอากาศแบบรอบตัวติดตั้งเสาที่ระยะความสูง 100 m หันเข้า อ.เมือง ขอนแก่น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งออกอากาศด้วยกำลังส่ง 3 kW จากกำลังส่งจริง 5 kW และได้ผลการวัดสัญญาณ ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลจังหวัดขอนแก่น



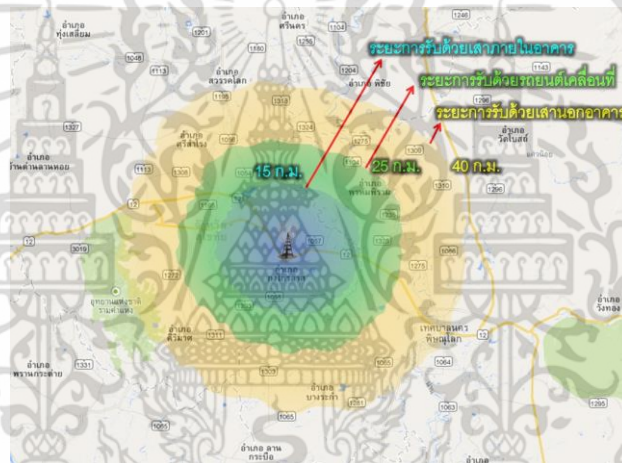
รูปที่ 2.8 ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลจังหวัดสุโขทัย



รูปที่ 2.10 ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลจังหวัดสุโขทัย

2.4.3 กล่องรับสัญญาณ (Set Top Box)

เครื่องรับโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่มีลักษณะจอแบน ส่วนใหญ่เป็นเครื่องรับโทรทัศน์ที่สามารถรับชมรายการที่ส่งมาเป็นระบบดิจิตอลได้ แต่ถ้าเป็นจอใหญ่ ๆ ดูเหมือนผู้ที่จะต้องมีอุปกรณ์เสริมคือกล่องแปลงสัญญาณเพื่อทำการแปลงสัญญาณเป็นระบบดิจิตอลซึ่งทำให้ทีวีแบบดั้งเดิมสามารถรับสัญญาณภาพและเสียงของระบบดิจิตอลได้ กล่องแปลงสัญญาณนี้เรียกว่า Set Top Box กสทช. ได้กำหนดมาตรฐานขั้นต่ำของเครื่องรับสัญญาณทีวีดิจิตอลภาคพื้นดินทั้งแบบมีจอภาพ (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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 จอภาพ (โทรทัศน์ที่รับสัญญาณระบบดิจิทัลได้) และแบบไม่มีจอภาพ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ และข้อกำหนดด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ

รายการ	ทีวี (มีจอภาพ)	กล่องรับสัญญาณ (ไม่มีจอภาพ)
ย่านความถี่วิทยุสำหรับ ภาครับสัญญาณ	470 MHz ถึง 862 MHz (UHF band IV/V) (bandwidth) 8 MHz	ความกว้างช่องสัญญาณ
การถอดรหัสสัญญาณ ภาพ	MPEG-4 AVC/H.264	
การแสดงผลภาพ	<ul style="list-style-type: none"> 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 และอัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9 และ 4:3 	
การถอดรหัส สัญญาณเสียง	ถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ 2 ช่องเสียง (stereo) แบบ MPEG-4 HE AACv2	
หัวต่อภาครับขาเข้า (RF Input Connector)	หัวต่อแบบตัว เมีย	หัวต่อแบบตัวเมีย และรองรับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 V ให้กับ สายอากาศแบบแอคทีฟ (active antenna)
หัวต่อภาครับขาออก (RF Loop-through)	-	หัวต่อแบบตัวผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ และข้อกำหนดด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ (ต่อ)

รายการ	ทีวี(มีจอภาพ)	กล่องรับสัญญาณ (ไม่มีจอภาพ)
หัวต่อสัญญาณภาพและเสียง	-	<ul style="list-style-type: none"> หัวต่อพร้อมสายสัญญาณแบบ RCA สำหรับเสียงขาออกแบบสเตอริโอ (stereo audio) หัวต่อพร้อมสายสัญญาณแบบ RCA สำหรับภาพขาออกแบบคอมโพสิต (composite) หัวต่อพร้อมสายสัญญาณแบบ HDMI ซึ่งสามารถป้องกันการทำสำเนา (HDCP) สำหรับสัญญาณขาออกดิจิทัล
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 <ol style="list-style-type: none"> วัน เดือน ปีและเวลาปัจจุบัน เวลาเริ่มรายการปัจจุบัน (now/present) และรายการถัดไป (next/follow) เวลาจบรายการปัจจุบัน (now/present) และรายการถัดไป (next/follow) หมายเลขช่อง (LCN) ชื่อตอน และ/หรือ ชื่อเรื่องของรายการ คำอธิบายโดยย่อ ประเภทรายการ 	
การปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้เป็นปัจจุบัน (System Software Update : SSU)	มีตามมาตรฐาน ETSI TS 102 006 แบบ simple profile	
รีโมทคอนโทรล (Remote Control)	มีปุ่มนูนสัมผัส (Tactile marking) บนปุ่มกดตัวเลข “5”	
การแสดงความสอดคล้องตามมาตรฐานทางเทคนิค	มีการแสดงว่าผ่านมาตรฐานที่ กสทช. กำหนด	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โทรศัพท์ดิจิทัลภาคพื้นดินสำหรับมือถือ

โทรศัพท์มือถือหมายถึงระบบการส่งโทรศัพท์ที่เครื่องรับโทรศัพท์มีลักษณะเป็นเครื่องรับโทรศัพท์แบบมือถือ หรือเป็นเครื่องโทรศัพท์มือถือซึ่งสามารถรับสัญญาณโทรศัพท์ได้ ซึ่งเดิมเครื่องรับโทรศัพท์ขนาดเล็กที่สามารถหิ้ว เคลื่อนย้ายได้ เรียกว่าโทรศัพท์ชนิดกระเป๋าหิ้ว สามารถรับสัญญาณโทรศัพท์เมื่อเคลื่อนย้ายจากสถานที่ แต่การรับสัญญาณโทรศัพท์ในระบบบอลลูนของโทรศัพท์แบบกระเป๋าหิ้วที่มีสายอากาศในตัวจะต้องปรับสายอากาศจึงจะสามารถรับสัญญาณโทรศัพท์ได้ชัดเจน แต่ถ้านำไปติดตั้งในยานพาหนะที่เคลื่อนที่ การรับสัญญาณโทรศัพท์ในระบบบอลลูนก็จะมีปัญหาสัญญาณภาพล้ม หรือหลุดหายระหว่างเคลื่อนที่ โทรศัพท์มือถือระบบดิจิทัล (Mobile TV) หรือเรียกอีกอย่างว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันมีความสามารถพิเศษในการรับสัญญาณโทรศัพท์ได้ดีในขณะที่เคลื่อนที่ การส่งสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการให้บริการโดยส่งบนเครือข่ายระบบการสื่อสารโทรคมนาคมทำให้สะดวกในการรับสัญญาณเนื่องจากระบบสื่อสารโทรคมนาคมมีเครือข่ายบริการครอบคลุมทั่วประเทศ ทำให้ให้ผู้รับบริการโทรศัพท์มือถือมีช่วงเวลาเพิ่มขึ้นสำหรับรับชมรายการโทรศัพท์ในปัจจุบัน ประเทศญี่ปุ่น ประเทศเกาหลี และประเทศอิตาลีเป็นผู้นำกลุ่มแรกที่ทำธุรกิจในการส่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบการส่งโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือโทรศัพท์มือถือสามารถให้บริการผ่านสื่อเครือข่ายวิทยุในลักษณะการใช้งานหลายรูปแบบ คือ ในรูปแบบการส่งสัญญาณให้ผู้รับเพียงรายเดียว (Unicast) ส่งสัญญาณให้กลุ่มผู้รับหลาย ๆ รายพร้อมกัน (Multicast) และการส่งโทรศัพท์แพรรภาพออกอากาศให้ผู้รับบริการโทรศัพท์ทั่วไป (Broadcast)

การส่งสัญญาณให้ผู้รับเพียงรายเดียว (The unicast system) เป็นการส่งสัญญาณโทรศัพท์ขนาดเล็ก (video files) หรือการส่งสัญญาณรายการโทรศัพท์บนระบบโทรศัพท์เซลลูล่าไปยังเครื่องรับโทรศัพท์มือถือเพียงเครื่องเดียวต่อครั้ง ระบบโทรศัพท์ 3G (The third-generation) เป็นตัวอย่างเทคโนโลยีที่ส่งสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลในระบบ unicast ผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือระบบเครือข่าย 3G สามารถให้บริการการส่งสัญญาณโทรศัพท์พร้อมกันไปด้วย อย่างไรก็ตามระบบโทรศัพท์ 3G มีความจำกัดในการให้บริการจุดต่อจุด จึงไม่สามารถบริการผู้รับบริการรับชมโทรศัพท์จำนวนมากได้ และค่าใช้จ่ายในการส่งสัญญาณโทรศัพท์ยังมีราคาสูง

การส่งรายการโทรศัพท์บนเครือข่ายโทรศัพท์เซลลูล่า 3G ที่สามารถบริการแก่ผู้รับบริการได้หลาย ๆ คนพร้อมกัน ระบบการส่งสัญญาณขึ้นอยู่กับระยะทางการส่งสัญญาณ และการเชื่อมสัญญาณของเครือข่ายของผู้ให้บริการหลาย ๆ รายซึ่งการส่งสัญญาณโทรศัพท์ส่งสัญญาณในลักษณะการส่งบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (IP : Internet Protocol) การส่งระบบ multicast สามารถส่งข้อมูลรายการโทรศัพท์ไปยังผู้รับโทรศัพท์ได้หลายราย แต่การเพิ่มปริมาณผู้รับบริการหมายถึงการเพิ่มค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับแถบความถี่วิทยุ (bandwidth) ที่ใช้งานเพิ่มขึ้น

ระบบการแพรรภาพโทรศัพท์ออกอากาศสามารถแยกการใช้ความถี่วิทยุเพื่อส่งรายการโทรศัพท์โดยเฉพาะซึ่งเครื่องรับโทรศัพท์มือถือสามารถรับสัญญาณทั้งสองอย่างพร้อมกันคือเครื่องรับโทรศัพท์มือถือและเครื่องรับโทรศัพท์มือถือ ทำให้ผู้ใช้โทรศัพท์มือถือสามารถรับสัญญาณโทรศัพท์ได้จำนวนมากทุกราย

2.6 มาตรฐานการส่งโทรทัศน์มือถือ

ปัจจุบันนี้มีการนำเสนอมาตรฐานการส่งโทรทัศน์มือถือหลายระบบ โดยมาตรฐานการส่งโทรทัศน์มือถือที่โลกยอมรับยังมีไม่มากนัก ระบบการส่งโทรทัศน์มือถือที่เป็นที่ยอมรับที่ได้นำมาใช้งานหรืออยู่ระหว่างการทดลองใช้งานที่เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์มือถือสำคัญมีอยู่ 3 มาตรฐาน คือ

1. Digital Multimedia Broadcast (DMB)
2. Integrated Services Digital Broadcast-Terrestrial (ISDB-T)
3. Digital Video Broadcast-Handheld (DVB-H)

การส่งโทรทัศน์ระบบมาตรฐาน DMB เป็นการให้บริการโทรทัศน์มือถือที่ใช้มาตรฐาน Eureka-147 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการส่งกระจายเสียงระบบดิจิทัล (Digital Audio Broadcast : DAB) มาทำการปรับปรุงในการส่งโทรทัศน์มือถือ ในขณะที่ T-DMB เป็นมาตรฐานเครือข่ายการส่งโทรทัศน์มือถือภาคพื้นที่ใช้คลื่นความถี่ Band III และ Band L ในการส่งโทรทัศน์มือถือผ่านดาวเทียม S-DMB ใช้ย่านความถี่ Band L การบริการส่งโทรทัศน์มือถือได้ให้บริการเชิงพาณิชย์ ในประเทศเกาหลีใต้ และทำการทดลองในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ประเทศเยอรมัน และสหราชอาณาจักร (อังกฤษ) มาตรฐานการส่งโทรทัศน์มือถือ T-DMB และ S-DMB มีข้อจำกัดในการให้บริการคือ ระบบการส่งโทรทัศน์มือถือภาคพื้นดิน (T-DMB) ครอบคลุมเขตบริการได้น้อย และเหมาะสำหรับการรับสัญญาณที่ไม่เคลื่อนที่มากกว่าใช้ในการรับสัญญาณเคลื่อนที่ แม้ว่าการส่งโทรทัศน์มือถือมีข้อดีอยู่ แต่การรับบริการก็ให้บริการโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งโทรทัศน์มือถือผ่านดาวเทียม (S-DMB) ซึ่งมีปัญหาในการรับสัญญาณด้วยคุณภาพเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมในอาคารหรืออยู่ใต้ดิน

การส่งโทรทัศน์มือถือมาตรฐาน ISDB-T เป็นการพัฒนาโดยประเทศญี่ปุ่นจากการส่งโทรทัศน์ดิจิทัลมาตรฐานภาคพื้นดินมีการแทรกการส่งสัญญาณโทรทัศน์มือถือรวมในสัญญาณโทรทัศน์มาตรฐานภาคพื้นดิน คือ แบ่งการช่องความถี่การส่งโทรทัศน์ในการส่งโทรทัศน์มาตรฐานภาคพื้นดิน เป็น 12 ส่วน ความถี่ส่วนที่ 13 ใช้ในการส่งโทรทัศน์มือถือ ข้อสังเกตเกี่ยวกับมาตรฐาน ISDB-T พลังงานที่ใช้งานจากแบตเตอรี่น้อย เครื่องรับโทรทัศน์มือถือราคาสูง และใช้แถบความถี่น้อย (Low Bandwidth)

การส่งโทรทัศน์มือถือมาตรฐาน DVB-H เป็นการออกแบบเฉพาะสำหรับการส่งโทรทัศน์มือถือ ซึ่งใช้ งานร่วมกับระบบมาตรฐานการส่งโทรทัศน์มาตรฐานภาคพื้นดิน (DVB-T) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้งานในกลุ่มประเทศยุโรป DVB-H เป็นการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของระบบการส่งโทรทัศน์มาตรฐาน DVB-T ที่มีข้อดีที่เหนือกว่าใช้พลังงานแบตเตอรี่น้อย และสามารถปรับปรุงการรับสัญญาณในสภาพแวดล้อมภายในอาคารและนอกอาคาร และการใช้งานลักษณะเคลื่อนที่ซึ่งมีความแตกต่างในการรับสัญญาณที่คุณภาพต่างกันให้สามารถรับสัญญาณได้ดี ด้วยการใช้สายอากาศภายในตัวเครื่องรับ

DVB-H ได้เสนอช่องสัญญาณการส่งข้อมูลในอัตราความเร็วสูง ซึ่งสามารถใช้ในลักษณะแยกอิสระ หรือ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้โทรศัพท์มือถือ การใช้เทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า Time-slicing ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับโทรศัพท์มือถือมีการส่งข้อมูลเป็นช่วง ๆ และในช่วงที่ไม่มีข้อมูล เครื่องรับโทรศัพท์มือถือจะปิดพลังงานที่ใช้ทำให้ประหยัดพลังงานของแบตเตอรี่ของเครื่องรับโทรศัพท์มือถือขนาดเล็ก การบริการส่งโทรทัศน์มือถือที่ใช้มาตรฐาน DVB-H ได้มีผู้ประกอบการภาคธุรกิจนำมาใช้ในการส่งโทรทัศน์มือ ในกลุ่มประเทศยุโรป สหรัฐอเมริกา และเวียดนาม ในขณะที่ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกหลายประเทศอยู่ระหว่างทดลองส่งโทรทัศน์ใน ระบบมาตรฐาน DVB-H

มาตรฐานการส่งโทรทัศน์มือจำนวนหนึ่งที่น่าเสนอในตลาด ปรากฏว่า DVB-H เป็นที่ยอมรับว่ามีอยู่ในตลาดค่อนข้างสูงมาก การวิเคราะห์อย่างเป็นกลางพบว่าสาเหตุสำคัญมาจากการพัฒนาเรื่องระบบการบริการ อุปกรณ์ ทั้ง Hardware และ Software ที่กำหนดเป็นมาตรฐานซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับเหตุผลดังกล่าวมีดังนี้ คือ

(ก) การนำเสนอมาตรฐาน DVB-H เป็นมาตรฐานของผู้ผลิตที่ทำโครงการส่งโทรทัศน์ DVB ข้อดีและคุณสมบัติของเทคโนโลยี รวมทั้งเครือข่ายที่ใช้งานสามารถควบคุมจากผู้ประกอบการรายเดียวกัน

(ข) ความรวดเร็วในการดำเนินการ และค่าลงทุน DVB-H ใช้อุปกรณ์เสาอากาศที่มีอยู่ในการส่ง สัญญาณระบบเซลลูลาร์ ที่ใช้ความถี่ย่านความถี่สูง UHF (Ultra High Frequency) Band ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการใช้คลื่นความถี่ในย่านนี้ และผลของการรบกวนสัญญาณกับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบอนาล็อกที่ใช้งานอยู่เดิม หรือการสื่อสารอื่น ๆ ในย่านความถี่ดังกล่าว

(ค) DVB-H ใช้เทคนิค MPE-FEC (Multi-Protocol Encapsulation Forward Error Correction) ใช้เวลาน้อยมากในการเปลี่ยนเข้ารหัส 1.5 วินาที ทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ ไม่มีข้อมูลสูญหายในระบบการส่งสัญญาณในลักษณะเคลื่อนที่

(ง) มีช่องสัญญาณและรายการโทรทัศน์ให้เลือกจำนวนมาก DVB-H สามารถส่งช่องสัญญาณได้ 9 -18 ช่องสัญญาณในช่องความถี่ 6 MHz ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อกำหนดรายละเอียดความชัดเจนของ ภาพ ถ้ากำหนดความชัดเจนสูง ช่องรายการก็จะน้อยลงในช่องที่ส่งสัญญาณโทรทัศน์มือถือยังสามารถส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียง และการบริการสื่อมัลติมีเดียเพิ่มรวมรวมเข้าไปด้วยกัน และ ข้อมูลอื่น ๆ เช่น การส่งข้อความโดยส่งผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์

(จ) คุณภาพของสัญญาณภาพโทรทัศน์เป็นที่ยอมรับ โดย DVB-H ส่งสัญญาณภาพได้ 15-30 ภาพต่อวินาทีซึ่งเพียงพอสำหรับผู้รับบริการจากเครื่องรับโทรทัศน์มือถือในการรับชมรายการโทรทัศน์ได้อย่างสนุกสนานแม้ว่า DVB-H ที่ได้เปรียบในการแข่งขันสูงในตลาดขณะนี้ แต่ก็มีข้อจำกัดเรื่องย่านความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ DVB-H ซึ่งมีพื้นฐานมาจากมาตรฐาน DVB-T การจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับเครือข่ายของ DVB-H จะถูกลดปริมาณลงเพื่อนำไปใช้งานสำหรับเครือข่ายของ DVB-T ตัวอย่าง เช่น ผู้ควบคุมการใช้คลื่นความถี่ต้องการให้ผู้ใช้งานกำหนดการใช้คลื่นความถี่ DVB-H ยังไม่สามารถตกลงรายละเอียดข้อกำหนดความถี่ในสหภาพโทรคมนาคมโลกได้ (ITU : International Telecommunications Union) ในการวางแผนจัดสรรคลื่นความถี่ใหม่ในปี พ.ศ. 2549 และยังไม่ได้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล

2.7 มาตรฐานของการส่งโทรทัศน์มือถือ

กลุ่มสหภาพยุโรปมีความต้องการที่จะเร่งให้มีการเลือกมาตรฐานเดียวในการส่งโทรทัศน์มือถือในกลุ่มประเทศยุโรป กลุ่มสหภาพยุโรป (EU) จะเลือกเพียงมาตรฐานเดียวในปี พ.ศ. 2551 โดยจะเลือกใช้ DVB-H ในขณะที่ผู้ประกอบการโทรทัศน์มือถือคาดหวังจากกลไกทางตลาดเป็นตัวเลือกระบบมาตรฐาน

- GPRS
- 3G
- DVB-H/SH
- S-DMB (Satellite Digital Multimedia Broadcast) ประเทศเกาหลีใต้ และประเทศ

ญี่ปุ่น

- CMMB (China Mobile Multimedia Broadcasting) ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน
- MediaFLO ให้บริการในประเทศสหรัฐอเมริกา และมีการทดลองในสหราชอาณาจักร

(อังกฤษ) และ ประเทศเยอรมัน

- ISDB-T (Integrated Service Digital Broadcasting) ประเทศญี่ปุ่น และประเทศบราซิล
- 1 seg (One Segment) เป็นโทรทัศน์มือถือในระบบมาตรฐาน ISDB-T

- T-DMB (Terrestrial Digital Multimedia Broadcast) ประเทศเกาหลีใต้ และประเทศเยอรมัน

- DAB-IP (Digital Audio Broadcast) สหราชอาณาจักร (อังกฤษ)

2.8 การส่งโทรทัศน์มือถือผ่านเครือข่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial)

วิธีการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินของโทรทัศน์ระบบอนาล็อกหรือระบบดิจิทัลมีลักษณะเหมือนกันโดยใช้เครือข่ายสถานีเครื่องส่งโทรทัศน์เป็นตัวถ่ายทอดสัญญาณ แต่การส่งโทรทัศน์มือถือมีมาตรฐานระบบส่งสัญญาณต่างกันในการเข้ารหัสสัญญาณโทรทัศน์ เช่น เครือข่าย 3G ใช้ในการส่งโทรทัศน์มือถือ T-DMB (Terrestrial Digital Multimedia Broadcast), MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service), MediaFLO (a proprietary Qualcomm technology) และ DVB-H

DVB-H เป็นระบบการส่งโทรทัศน์มือถือที่ดัดแปลงมาจาก DVB-T ซึ่งเป็นระบบการส่งโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินที่ให้บริการในพื้นที่กลุ่มประเทศยุโรป DVB-H ใช้เทคโนโลยี OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) เป็นการใช้แถบคลื่นความถี่ (Bandwidth) ที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ OFDM เป็นแบ่งคลื่นความถี่ในการส่งสัญญาณหลายความถี่ในแถบคลื่นความถี่ที่ใช้งาน (การส่งโทรทัศน์แบบอื่นใช้ส่งคลื่นความถี่เดียวในแถบคลื่นความถี่ที่ใช้งาน) ข้อมูลสัญญาณโทรทัศน์จะถูกแบ่งข้อมูลกระจายเพื่อแยกส่งไปกับคลื่น ความถี่หลาย ๆ คลื่น การแบ่งคลื่นส่งวิทยุเป็นคลื่นสัญญาณวิทยุย่อย ๆ หลายความถี่ คือ ระบบ 2K Mode = 1705 carriers และระบบ 8K Mode = 6817 carriers โดยในแต่ละคลื่นความถี่ย่อยสามารถผสมสัญญาณวิทยุ ในระบบ QPSK เนื่องจากระบบการส่งใช้คลื่นความถี่มากและในการส่งสัญญาณมีการสะท้อนของคลื่นสัญญาณมากจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องออกแบบต่างจากการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมและในเคเบิล และในการรับสัญญาณอาจมีความผิดพลาดจึงมีการใช้ error correcting (Reed-Solomon) ข้อมูลภาพและเสียงที่ถูกแบ่งเป็นส่วน ๆ อาจมีหลายรายการส่งออกไปพร้อมกัน เมื่อถูกส่งแพร่ภาพออกอากาศไปแล้ว เครื่องรับโทรทัศน์เมื่อรับสัญญาณแล้วก็จะนำมาจัดการและแบ่งออกเป็นสัญญาณโทรทัศน์หลาย ๆ รายการที่ได้รับในการส่งโทรทัศน์มือถือ DVB-H ก่อนที่จะส่งออกอากาศโดยการเข้ารหัส COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) จะต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลที่ลดขนาดข้อมูลให้น้อยลง หรือที่เรียกว่าการบีบอัดสัญญาณ (compress signal) โดยใช้มาตรฐาน H.264 (MPEG-4) สำหรับสัญญาณภาพ และ AAC สำหรับสัญญาณเสียงจากนั้นก็ส่งข้อมูลทั้งหมดผ่านเข้าไปในระบบ 3G streaming server ระบบการส่งสัญญาณนี้ยังใช้เทคนิคแบ่งการส่งสัญญาณเป็นช่วงเวลา (time slicing technique) เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องโทรทัศน์มือถือ ส่วนอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดสำหรับการส่งโทรทัศน์มือถือ DVB-H คือ 15 Mbps



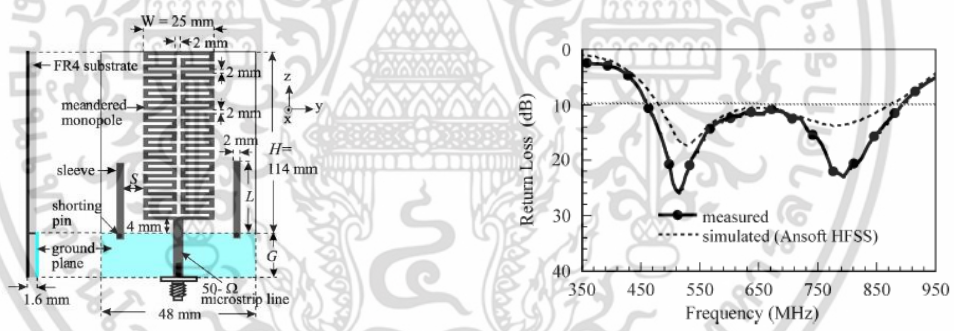
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อน

หัวข้อนี้จะเป็นการศึกษางานวิจัยสายอากาศโทรทัศนระบบดิจิทัลรูปแบบต่างๆ สำหรับใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสายอากาศของงานวิจัยนี้ นอกจากนั้นจะทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับงานวิจัยของสายอากาศภาครับ โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว เพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์สำหรับสายอากาศมือถือเพื่อรับสัญญาณโทรทัศนระบบดิจิทัล โดยนำเอาโครงสร้างของสายอากาศที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ รวมถึงทำการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศ

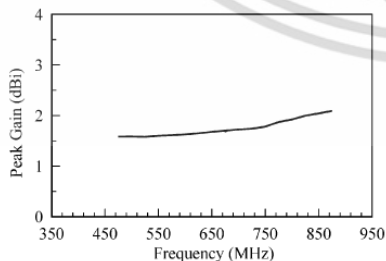
2.9.1 งานวิจัยสายอากาศโทรทัศนระบบดิจิทัลที่มีมาก่อน

สายอากาศอ้างอิงที่ [5] ซึ่งเป็นผลงานของ H.-D. Chen และคณะที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2008 ดังรูปที่ 2.12(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 114 mm x 25 mm x 3 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 459 MHz ถึง 891 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.12(ข) มีอัตราขยายมากที่สุด 2.1 dBi โดยประมาณตามรูปที่ 2.12(ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวที่มีโพลาริไซในแนวตั้งซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 459 MHz ถึง 891 MHz ดังรูปที่ 2.12(ง)

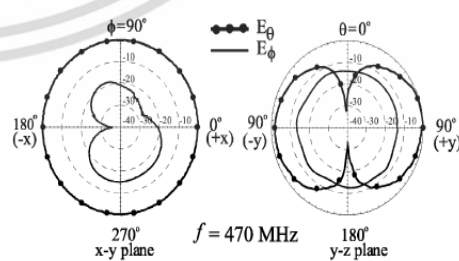


(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



(ค) อัตราขยาย



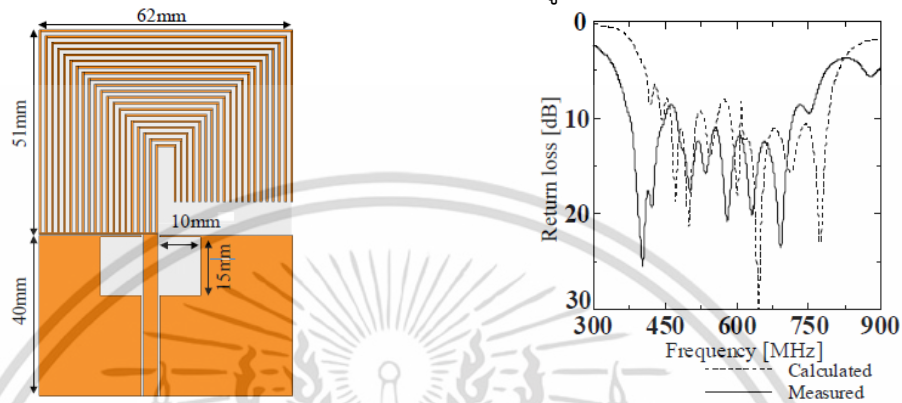
(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.12 สายอากาศโมโนโพลไมโครสติปพร้อมระนาบกราวนด์

สำหรับประยุกต์ใช้งานโทรทัศนดิจิทัล [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศอ้างอิงที่ [6] ซึ่งเป็นผลงานของ S. Kashihara และคณะที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2009 ดังรูปที่ 2.13 (ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 91 mm x 62 mm x 1.6 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 440 MHz ถึง 770 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.13 (ข) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 440 MHz ถึง 770 MHz ดังรูปที่ 2.13 (ค)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

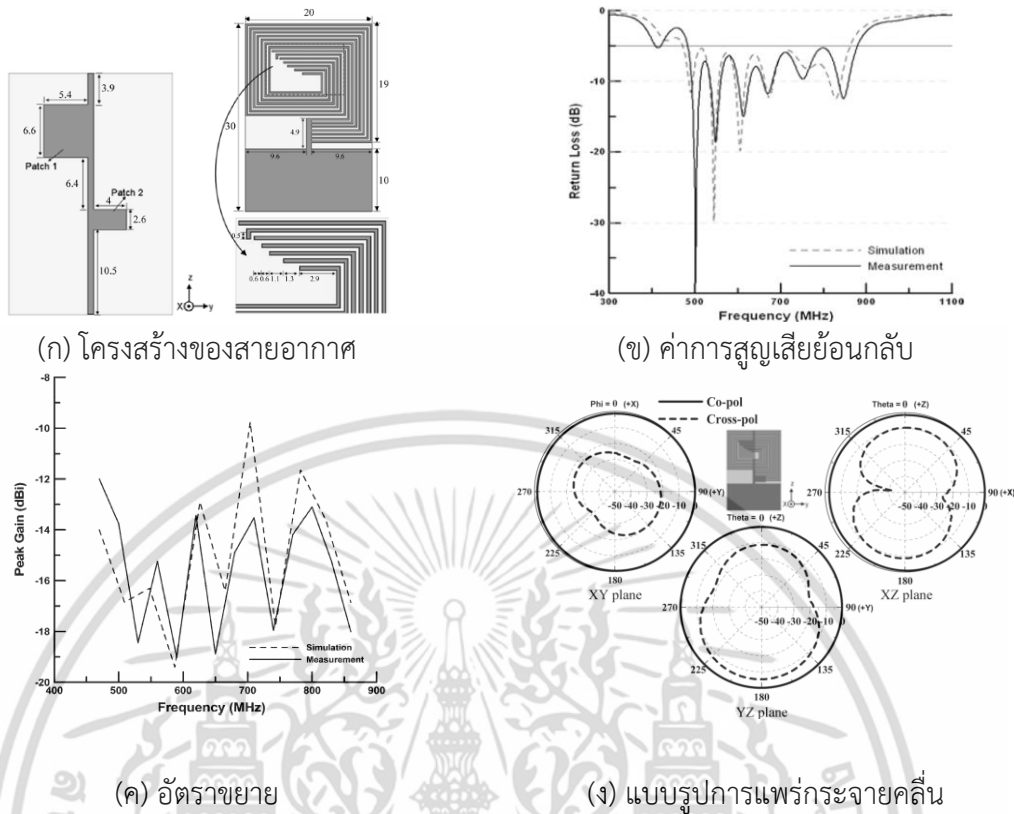
(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.13 สายอากาศโมโนโพลรูปอักษรตัวเจสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ [6]

สายอากาศอ้างอิงที่ [7] ซึ่งเป็นผลงานของ D.-B. Lin และคณะที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.14 (ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 30 mm x 20 mm x 0.4 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14 (ข) มีอัตราขยายมากที่สุด -12 dBi โดยประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ในระนาบ xy xz และ yz ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz ถึง 810 MHz ดังรูปที่ 2.14 (ง)

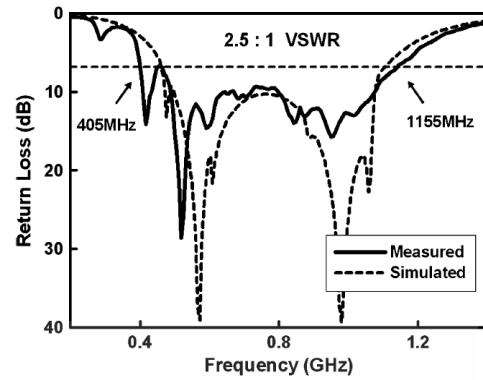
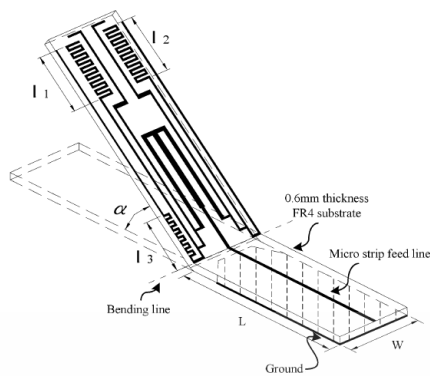
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 สายอากาศแบบเกลียว สำหรับรับสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิทัล [7]

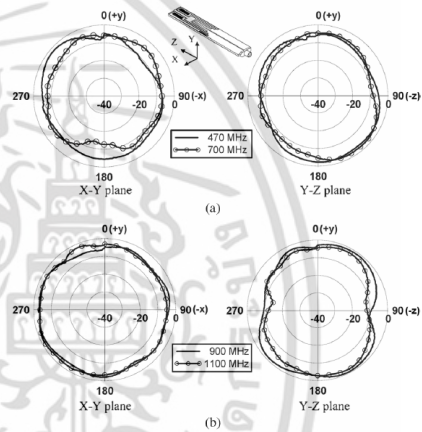
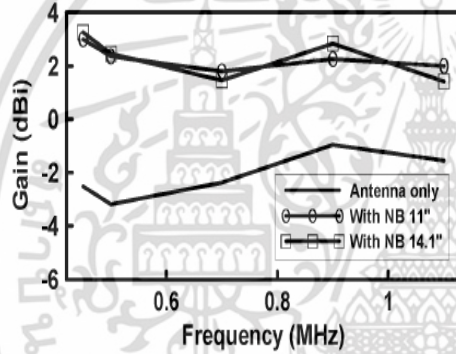
สายอากาศอ้างอิงที่ [8] ซึ่งเป็นผลงานของ C.-K. Hsu และคณะที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดยสายอากาศถูกแสดงได้ดังรูปที่ 2.15(ก) มีขนาดทางกายภาพ 165 mm x 60 mm x 20 mm² สายและย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 ถึง 860 MHz สำหรับรับสัญญาณระบบดิจิทัลทีวี และที่ความถี่ 860-1142 MHz สำหรับสื่อสารระบบ GSM โดยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง แสดงดังรูปที่ 2.15(ข) มีอัตราขยายมากที่สุด 2.35 และ 2.25 dBi โดยประมาณตามรูปที่ 2.15 (ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางที่ซึ่งพิจารณาที่ความถี่ 470 MHz 700 MHz 900 MHz ถึง 1100 MHz ดังรูปที่ 2.15(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



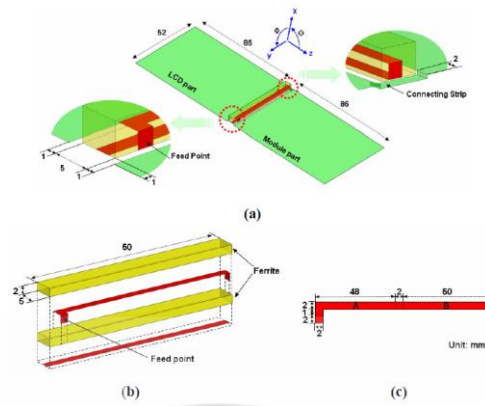
(ค) อัตราขยายสายอากาศ

(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

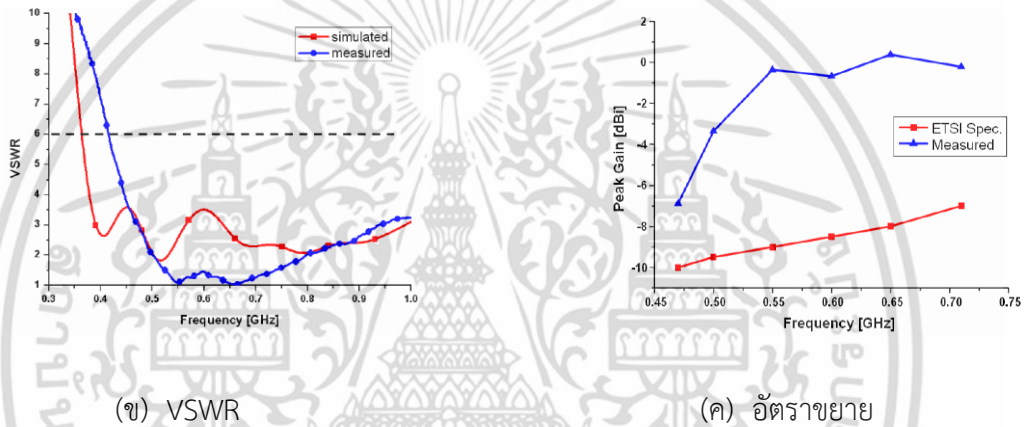
รูปที่ 2.15 สายอากาศแบบโมโนโพลรูปร่างข้อันสำหรับประยุกต์ใช้งานแบบยูเอสบี สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล [8]

สายอากาศอ้างอิงที่ [9] ซึ่งเป็นผลงานของ Chang-Hyun Park และคณะที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2008 โดยมีโครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นพับดังรูปที่ 2.16 (ก) มีขนาดทางกายภาพ 50 mm x 5 mm x 2 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 ถึง 710 MHz โดยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง แสดงดังรูปที่ 2.16(ข) มีอัตราขยายมากที่สุด -6.9 dBi ถึง 0.38 dBi โดยประมาณตามรูปที่ 2.16 (ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางที่ซึ่งพิจารณาที่ความถี่ 470 MHz 600 MHz และ 710 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



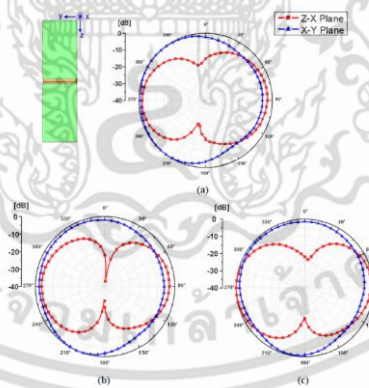
(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) VSWR

(ค) อัตราขยาย

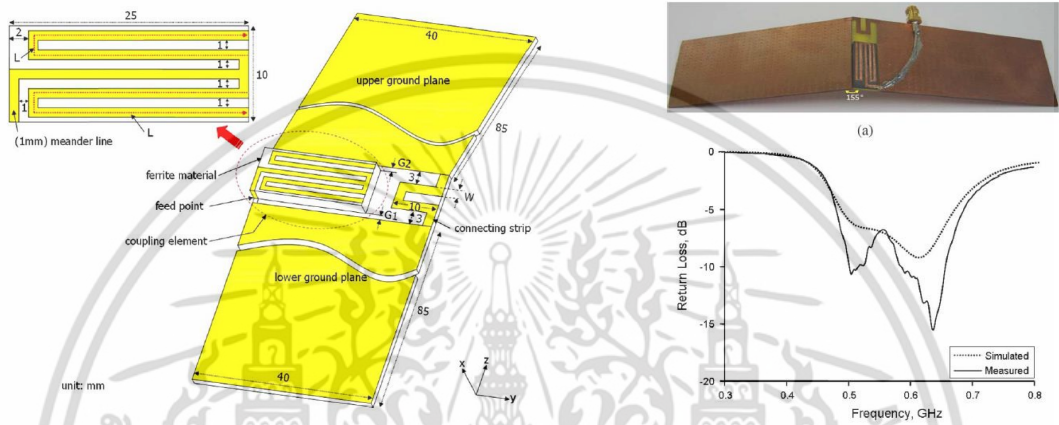
(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 2.16 สายอากาศสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้วัสดุฐานรองเป็นเฟอร์ไรท์สำหรับรับสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิตอล [9]

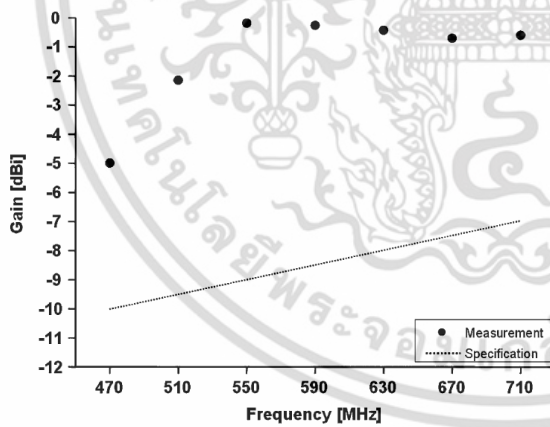
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศอ้างอิงที่ [10] ซึ่งเป็นผลงานของ H. Rhyu และคณะที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2009 โดยสายอากาศถูกแสดงได้ดังรูปที่ 2.17(ก) มีขนาดทางกายภาพ 50 mm x 5 mm x 2 mm สายอากาศดังกล่าวสามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 468 ถึง 719 MHz ดังรูปที่ 2.17 (ข) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง แสดงดังรูปที่ 2.17(ค) มีอัตราขยายมากที่สุด -10 dBi ถึง -7 dBi โดยประมาณตามรูปที่ 2.17 (ง) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางที่มีความถี่ 470 MHz 590 MHz และ 710 MHz

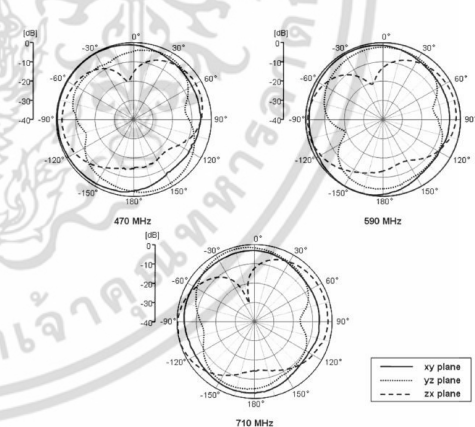


(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



(ค) อัตราขยาย

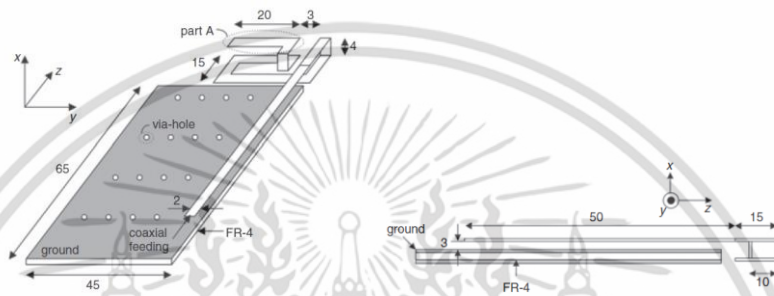


(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

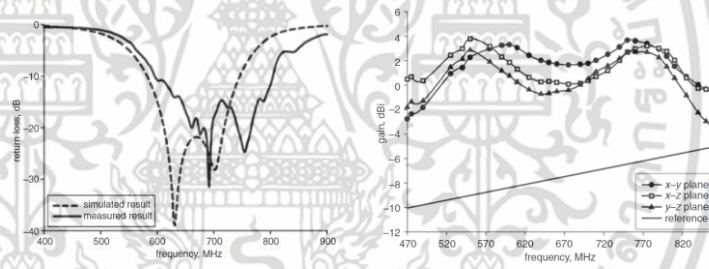
รูปที่ 2.17 สายอากาศแบบแผ่นพับและใช้การคลิบปลิงโดยใช้เฟอร์ไรท์ สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศอ้างอิงที่ [12] ซึ่งเป็นผลงานของ D.H. Choi และคณะที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2006 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.19(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 25 mm x 15 mm x 4 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 702 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.19 (ข) มีอัตราขยาย -3 dBi โดยประมาณ แสดงดังรูปที่ 2.19(ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางในระนาบ xy xz และ yz ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz 600 MHz 700 MHz 800MHz และ 860 MHz ดังรูปที่ 2.19 (ง)

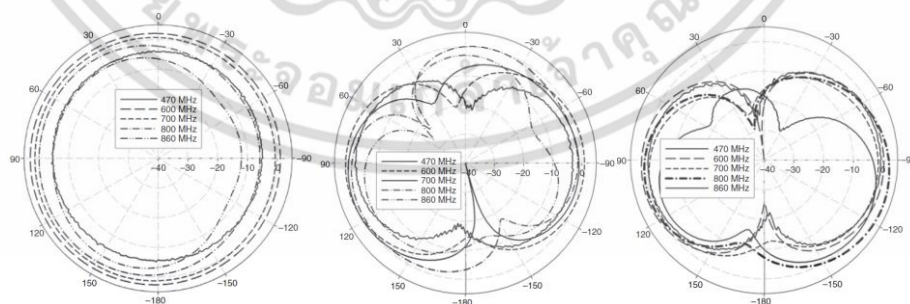


(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

(ค) อัตราขยาย

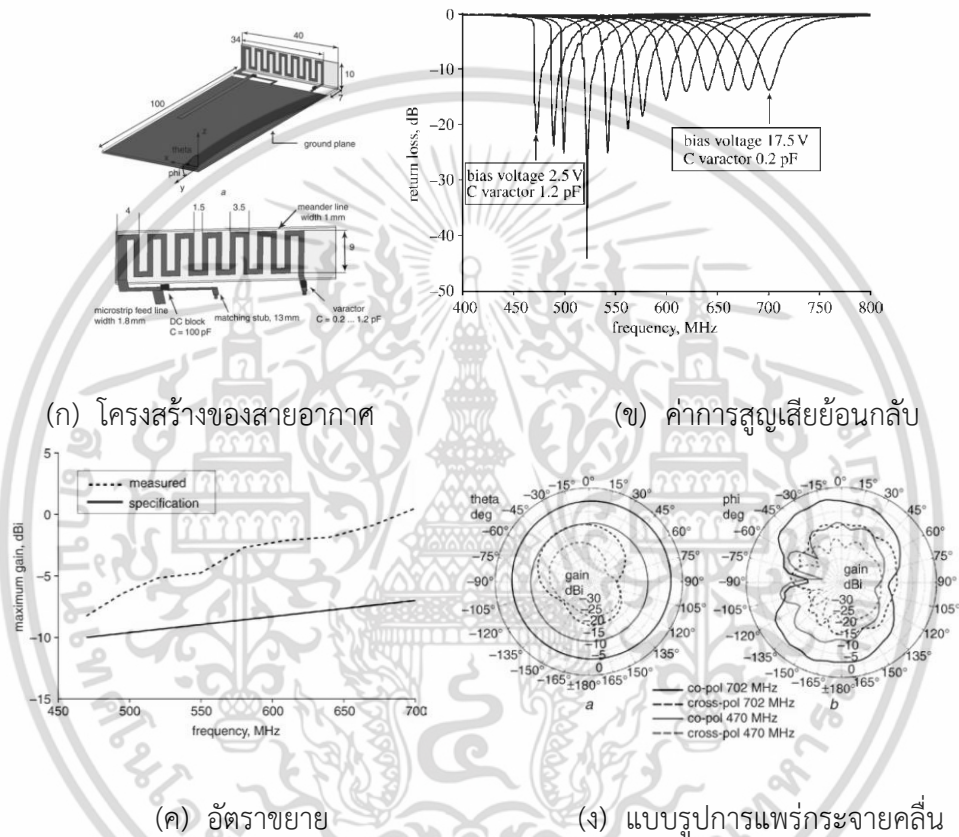


(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.19 สายอากาศแบบโนโพลสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

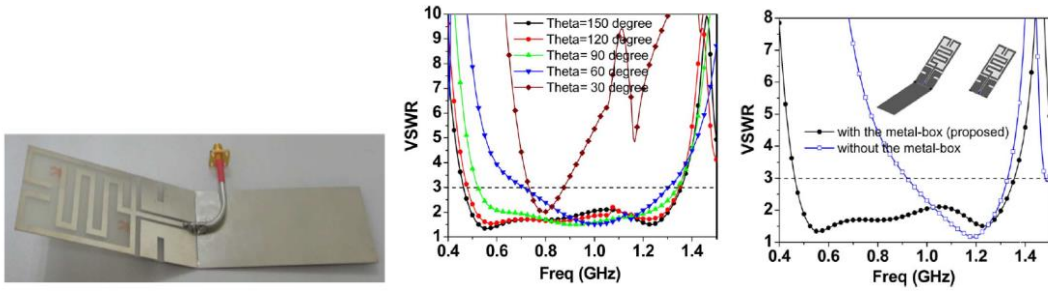
สายอากาศอ้างอิงที่ [13] ซึ่งเป็นผลงานของ M. Komulainen และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2007 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.20 (ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 34 mm x 0.8 mm x 10 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 702 MHz ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.20 (ข) มีอัตราขยายมากที่สุด -8.5 dBi ที่ความถี่ 470 MHz และ 0.5 dBi ที่ความถี่ 702 MHz แสดงดังรูปที่ 2.20 (ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ในระนาบ xy xz ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz และ 702 MHz ดังรูปที่ 2.20(ง)



รูปที่ 2.20 สายอากาศแบบไมโนโพลโดยใช้วาร์เร็กเตอร์และการชดววงวนสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [13]

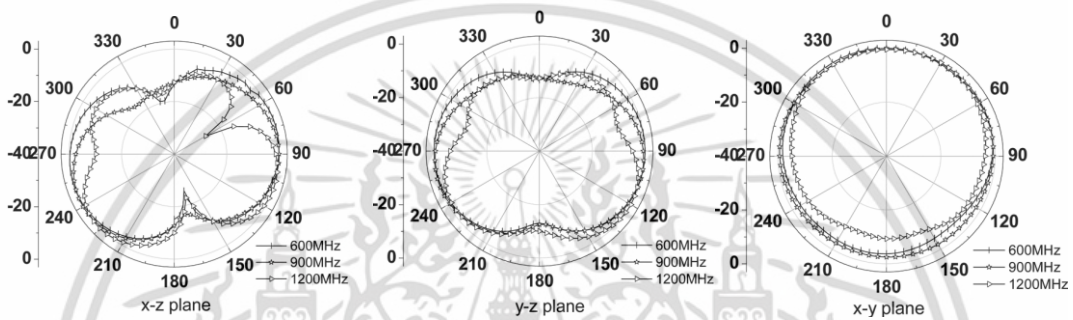
สายอากาศอ้างอิงที่ [14] ซึ่งเป็นผลงานของ Shao-Li Zuo และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2013 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.21 (ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาดทางกายภาพ 100 mm x 44 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 860 MHz สำหรับรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล 746 MHz ถึง 787 MHz ความถี่ 824-894/890-960 MHz สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.21 (ข) มีอัตราขยายมากที่สุด 2.1 ถึง 2.8 dBi ที่ความถี่ 470 MHz และ 0.5 dBi ที่ความถี่ 702 MHz แสดงดังรูปที่ 2.21 (ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ในระนาบ xy xz yz ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz และ 702 MHz ดังรูปที่ 2.20 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

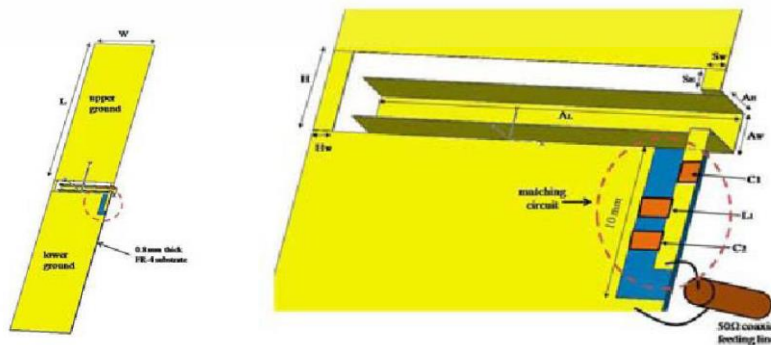
(ข) VSWR



(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

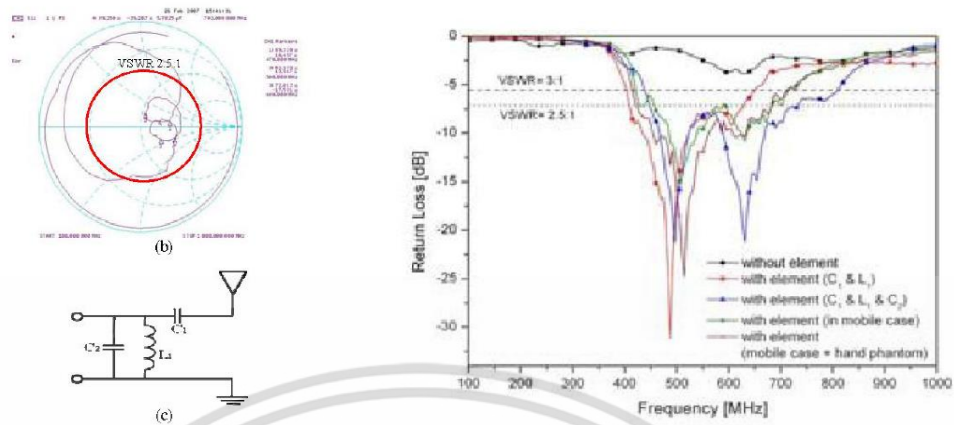
รูปที่ 2.21 สายอากาศแบบขดคววนโมนโพลกับพาราซิติคสตริปสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ [14]

สายอากาศอ้างอิงที่ [15] ซึ่งเป็นผลงานของ Jung-Nam Lee และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2007 โดยสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.22 (ก) สายอากาศดังกล่าวมีระนาบกราวด์ขนาดทางกายภาพ 100 mm x 44 mm ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 702 MHz ผลโดยใช้วงจรแมตซิ่งซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.22 (ข) การจำลองและผลการทดสอบคุณลักษณะของค่า $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.22 (ค) และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ซึ่งพิจารณาตั้งแต่ความถี่ 470 MHz 600 MHz และ 702 MHz ดังรูปที่ 2.22 (ง)



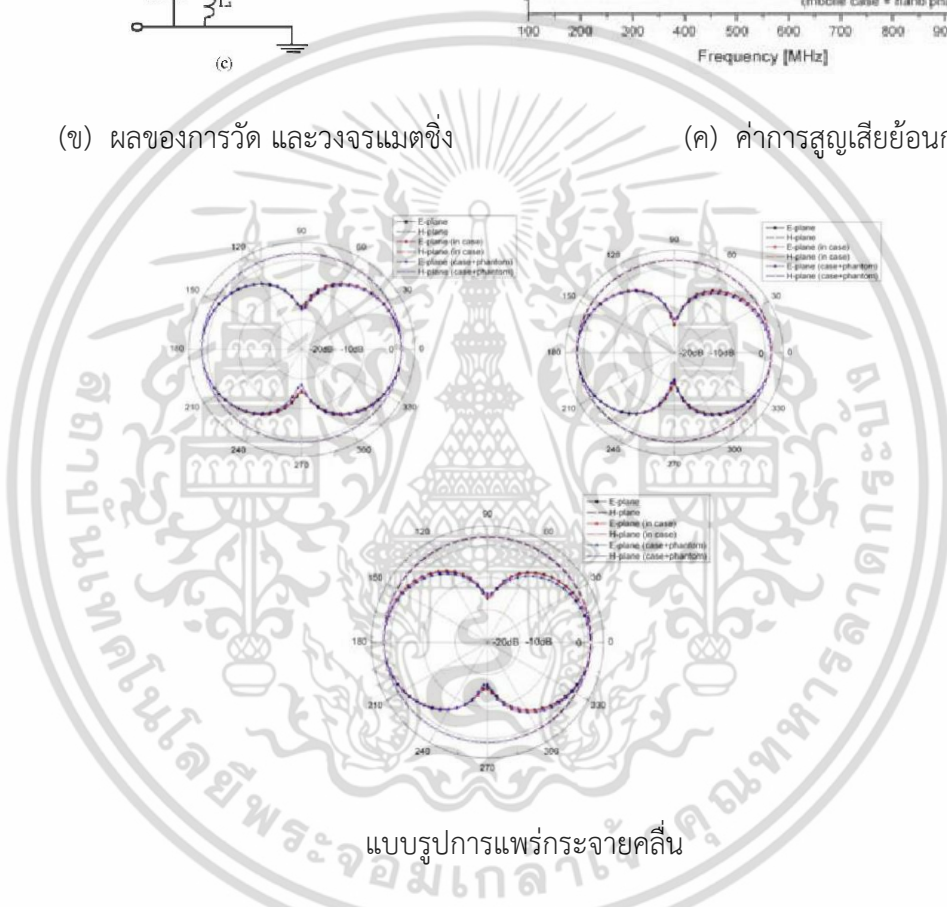
(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ผลของการวัด และวงจรแมตซิ่ง

(ค) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.22 สายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลบรอดแบนด์โดยใช้วงจรแมตซิ่ง [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของผลงานวิจัยที่มีมาก่อน

ผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	ขนาดของสายอากาศ (mm)	ช่วงความถี่ใช้งาน (MHz)	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	อัตราขยาย (dBi)
[5]	114x25x3	459 ถึง 891	รอบทิศทาง	1.5 ถึง 2.1
[6]	91x62x1.6	440 ถึง 770	รอบทิศทาง	-
[7]	30x20x0.4	470 ถึง 862	รอบทิศทาง	-12
[8]	165x60x20	470 ถึง 860	รอบทิศทาง	2.35
[9]	50x5x2	470 ถึง 710	รอบทิศทาง	-6.9 ถึง 0.38
[10]	50x5x2	468 ถึง 719	รอบทิศทาง	-10 ถึง -7
[11]	50x8x2	470 ถึง 710	รอบทิศทาง	-10 ถึง -7
[12]	25x15x4	470 ถึง 702	รอบทิศทาง	-3
[13]	34x0.8x10	470 ถึง 702	รอบทิศทาง	-8.5 ถึง 0.5
[14]	100x44	470 ถึง 860	รอบทิศทาง	2.1 ถึง 2.8

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [5]- [14] พบว่าเป็นการออกแบบสายอากาศรอบทิศทางที่ ซึ่งสายอากาศส่วนใหญ่ครอบคลุมความถี่ใช้งานสอดคล้องตามระบบ DVB-T2 และเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างขนาดเล็กมีแบนด์วิดท์กว้าง และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง โดยอาศัยเทคนิคต่าง ๆ ในการออกแบบสายอากาศ อาทิเช่น การขมวดวน การเพิ่มวงจรแมตซิ่ง เพื่อให้สายอากาศมีขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้าง และการใช้คุณสมบัติของไดอิเล็กตริกของวัสดุเพื่อใช้ในการลดขนาดของสายอากาศ

2.10 สรุป

บทนี้ได้เสนอทฤษฎีและหลักการของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยเริ่มจากประวัติความเป็นมา รวมทั้งมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยได้ออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลแล้ว ซึ่งได้รับความสนใจจากสื่อมวลชน ประชาชน รวมไปถึงผู้ประกอบการทางด้านกิจการโทรทัศน์ การแบบสายอากาศที่นำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบโทรทัศน์ดิจิตอลสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ จะอาศัยหลักการของโครงสร้างและคุณสมบัติของสายอากาศมาประยุกต์ใช้งานในการออกแบบให้ครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz ระบบ DVB-T2 และสอดคล้องตามแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นในระบบดิจิตอลสำหรับประเทศไทย กำหนดความถี่วิทยุ 510-790 MHz วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการออกแบบสายอากาศแบบพกพาที่มีแบนด์วิดท์กว้าง ขนาดเล็ก ครอบคลุมความถี่ใช้งาน

บทที่ 3

การประยุกต์วัสดุแม่เหล็กกับสายอากาศ

3.1 บทนำ

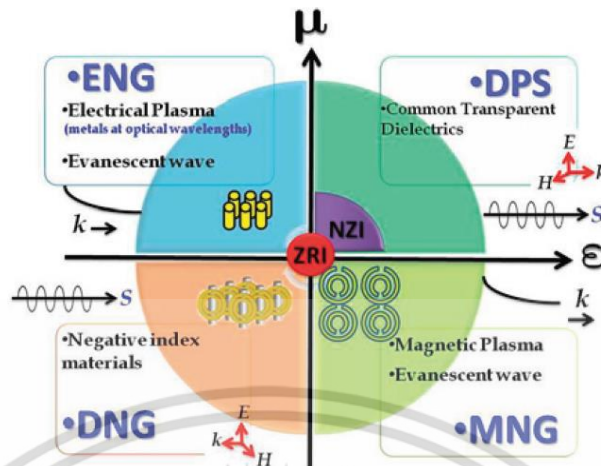
ปัจจุบันการรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลได้กลับมาเป็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สาย เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป โทรศัพท์มือถือ และยานพาหนะสำหรับการใช้งานดังกล่าว สายอากาศขนาดเล็กจึงมีความสำคัญมากและเป็นประเด็นที่ถูกนำวิธีในการลดขนาดของสายอากาศ และมีหลายวิธีได้ถูกนำมาลดขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศ โดยหยาบการพิจารณาในเรื่องของคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่น และค่าสูญเสียของวัสดุ ได้แก่ ไดอิเล็กตริก (Dielectric) ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก (Magneto-Dielectric) อภิวัด (Metamaterial) และเรโซเนเตอร์แบบแยกวงแหวน (Split ring resonators) เป็นต้น [16]

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา อภิวัดหรืออภิวัด (Metamaterial) ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ วิศวกรและนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากอภิวัดมีคุณสมบัติพิเศษซึ่งไม่ปรากฏโดยทั่วไปในวัสดุตามธรรมชาติและคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำมาใช้งานชดเชยหรือทดแทนข้อจำกัดของวัสดุตามธรรมชาติทำให้เกิดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมใหม่ ๆ ขึ้นตามมาอภิวัดถูกนิยามว่าเป็น วัสดุประดิษฐ์เชิงวิศวกรรมซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่ปรากฏตามธรรมชาติ โดยคุณสมบัติของวัสดุเหล่านั้นปกติเกิดจากโครงสร้างมากกว่าการจัดเรียง (Composition) จากการผนวกกันของวัสดุขนาดเล็ก (ปกติจะมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นมาก) ที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน (Inhomogeneous) เพื่อทำให้เกิดคุณสมบัติประสิทธิผลในระดับมาโคร (Macroscopic) อย่างที่ทราบกันเป็นอย่างดี ตัวอย่างที่มีผลต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการผนวกตัวของอนุภาคของโมเมนต์ทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก (Electric and Magnetic Moments) ซึ่งผลกระทบในระดับมาโครจะอยู่ในรูปของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าความซึมซาบแม่เหล็กประสิทธิผล (Effective Permittivity : ϵ_{eff} and Permeability : μ_{eff}) ของตัวกลางขนาดใหญ่ (Bulk Medium) ดังนั้น อภิวัดสามารถที่จะประกอบขึ้นจากการฝังของวัสดุประดิษฐ์หลายชนิดรวมตัวกันเข้าไปในตัวอย่างหรือผิวของตัวกลางที่กำหนดซึ่งผู้ออกแบบสามารถเลือกพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้อย่างอิสระ ตัวอย่างเช่น คุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวกลาง ขนาด รูปร่าง และส่วนประกอบที่จะใส่เข้าไปไม่ว่าจะเป็นความหนาแน่นหรือการจัดวางตำแหน่งเพื่อให้ได้ผลตอบสนองพิเศษทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่สามารถเกิดขึ้นจากวัสดุตามธรรมชาติทั่วไปในการทำวิจัยของอภิวัดแรกเริ่ม ผู้วิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นวิจัยเกี่ยวกับวัสดุที่มีดัชนีหักเห (Refractive Index: n) ที่มีค่าเป็นลบ (Negative Refractive Index) เนื่องจาก $n \pm \sqrt{\epsilon\mu}$ ดังนั้นดัชนีหักเหเป็นลบจึงเกิดจากค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (ϵ) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) เป็นลบทั้งคู่ ($\epsilon < 0$ และ $\mu < 0$) ซึ่งจะเรียกวัสดุนี้ว่า DNG (Double Negative Medium) เนื่องจากวัสดุ DNG มีคุณสมบัติตรงข้ามกับวัสดุส่วนใหญ่ในธรรมชาติซึ่งมีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าความซึมซาบแม่เหล็กเป็นบวกทั้งคู่ ($\epsilon > 0$ และ $\mu > 0$) (Double Positive Medium: DPS) โดยแนวคิดของวัสดุเชิงซ้อนที่มีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าความซึมซาบแม่เหล็กเป็นลบทั้งคู่ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ปี ค.ศ.1968 นักวิจัย Veselgo ได้ตั้งสมมติฐานและหาคำตอบเชิงทฤษฎีว่าเมื่อคลื่นระนาบเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าความซึมซาบแม่เหล็กเป็นลบทั้งคู่จะเกิดผลอย่างไร ผลการศึกษาของเขาพบว่าทิศทางของพอยน์ติงเวกเตอร์ (Pointing Vector) จะขนานกับทิศทางของความเร็วเฟสแต่มีทิศทางตรงกันข้าม (Anti-parallel) ซึ่งตรงกันข้ามกับกรณีที่คลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลาง DPS เมื่อใช้คลื่นระนาบเดียวกัน (ทิศทางของพอยน์ติงเวกเตอร์ขนานและมีทิศทางเดียวกันกับความเร็วเฟส) สำหรับอภิวัดที่มีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าความซึมซาบแม่เหล็กเป็นลบทั้งคู่มีการเรียกกันหลายชื่อ ไม่ว่าจะเป็น DNG มาจากค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าความซึมซาบแม่เหล็กเป็นลบทั้งคู่ NRI (Negative Refractive Index) มาจากคุณสมบัติของวัสดุที่มีมุมหักเหเป็นลบ LHM (Left Handed Medium) ปกติวัสดุทั่วไปจะใช้กฎมือขวาของปริมาณเวกเตอร์สามตัวคือ สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และทิศทางของการเคลื่อนที่ แต่อภิวัดจะสอดคล้องกับการใช้กฎมือซ้าย BW (Backward Wave) มาจากนิยามของ Veselgo เพราะทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่นตรงกันข้ามกับทิศทางของพอยน์ติงเวกเตอร์และ NPV (Negative Phase Velocity) มาจากคุณสมบัติของคลื่นเมื่อเดินทางผ่านอภิวัดจะทำให้เวกเตอร์เฟสมีค่าเป็นลบนอกจากนี้วัสดุบางชนิดในช่วงความถี่หนึ่งอาจจะมีค่า ϵ หรือ μ มีค่าอย่างใดอย่างหนึ่งเป็นลบจะเรียกอภิวัดเหล่านี้ว่า SNG (Single Negative Medium) โดยวัสดุที่มีค่า ϵ เป็นลบเรียกว่า ENG (Epsilon Negative Medium) และ μ เป็นลบ เรียกว่า MNG (Mu Negative Medium) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ปรากฏว่ามีวัสดุที่มีคุณสมบัติ DNG เกิดขึ้นเองธรรมชาติตามรายงาน ณ ปัจจุบัน ถึงกระนั้นอภิวัดก็สามารถทำให้อภิวัดมีคุณสมบัติได้ทั้ง DNG SNG หรือ DPS นอกจากนี้คุณสมบัติที่ไม่ปกติของอภิวัดที่ได้รับความสนใจอย่างมากอีกอย่างคือวัสดุที่มีดัชนีหักเหเป็นศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์ (Zero Refractive Index: ZRI or Near Zero Refractive Index: NZI) จากดัชนีหักเหเพราะฉะนั้นกรณีที่ $n=0$ หรือ $n \rightarrow 0$ จะเกิดได้ทั้งหมดสามกรณี คือ 1) เมื่อ $\epsilon = 0$ หรือ $\epsilon \rightarrow 0$ ส่วน μ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง ($\mu \geq 1$) จะเรียกกรณีว่า ENZ (Epsilon Near Zero) 2) เมื่อ ($\mu = 0$) หรือ $\mu \rightarrow 0$ ส่วน ϵ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง ($\epsilon \geq 1$) จะเรียกว่า MNZ (Mu Near Zero) และ 3) เมื่อ $\epsilon = \mu = 0$ จะเรียกว่า DZI (Double Zero Index) หรือกรณี $\epsilon \rightarrow 0$ และ $\mu \rightarrow 0$ จะเรียกว่า MENZ (Mu-Epsilon Near Zero) ถึงแม้ว่าทั้งสามกรณีจะมีค่า $n=0$ หรือ $n \rightarrow 0$ แต่เมื่อพิจารณาจะมีคุณสมบัติอย่างอื่นจะแตกต่างกัน เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ของคลื่นในกรณีของ ENZ จะพบว่า $\eta \rightarrow \infty$ กรณีของ MNZ จะมี $\eta \rightarrow 0$ และ $\eta = 1$ จะเกิดในกรณีของ DZI ซึ่งอาจจะเรียกกรณีที่ $\eta = 1$ ว่าเป็นวัสดุที่มีอิมพีแดนซ์เข้าคู่กับอิมพีแดนซ์ของคลื่นในอวกาศว่าง (Matched-impedance Medium) ดังนั้น จากข้อมูลข้างต้นเราอาจจะอธิบายคุณสมบัติของวัสดุในระดับมาโครด้วยพารามิเตอร์ของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (ϵ และ μ) พารามิเตอร์ทั้งสองนี้สามารถนำมาแบ่งกลุ่มของวัสดุได้แสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังสภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าซึมซาบแม่เหล็ก [4]

การใช้วัสดุในการออกแบบวัสดุฐานรองโดยการลดขนาดของสายอากาศแผ่นพิมพ์ (Printed Antenna) หรือสายอากาศไมโครสตริปส่วนใหญ่สามารถทำได้โดยใช้แผ่นพิมพ์หรือวัสดุฐานรองที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก constant: ϵ_r) ที่สูง เนื่องจากความยาวคลื่นในแผ่นพิมพ์ $\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$ อย่างไรก็ตามผลจากการเพิ่ม ϵ_r ให้สูงขึ้นปกติแล้วจะทำให้แบนด์วิดธ์ของสายอากาศลดลง รวมทั้งจะทำให้เกิดคลื่นที่ผิว (Surface Wave) มากขึ้นซึ่งทำให้ประสิทธิภาพสายอากาศลดลง จากความสัมพันธ์ $\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$ จะพบว่านอกจาก ϵ_r แล้วยังสามารถเพิ่ม μ_r ได้เช่นกันแต่ข้อจำกัดของการเพิ่ม μ_r คือวัสดุที่มีค่า μ_r สูงจะใช้ได้กับความถี่ที่ไม่สูงมากนักหรือที่ใช้ได้ก็มีราคาค่อนข้างสูงมากเมื่อเทียบกับแผ่นที่มี ϵ_r สูง แต่ข้อดีของวัสดุที่มีค่า μ_r สูงที่เหนือกว่าการเพิ่ม ϵ_r สูงคือการเข้าคู่กันของอินทรินสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance : η) ของวัสดุกับอิมพีแดนซ์ของคลื่นในอวกาศว่าง ($\eta_0 = 120 \pi$) โดย $\eta_0 = \frac{\mu_0 \mu_r}{\epsilon_0 \epsilon_r}$ ซึ่งจะพบว่าเมื่อเพิ่ม ϵ_r ให้สูงขึ้น η จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและห่างออกจาก η_0 ในทางตรงกันข้ามในการเพิ่ม μ_r จะสามารถทำให้ η_0 และ η เข้าคู่กันได้ เพื่อข้ามข้อจำกัดของวัสดุแม่เหล็กที่มีตามธรรมชาติและข้อดีของการเพิ่ม μ_r ในการออกแบบสายอากาศ จึงมีผู้วิจัยหลายท่านนำแนวคิดของอภิวัดออกมาออกแบบในการเพิ่ม μ_r โดยไม่ใช้วัสดุแม่เหล็ก (Non-magnetic Material) แต่ใช้การผนวกกันของโลหะหรือ (และ) ชั้นไดอิเล็กตริกในการออกแบบวัสดุแม่เหล็กประดิษฐ์ (Artificial Magnetic Material: AMM) โดยเฉพาะการนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวัสดุฐานรองของสายอากาศแผ่นพิมพ์และไมโครสตริปจะเรียกอภิวัดฐานรองที่มี μ_r และ ϵ_r มากกว่าหนึ่งว่าวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก (Magneto-ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก Material: MDM) การออกแบบวัสดุแม่เหล็กประดิษฐ์ที่มี μ_r มากกว่าหนึ่ง เพื่อทำให้สายอากาศไมโครสตริปมีแบนด์วิดธ์ที่กว้างมากขึ้นตามอัตราส่วนของ $\frac{\mu_r}{\epsilon_r}$ และมี

ขนาดที่ลดลงตามตัวประกอบการทำให้ขนาดลดลง การนำคุณสมบัติของ MNG มาออกแบบวัสดุฐานรองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประดิษฐ์เพื่อทำการ ลดขนาดของสายอากาศและเพิ่มแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์ รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการแผ่กระจายคลื่น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังผู้วิจัยได้นำเสนอการออกแบบวัสดุฐานรองที่ใช้ทั้ง DPS ร่วมกับ DNG ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสองแถบความถี่ ตัวอย่างการใช้วัสดุในการออกแบบวัสดุ เป็นารออกแบบสายอากาศไมโครสตริปบนวัสดุ MDM โดยใช้โครงสร้าง SRR (Split Ring Resonator) เรียงกันซึ่งทำให้ μ_r มีค่ามากกว่าหนึ่งในช่วงความถี่ช่วงหนึ่งซึ่งส่งผลทำให้ขนาดของแพตช์มีขนาดลดลงตามค่าของ ϵ_r และ μ_r จะใช้วัสดุฐานรองผสมระหว่าง DNG และ DPS จากผลวิจัยพบว่าสามารถทำให้สายอากาศเกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใด ๆ โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดของแพตช์ แต่จะใช้การเปลี่ยนค่าของ ϵ_r และ μ_r ใน DNG หรือ DPS ปัจจุบันวัสดุฐานรองมีคุณสมบัติที่แตกคุณสมบัติที่มีสารไดอิเล็กตริกและสารแม่เหล็กมาใช้งาน โดยการกำหนดคุณสมบัติประเภทของสารแม่เหล็กดังนี้

3.2 สารแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเบตต์ ชาร์จ (Bound charge) ในวัสดุต่าง ๆ โดยสนามแม่เหล็กเกิดจาก 3 แหล่ง คือ

- การโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส
- การหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน
- การหมุนรอบตัวเองของนิวเคลียส

การเกิดโมเมนต์แม่เหล็กต่าง ๆ ขึ้นทำให้เกิดคุณลักษณะที่แตกต่างกันของสารต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ชนิด ตามกฎของแมกเวลล์ ดังนี้

Diamagnetic ในขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กจากภายนอกมากระทำในเนื้อสารนั้น จะมีสนามแม่เหล็กน้อย ๆ ที่ถูกสร้างมาจากโคจรของอิเล็กตรอน หักล้างกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนทำให้สนามแม่เหล็กรวมเป็นศูนย์ นั่นคือ ไม่มีคุณสมบัติของแม่เหล็กถาวร ได้แก่ บิสมีท ไฮโดรเจน ฮีเลียม ก๊าซเฉื่อยอื่น ๆ ทองแดง ทองคำ เงิน เป็นต้น ซึ่งสามารถเกิดได้จากวัสดุทุกชนิด

Paramagnetic เป็นผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการโคจรกับการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนหักล้างกันไม่หมด แต่เนื่องจากการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของโมเมนต์แม่เหล็กถาวรเป็นศูนย์ แต่ถ้าถูกสนามไฟฟ้าแม่เหล็กภายนอกมากระทำเป็นผลให้สนามรวมภายในลดลงวัสดุนี้เรียกว่า Diamagnetic แต่ถ้าสนามรวมภายในเพิ่มขึ้น เรียกว่า Paramagnetic ได้แก่ โปรแตสเซียม ออกซิเจน ทังสแตน เป็นต้น นั่นคือวัสดุนี้มีคุณสมบัติแม่เหล็กถาวรอ่อน ๆ

Ferromagnetic เนื่องจากแต่ละอะตอมมีไดโพลโมเมนต์ที่มีค่าค่อนข้างแรงเนื่องจากการชดเชยไม่ดีของโมเมนต์ จากการโคจรของอิเล็กตรอนจนผลรวมมีการหักล้างกันหมดได้ ถ้ามีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำ เป็นผลให้โมเมนต์ที่มีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอกทำให้สนามแม่เหล็กภายในเกิดขึ้นมากมาย แต่เมื่อสนามแม่เหล็กภายนอกออกการจัดตัวเรียงอย่างไม่เป็นระเบียบอย่างเดิมจะกลับคืนมาแต่ไม่หมดจึงเหลือสนามแม่เหล็กตกค้างอยู่บ้าง ซึ่งปรากฏการณ์ที่โมเมนต์แม่เหล็กแต่ไปจากเดิมหลังจากที่สนามแม่เหล็กหลังจากที่สนามแม่เหล็กภายนอกถูกนำออกไป เรียกว่า hysteresis ได้แก่ เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ วัสดุนี้ถือว่ามีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Antiferromagnetic เนื่องจากแรงอะตอมข้าง ๆ ก่อให้เกิดโมเมนต์ของอะตอมเรียงตัวในลักษณะสวนทางกัน ทำให้โมเมนต์แม่เหล็กรวมเป็นศูนย์สนามแม่เหล็กภายนอกไม่มีผลกับวัสดุชนิดนี้ได้แก่ นิเกิลออกไซด์ เหล็กซัลไฟด์ โคบอลต์คลอไรด์ นั้น คือสนามแม่เหล็กหักล้างเป็นศูนย์จึงไม่ค่อยมีความสนใจทางวิศวกรรม

Ferrimagnetic เนื่องโมเมนต์ของอะตอมข้างกันเรียงตัวสวนกันแต่ว่ามีขนาดไม่เท่ากันมีผลต่อการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กภายนอกอย่างมาก แต่ไม่มากเท่าสาร Ferromagnetic กลุ่มที่สำคัญของสารนี้เฟอร์ไรต์ ซึ่งมีความนำไฟฟ้าต่ำ ทำให้ความต้านทานสูงกว่า Ferromagnetic เมื่อเกิดสนามแม่เหล็กภายนอกมากกระทำทำให้กระแสไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาจะมีค่าน้อยกว่าทำให้เฟอร์ไรต์เหมาะจะทำงานเป็นหม้อแปลงความถี่สูง เราเรียกการลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำนี้ว่า eddy currents ดังนั้น สารนี้มีคุณสมบัติแม่เหล็กถาวรหักล้างไม่หมดแต่มากกว่า Antiferromagnetic

Superparamagnetic เกิดจากการนำอนุภาค Ferromagnetic ไปใส่ในสาร nonferromagnetic แต่ไม่สามารถทะลุไปยังอนุภาคข้าง ๆ ได้ ทำให้แต่ละอนุภาคเป็นสารแม่เหล็กได้อิสระได้แก่แถบแม่เหล็กต่าง ๆ ซึ่งสามารถสร้างโดยนำฟิล์มบางของสารพวกนี้ไปวางบนเทปเช่น ไมลาร์

3.3 การศึกษาวิธีในการลดขนาดของสายอากาศ

Y. Hao และคณะ [16] ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศโดยเฉพาะเรื่องลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยาย ประสิทธิภาพ และแบนด์วิดธ์ของสายอากาศขนาดเล็กโดยใช้ไดอิเล็กตริก (Dielectric) ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก (Magneto-Dielectric) เรโซเนเตอร์วงแหวนแยก (CSSR) และอภิวัด (Metamaterial) โดยศึกษาทั้งขนาดทางกายภาพ ขนาดทางไฟฟ้า และความถี่ โดยมีความพยายามมาอย่างยาวนานในการคิดค้นหาวิธีต่าง ๆ ในการสร้างสายอากาศขนาดเล็ก วิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ คือ การใช้ไดอิเล็กตริกที่มีค่าอินยอมทางไฟฟ้าสูง (high permittivity : ϵ) เพื่อลดขนาดความยาวของท่อนำคลื่นและขนาดโดยรวมของสายอากาศ แต่วิธีนี้มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดข้อเสียดังกล่าวคือทำให้ขนาดแบนด์วิดธ์ของสายอากาศลดลง การแก้ปัญหาในสายอากาศแบบแพตช์ที่อยู่บนวัสดุฐานรองที่มีค่าอินยอมทางไฟฟ้าสูงสามารถทำได้โดยการใช้ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก อภิวัด ร่วมกันในองค์ประกอบของสายอากาศ

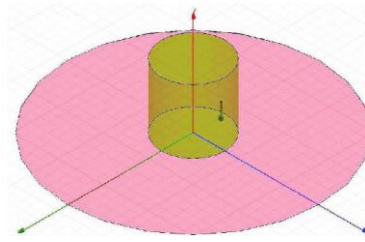
Y. Hao และคณะ [16] ได้กล่าวว่าวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กสามารถลดขนาดของสายอากาศโดยใช้ค่าของความอินยอมไฟฟ้าและค่าความซึมซับทางแม่เหล็ก (Permeability : μ) วัสดุเฟอร์ไรต์ส่วนใหญ่มีค่าความสูญเสียสูงในย่านความถี่ VHF และสูงกว่าแต่ความสูญเสียแม่เหล็กควรมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อรักษาประสิทธิภาพของสายอากาศงานวิจัยในช่วงหลังมานี้ได้พยายามนำไดอิเล็กตริกแม่เหล็กซึ่งมีโครงสร้างเป็นแม่เหล็กประดิษฐ์หรืออภิวัด เช่น เรโซเนเตอร์แบบวงแหวนแยก (Split ring resonators : SSRs) นำมาเพื่อลดขนาดของสายอากาศและการปรับปรุงคุณภาพของแบนด์วิดธ์ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังคงก่อให้เกิดคำถามเรื่องประสิทธิภาพของการใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กประดิษฐ์ซึ่งมีความยากในทางปฏิบัติที่จะทำให้เกิดการแมตชิงค่าความอินยอมไฟฟ้าและค่าความซึมซับทางแม่เหล็ก นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างโมเดลที่ใช้ในการจำลองตัวเลขและการออกแบบสายอากาศ

ทั้งนี้ ด้วยเหตุที่อภิวัดที่มีคุณสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างแท้จริงยังไม่มีการเป็นสื่อที่มีประสิทธิภาพของมันจึงถูกนำมาทำนายและคาดคะเนสมรรถนะทางไฟฟ้าของสายอากาศขนาดเล็กที่มีอภิวัดเป็นสื่อ และเป็นที่ยอมรับกันว่าคุณสมบัติพื้นฐานของอภิวัดนั้นมีความไวต่อการโพลาไรซ์และความถี่ จึงมีการแพร่กระจายที่ดีและทำให้เกิดค่าความสูญเสียมากและแบนด์วิดท์ที่แคบ มีรายงานการศึกษาโมเดลที่ประเมินค่าความสูญเสียต่ำไปและละเอียดของค่าแบนด์วิดท์ ทำให้ตัวอย่างสายอากาศที่มีค่าความสูญเสียต่ำ และค่า ENG/MNG/DNG ไม่เอื้อต่อการเปรียบเทียบกับสายอากาศที่มีไดอิเล็กทริกแบบดั้งเดิม งานวิจัยของ Y. Hao และคณะจึงนำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างของสายอากาศที่เหมือนกันโดยใช้วัสดุไดอิเล็กทริกที่มีค่าสูง ไดอิเล็กทริกแม่เหล็กและอภิวัด โดยศึกษาลำคลื่นการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยาย ประสิทธิภาพ และแบนด์วิดท์ทั้งในแง่ขนาดทางกายภาพ ขนาดทางไฟฟ้า และความถี่ โดยใช้ทฤษฎีในการออกแบบใหม่เพื่อทำให้สายอากาศมีขนาดเล็กลงและปรับปรุงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์โดยใช้ระนาบกราวนด์กับเรโซเนเตอร์แบบวงแหวนแยก ผลการเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ระหว่างสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ที่ใช้วัสดุฐานรองค้ำยนิยอทางไฟฟ้าสูงกับวัสดุฐานรองแบบวงแหวนแยกแสดงให้เห็นว่าการลดขนาดของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ใช้วงแหวนเรโซเนเตอร์เป็นระนาบกราวนด์นั้นสามารถทำได้โดยไม่มีการสูญเสียแบนด์วิดท์ และสายอากาศที่ถูกสร้างขึ้นนี้สามารถลดความถี่เรโซแนนซ์ได้ถึง 69% และเพิ่มแบนด์วิดท์ได้ถึง 67% เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบทั่วไป

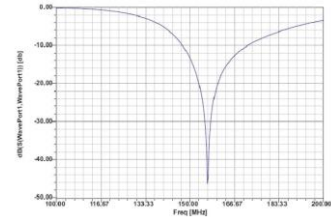
สายอากาศวัสดุไดอิเล็กทริก คือ การใช้ไดอิเล็กทริกแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้งานกับสายอากาศขนาดเล็กเป็นวิธีที่ใช้มาช้านาน แต่อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตสามารถผลิตเซรามิกที่มีค้ำยนิยอทางไฟฟ้าสูงในช่วง $20 < \epsilon < 100$ มันเป็นสิ่งสำคัญที่จะศึกษาอย่างถูกต้องค่าความถูกต้องในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ เมื่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุมีค่าสูงสำหรับใช้ในการลดขนาดของสายอากาศในการศึกษานี้จะตรวจสอบสายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กทริก โดยใช้เทคนิคตัวเลขของโปรแกรม (HFSS และ CST Microwave Studio) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายสายอากาศ ประสิทธิภาพและแบนด์วิดท์ พารามิเตอร์ค่าที่พิจารณาของสายอากาศ คือ ขนาดทางกายภาพ ขนาดทางไฟฟ้าหรือไดอิเล็กทริกและความถี่

สายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์แบบทรงกระบอก สายอากาศไมโครสตริปแพตช์โดยใช้วัสดุไดอิเล็กทริก สายอากาศขดลวดโดยใช้วัสดุไดอิเล็กทริก

สายอากาศแบบไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ถูกพบสำหรับการประยุกต์ใช้งานในสายอากาศซึ่งข้อดีของสายอากาศแบบนี้ คือขนาดเล็ก โครงสร้างง่าย และมีความยืดหยุ่นของตำแหน่งจุดกระตุ้น สัญญาณสายอากาศดังกล่าวทำจากวัสดุไดอิเล็กทริกที่มีค่าความสูญเสียต่ำพบว่ามีประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นสูง และมีแบนด์วิดท์ที่กว้าง ก่อนหน้านั้นเชื่อว่าสายอากาศแบบไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่นและขนาดแบนด์วิดท์มีขนาดเล็กบางโหมดระบุถึงค่า Q แพกเตอร์มีค่าต่ำแสดงให้เห็นถึงความกว้างของแบนด์วิดท์ดังรูปที่ 3.2 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ($\epsilon_r = 10$ และ $\mu_r = 1$)



(ก) สายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริก



(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

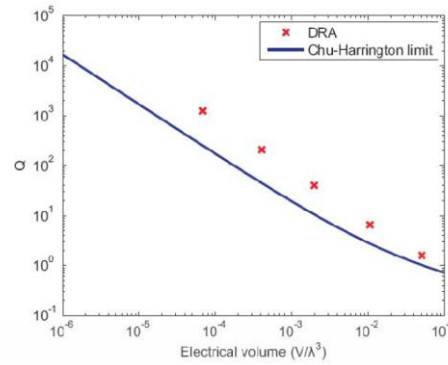
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริก

จากรูปที่ 3.2 มีขนาดของสายอากาศไดอิเล็กตริกรูปทรงกระบอกขนาด 216 mm ความสูง 433 mm และมีขนาดรัศมีของระนาบกราวด์ 846 mm โดยการเพิ่มค่าคงที่ไดอิเล็กตริกขณะที่ความถี่เรโซแนนซ์ต่ำสุดมีค่าคงที่ทำให้สามารถลดขนาดของสายอากาศได้ อย่างไรก็ตามสมรรถนะแบนด์วิดท์และอัตราขยายของสายอากาศจะลดลงนั่นหมายถึงค่า Q ของสายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ดังตาราง 3.1

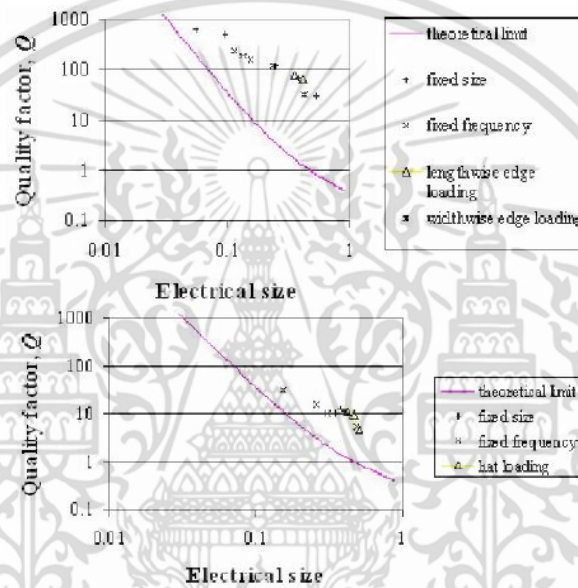
ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์กับความแตกต่างของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (แทนเจนต์การสูญเสีย $\tan \delta = 0.001$)

Dielectric Constant (ϵ_r)	Frequency (MHz)	Antenna Radius (mm)	Q	Fractal Bandwidth (%)	Directivity (dB)	Gain (dB)	Efficiency
10	156.48	950.37	1.6	15.66	7.27	7.53	100
30	157.08	561.73	6.5	3.82	6.13	6.18	100
100	160.97	312.17	40.3	0.62	4.27	3.82	90.10
300	159.77	186.04	208.3	0.02	2.79	-0.41	47.79
1000	159.77	102.86	1250	-	2.43	-7.10	11.13

เมื่อพิจารณาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจากผลการจำลองพบว่าเมื่อ ϵ มีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ค่าซึมซับทางแม่เหล็กและระนาบกราวด์มีค่าคงที่ ทำให้ค่า Q มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้แบนด์วิดท์และอัตราขยายของสายอากาศลดลง ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณา $\epsilon = 10$ พบว่าค่า Q มีค่าต่ำทำให้ค่าแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q กับปริมาตรของสายอากาศเมื่อความถี่คงที่



รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q-factor ต่อขนาดของสายอากาศแบบไมโครสตริป กับสายอากาศแบบเส้น

3.3.1 สายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริก-แม่เหล็ก (Magneto-Dielectric loaded antennas)

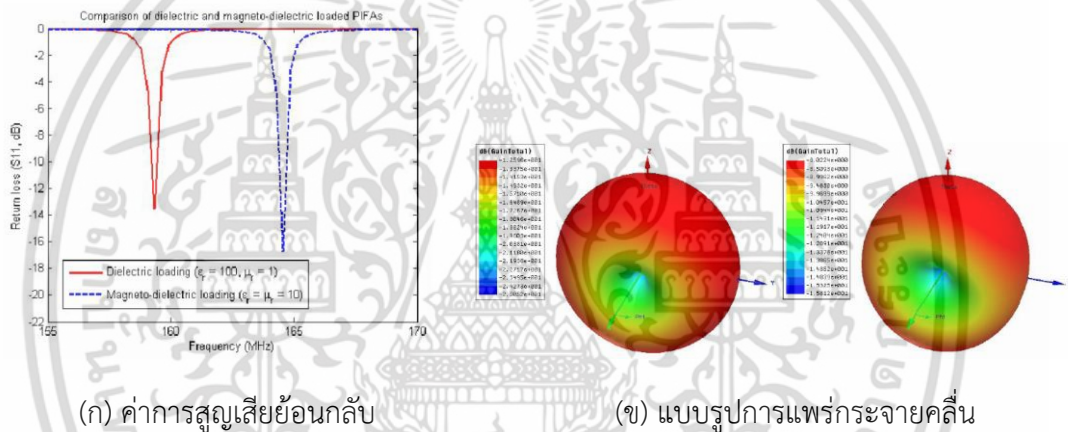
Hansen and Burke [16] ได้แสดงความสัมพันธ์ความกว้างของแบนด์วิดธ์ของสายอากาศที่ใช้วัสดุฐานรองกับความหนาวัสดุไดอิเล็กตริก-แม่เหล็ก โดยประมาณ ดังนี้

$$BW = \frac{96 \sqrt{\frac{\mu_r t}{\epsilon_r \lambda_0}}}{\sqrt{2} [4 + 17 \sqrt{\mu_r \epsilon_r}]} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ปัจจัยที่ทำให้อากาศมีขนาดแบนด์วิดท์ที่เล็กลงสามารถเพิ่มค่าให้ $\frac{\mu_r}{\epsilon_r}$ มากขึ้นในกรณีนี้ใช้คุณสมบัติของรีโซแนนต์เชิงความจุของสายอากาศลดลง โดยการเพิ่มวัสดุแม่เหล็กและหนึ่งคือสามารถเลือกค่ากลางของค่ายินยอมทางไฟฟ้าสูง และวัสดุไดอิเล็กตริก-แม่เหล็ก สามารถลดขนาดของสายอากาศโดยใช้ค่าของความยินยอมไฟฟ้าและค่าความซึมซับทางแม่เหล็ก

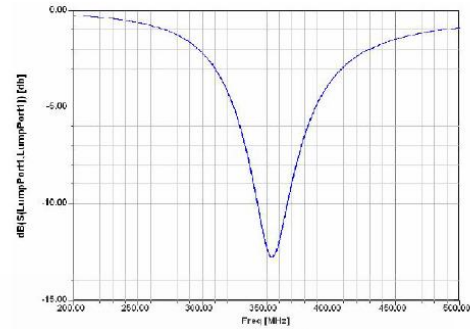
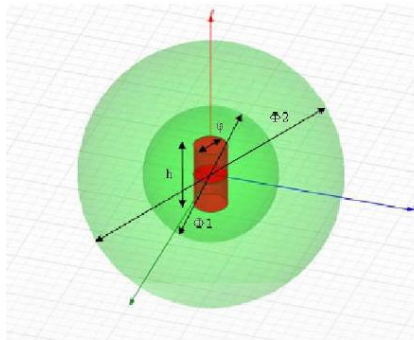
ในการศึกษาปัจจุบันโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริก-แม่เหล็กกับสายอากาศขนาดเล็กมีการตั้งข้อสังเกตเกี่ยวกับประสิทธิภาพของวัสดุ ขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเรขาคณิต เช่นสายอากาศแบบ PIFA (planar inverted F antenna) ได้ปรับปรุงคุณภาพของแบนด์วิดท์และอัตราขยาย 3 dB เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เพียงวัสดุไดอิเล็กตริกอย่างเดียว นอกจากนี้ยังเห็นได้ชัดในการศึกษาปัจจุบันของสายอากาศแบบไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ (DRA : ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก resonator antenna) และสายอากาศแบบ MLA (สายอากาศขดทวน) มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก



รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับและแบนด์วิดท์ของสายอากาศที่ใช้วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก

3.3.2 สายอากาศที่ใช้อีกวัสดุ (Metematerial loaded antennas)

การวิจัยเรื่องของอิกวัสดุได้รับความสนใจมากของวิศวกรในการออกแบบสายอากาศได้นำเสนอการใช้ ϵ_r ที่มีค่าเป็นลบ (ENG) พบว่าการแมตซิงของสายอากาศไดโพลขนาดเล็กสามารถปรับปรุงได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การปรับปรุงอัตราขยายเมื่อถูกเปรียบเทียบกับสายอากาศต้นแบบที่ไม่มีแมตซิงถึง 50 dB โดยใช้ ENG ($\epsilon_r = -3$ และ $\mu_r = 1$) มีค่า $h = 10$ mm ϕ เท่ากับ 10 mm ϕ เท่ากับ 19.51 mm และ λ เท่ากับ 845.1 mm (ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไดโพลที่ค่า ENG เป็นลบ ดังรูป

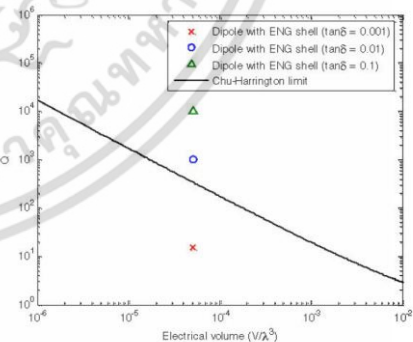
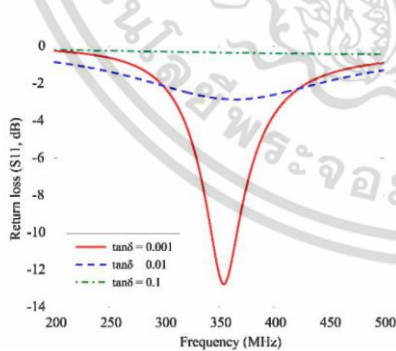


(ก) เรขาคณิตของสายอากาศแบบไดโพล

(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 3.6 โครงสร้างสายอากาศและคุณสมบัติของสายอากาศ

จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นสายอากาศไดโพลแบบปิดได้ถูกออกแบบให้มีค่า ϵ_r เป็นลบที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 350 MHz คุณสมบัติของวัสดุจะถูกเลือกที่ค่า $\epsilon_r = -3$ และ $\mu_r = 1$ และค่าสูญเสียในการจำลองแทนเจนด์การสูญเสีย $\tan \delta = 0.001$ การใช้ ϵ_r ที่มีค่าเป็นลบทำให้ช่วยในการแมตชิงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งเป็นนัยสำคัญของการปรับแมตชิง และเป็นการจำลองค่าสูญเสียย้อนกลับดังรูปทำให้เห็นว่า การใช้ค่าวัสดุมีค่า ϵ_r ที่มีค่าเป็นลบ เป็นตัวทำให้สายอากาศมีอัตราขยายถึง 50 dB เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลที่ปราศจากการเลือก ϵ_r ที่มีค่าเป็นลบ อย่างไรก็ตาม ค่าความสูญเสียอย่างน้อยอาจไม่ทำให้สายอากาศเป็นอย่างที่คาด แต่มันเป็นสิ่งสำคัญหากสายอากาศนั้นมีค่ามาก ผลทำให้สมรรถนะของสายอากาศลดลงดังรูปที่ 3.8



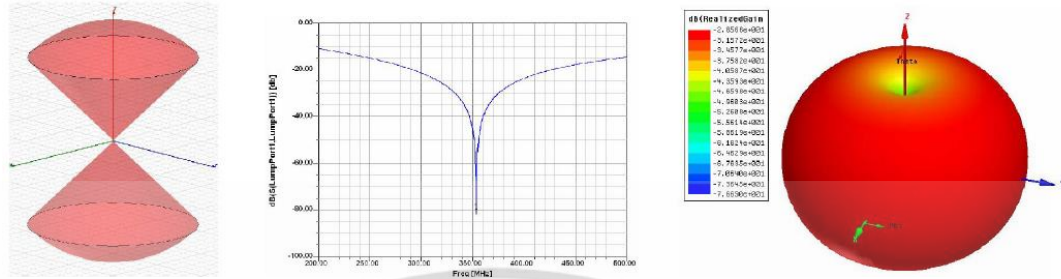
(ก) แสดงการเปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$

(ข) แสดงการเปรียบเทียบค่า Q ของสายอากาศ

รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับและค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่า ENG เป็นลบ จึงได้มีการจำลองสายอากาศแบบกรวยคู่ที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกันที่ความถี่ 350 MHz เปรียบเทียบกับสายอากาศแบบไดโพลผลปรกฏดังรูปที่ 3.9



(ก) โครงสร้างของสายอากาศแบบกรวยคู่ (ข) การสูญเสียย้อนกลับ (ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 3.8 คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยที่ใช้วัสดุฐานรองที่มีค่าเป็นลบ

แม้ว่าการแอมป์ซิงของสายอากาศในทางปฏิบัติเป็นเรื่องยาก อัตราขยายของสายอากาศแบบกรวยคู่ซึ่งมีค่าเท่ากับ -30 dB ต่ำกว่าสายอากาศแบบไดโพลที่มีอัตราขยาย 25 dB ที่ค่า $\tan \delta = 0.001$ อย่างไรก็ตามค่า $\tan \delta = 0.1$ ซึ่งถูกแสดงในทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่พบข้อดีของสายอากาศของอัตราขยายเท่ากับ -28.9 dB เมื่อเทียบกับสายอากาศแบบกรวยคู่ทั่วไป กรณีดังกล่าวได้แสดงให้เห็นถึงข้อดีในการใช้วัสดุสำหรับสายอากาศขนาดเล็กที่มีค่าการสูญเสียของวัสดุต่ำมาก และของแบนด์วิดท์ที่เพียงพอต่อการใช้งาน

3.3.3 สายอากาศไมโครสตริปที่ใช้เรโซเนเตอร์วงแหวนแยก (CSRR loaded microstrip antenna)

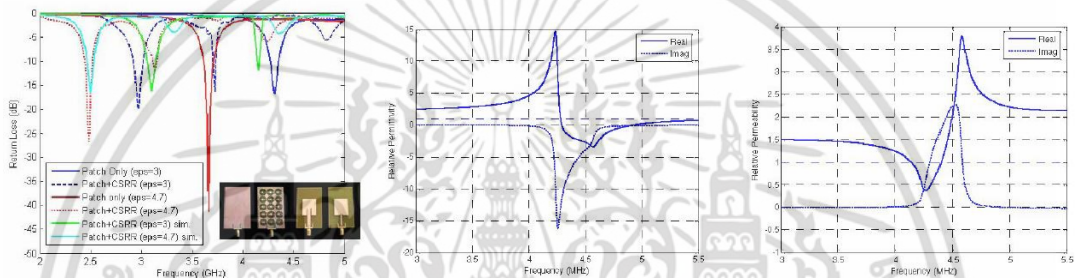
เป็นวิธีในการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศหนึ่งนั้นคือการใส่เรโซเนเตอร์วงแหวนแยกเป็นระนาบของวัสดุฐานรอง ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญที่เป็นไปได้ที่ทำให้สายอากาศแบบไมโครสตริปมีขนาดเล็กลง เมื่อเทียบกับสายอากาศที่ไม่ใช้วัสดุฐานรองดังกล่าวซึ่งมีผลทำให้ขนาดของแบนด์วิดท์ลดลง รูปที่ 3.10 แสดงสายอากาศแบบ CSRR ที่มีขนาด $r_1 = 4 \text{ mm}$ $r_2 = 2.5 \text{ mm}$ $c = 1.0 \text{ mm}$ และ $d = 0.5 \text{ mm}$ ใช้วัสดุฐานรอง PTFE ที่มีค่า ϵ_r เท่ากับ 3.0 ที่ความหนาเท่ากับ 1.6 mm ขนาดของสายอากาศ 30 mm x 50 mm โดยมีพารามิเตอร์ และขนาดของสายอากาศแบบแพตช์ $W=16 \text{ mm}$ $L= 20 \text{ mm}$ $g = 1 \text{ mm}$ $d = 8 \text{ mm}$ $w = 4.08 \text{ mm}$ และสายอากาศลักษณะที่ใช้ชื่อวัสดุซึ่งมีค่า $W=16 \text{ mm}$ $L= 20 \text{ mm}$ $g = 1 \text{ mm}$ $d = 8 \text{ mm}$ $w = 4.08 \text{ mm}$ $W=16 \text{ mm}$ $W=20 \text{ mm}$ $g = 1 \text{ mm}$ $d = 4 \text{ mm}$ $w = 1.1 \text{ mm}$

สายอากาศถูกสร้างโดยใช้ค่าวัสดุฐานรองที่มีค่า $\epsilon_r = 3$ และค่า $\epsilon_r = 4.7$ ผลจากการวัดยืนยันค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศแบบ CSRR มีค่าที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบทั่วไป และมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ดีกว่า ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์จากการวัดระหว่างสายอากาศแบบแพทช์ทั่วไปกับสายอากาศแบบ CSRR

Substrate Permittivity (ϵ_r)	Configuration	Resonant Frequency (GHz)	Broadside Gain (dBi)	Fraction Bandwidth (%)	
				$S_{11} < -6$ dB	$S_{11} < -6$ dB
3.0	Patch only	4.31	6.05	3.81	2.01
	Patch with CSRR only	2.96	2.06	6.38	3.34
4.7	Patch only	3.66	4.89	4.89	2.74
	Patch with CSRR only	2.49	5.76	5.76	3.21



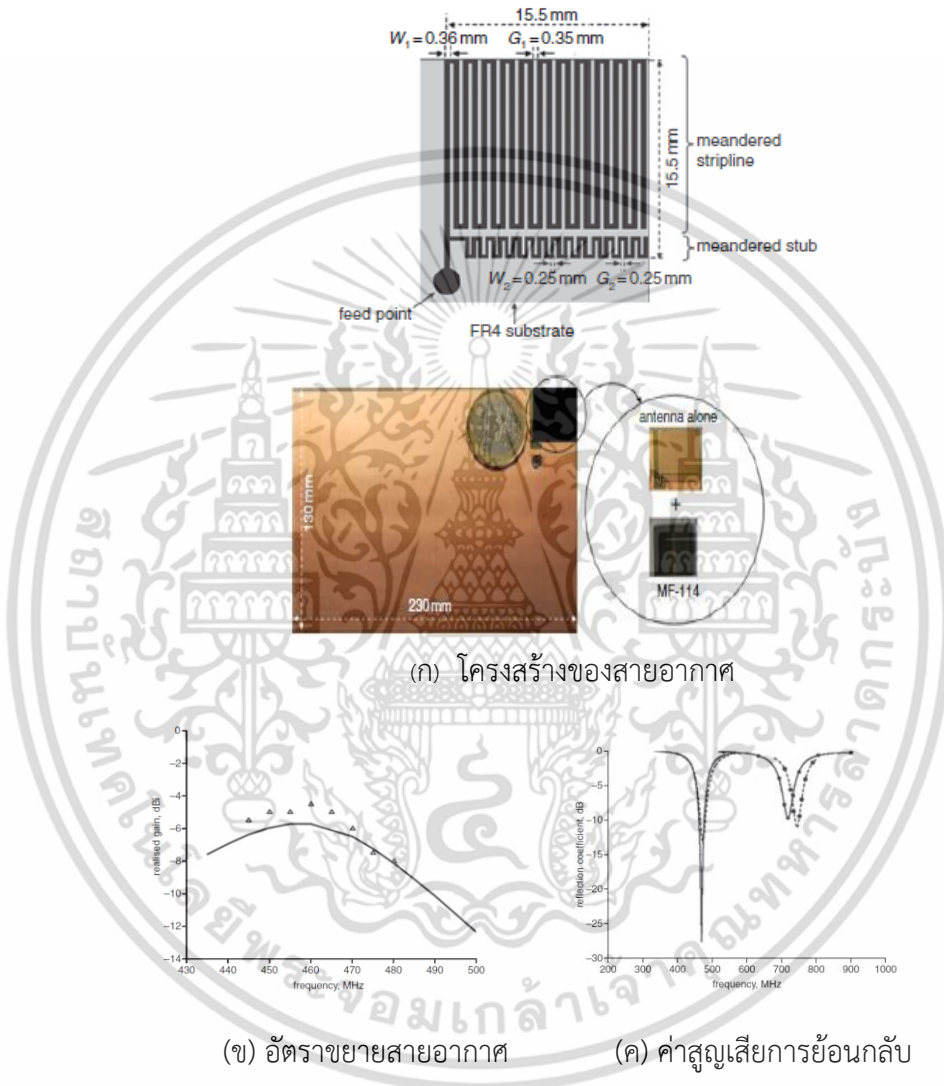
(ก) ค่าสูญเสียการย้อนกลับ (ข) ค่ายินยอมทางไฟฟ้า (ค) ค่าซึมซับทางแม่เหล็ก

รูปที่ 3.9 การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของสายอากาศ

สายอากาศขนาดที่นำเสนอซึ่งมีการใช้วัสดุที่แตกต่างกันได้ถูกตรวจสอบและเป็นที่สังเกตถึงประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุฐานรองนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสายอากาศ ซึ่งสรุปได้ว่าการจำกัดค่าแบนด์วิดท์ และการสูญเสียที่สูงในอภิวัดดู สายอากาศที่ใช้วัสดุอาจไม่ดีกว่าที่มีอยู่กับการแข่งขันทางเทคโนโลยีอภิวัดดูที่ปราศจากอะตอมและโมเลกุล มันจะมีค่ามากของวัสดุจำพวกที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทางที่มีค่าสนามไฟฟ้าและค่าสนามแม่เหล็กขึ้นแก่กันอย่างเชิงเส้น โดยความถึงการถูกควบคุมโครงสร้างสามอย่างของโครงสร้างเป็นจุดที่เลือกอย่างใดอย่างหนึ่ง คือ ขนาดโครงสร้างที่มีขนาดเล็กภายใต้ได้การใช้อภิวัดดูของสายอากาศแบบ CSRR นอกเหนือจากนี้การเลือกระหว่างสารเนื้อเดียวกันของคุณสมบัติของวัสดุ แบนด์วิดท์ และความสูญเสียในอภิวัดดู ซึ่งเชื่อว่าจะเป็นไปตามข้อจำกัดพื้นฐานสำหรับสายอากาศขนาดเล็ก

3.4 งานวิจัยสายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริก-แม่เหล็ก

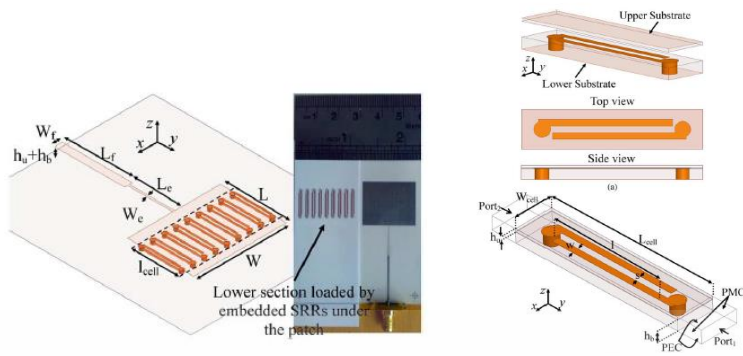
สายอากาศอ้างอิงที่ [17] ซึ่งเป็นผลงานของ C. Niamien และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2011 โดยสายอากาศถูกแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 (ก) และมีขนาดทางกายภาพ 15.5 mm x 15.5 mm x 3 mm ใช้งานได้ตั้งแต่ 470 MHz (ข) มีอัตราขยายมากที่สุด -4.5 dBi และ (ค) ค่า S_{11}



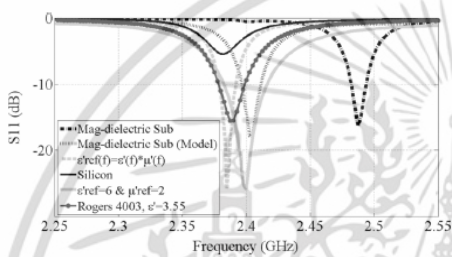
รูปที่ 3.10 สายอากาศขนาดเล็กย่านความถี่ UHF โดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก

สายอากาศอ้างอิงที่ [18] ซึ่งเป็นผลงานของ Farhad Farzamai และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2011 โครงสร้างสายอากาศดังรูป 3.12 (ก) สายอากาศมีลักษณะทางกายภาพขนาด 41.5 mm x 32 mm ที่ความถี่ 2.4 GHz และมีค่า $|S_{11}|$ ดังรูป 3.11 (ข) โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางดังรูป 3.12

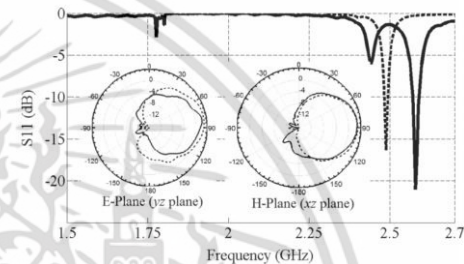
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



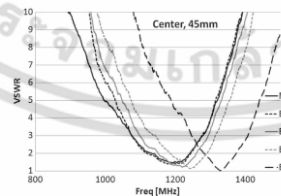
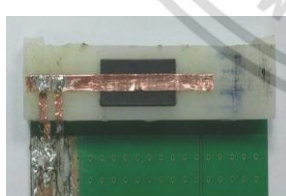
(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 3.11 สายอากาศไมโครสตริปขนาดเล็กโดยใช้วัสดุไดอิเล็กทริกแม่เหล็กบางเป็นวัสดุฐานรอง

สายอากาศอ้างอิงที่ [19] ซึ่งเป็นผลงานของ Jungyub Lee และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2012 โครงสร้างสายอากาศดังรูป 3.13 (ก) สายอากาศมีลักษณะทางกายภาพขนาด 25 mm x 5 mm x 3 mm ที่ความถี่ 2 GHz โดยมีค่า VSWR ดังรูปที่ 3.13 (ข) และรูปที่ 3.13 (ค) แสดงการเปรียบเทียบแบนด์วิดท์และประสิทธิภาพของสายอากาศ



	Resonant frequency (MHz)	BW (%)	Eff. (%)	\$\Delta L\$ (mm)	BW2 (%)	Eff.2 (%)
\$\epsilon_r=3\$	1326	12.22	81.53	0	14.05	77.74
\$\epsilon_r=13\$	1224	14.54	81.61	5	12.71	78.98
\$\epsilon_r=23\$	1196	16.30	80.41	6	12.61	80.14
\$\epsilon_r=39\$	1176	17.17	78.04	7	12.20	79.62
MD	1177	17.41	75.92	7	12.72	77.51

(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

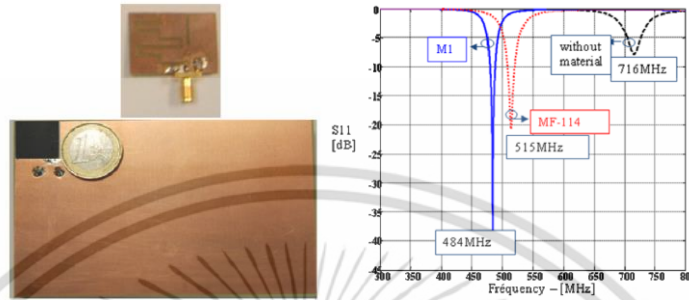
(ข) ค่า VSWR

(ค) แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์

รูปที่ 3.12 การออกแบบสายอากาศขนาดเล็กสำหรับโทรศัพท์มือถือโดยใช้วัสดุไดอิเล็กทริกแม่เหล็กเป็นวัสดุฐานรอง

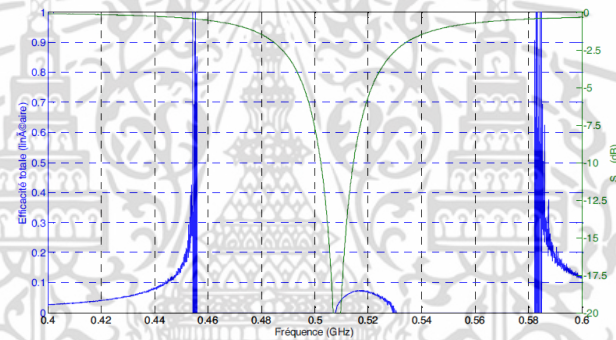
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศอ้างอิงที่ [20] ซึ่งเป็นผลงานของ David Souriou และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2010 โครงสร้างสายอากาศดังรูป 3.14 (ก) สายอากาศมีลักษณะทางกายภาพขนาด 15 mm x 15 mm โดยมีความถี่ 300-700 MHz มีการเปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$ ของวัสดุดังรูปที่ 3.14 (ข) และมีค่า S_{11} ของสายอากาศ ดังรูปที่ 3.14 (ค)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



(ค) ค่าการสูญเสียย้อนกลับและประสิทธิภาพของสายอากาศของวัสดุ MF114

รูปที่ 3.13 สายอากาศขนาดเล็กและวัสดุนาโนเฟอร์ไรท์วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก

จากงานวิจัย [17] เป็นการออกแบบสายอากาศขนาดเล็ก โดยวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กร่วมกับการขดลวดเป็นวัสดุฐานรอง และมีระนาบกราวด์ทำให้สายอากาศมีขนาดลดลงถึง 10 เท่า และมีแบนด์วิดท์ 15 MHz และมีค่าอัตราขยายสายอากาศเท่ากับ -4.5 dBi ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ความถี่ต่ำที่ -10 dBi ที่ความถี่ 470 MHz อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กต้องคำนึงวัสดุที่มีค่าความสูญเสียต่ำ งานวิจัย [18] เป็นการออกแบบโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กเป็นวัสดุฐานรองจุดประสงค์เพื่อให้โครงสร้างของสายอากาศมีขนาดเล็กสำหรับความถี่ 2.4 GHz ซึ่งผลจากการวัดประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายสายอากาศดีกว่าการใช้ไดอิเล็กตริกเป็นวัสดุฐานรอง งานวิจัย [19] เป็นการนำวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กมาใช้งานกับสายอากาศเกิน 2 GHz ค่า $\tan \delta$ ได้ถูกนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้งานสำหรับสายอากาศแบบมีเนื้อในหลายย่านความถี่และให้ค่าแบนด์วิดท์ที่ดีเมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริก [20] แสดงถึงการใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กซึ่งให้สมรรถนะที่ดีที่ย่านความถี่ UHF ซึ่งค่าสูญเสียของวัสดุที่ต่ำนั้นแสดงถึงประโยชน์ที่สามารถทำให้สายอากาศขนาดเล็กด้วย และให้ผลที่ดีเมื่อเทียบกับวัสดุในท้องตลาด ซึ่งค่าความสูญเสียต่ำเป็นสิ่งที่

ต้องการสำหรับสายอากาศขนาดเล็ก เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สรุป

การลดขนาดของสายอากาศอย่างมีประสิทธิภาพเป็นปัญหาที่ทำนายเพราะมักต้องเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างขนาดและสมรรถนะของสายอากาศด้วยเหตุที่ว่าประสิทธิภาพของสายอากาศขึ้นอยู่กับข้อจำกัดขั้นพื้นฐานที่ขึ้นอยู่กับขนาดของสายอากาศ การลดขนาดของสายอากาศเป็นประเด็นสำคัญเนื่องจากองค์ประกอบที่สำคัญในการพิจารณาขนาดของอุปกรณ์พกพาคือตัวสายอากาศ การศึกษาในปัจจุบันเกี่ยวกับวัสดุใหม่ ๆ ที่เรียกว่า ไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก ได้เพิ่มความหวังที่จะลดขนาดของสายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจาก ไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก เป็นวัสดุฐานรองที่มีคุณลักษณะทั้งสองประการคือ relative permittivity และ relative permeability ที่มีค่ามากกว่า 1 หลายงานวิจัยได้มีการศึกษาหลายประเด็นที่เกี่ยวกับไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก และการประยุกต์ใช้ไดอิเล็กทริกแม่เหล็กในการลดขนาดของสายอากาศ ทั้งยังมีการศึกษาในทางทฤษฎีว่าเหตุใดไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก จึงเป็นวัสดุฐานรองสำหรับสายอากาศระนาบที่ดีกว่าวัสดุประเภทไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก ควบคู่ไปกับการศึกษาเทคนิคการสังเคราะห์ของวัสดุเพื่ออธิบายลักษณะของวัสดุเหล่านี้ นอกจากนี้ยังได้แสดงวิธีการศึกษาเพื่อแยกคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับความถี่ของวัสดุเหล่านี้ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของวัสดุฐานรองเหล่านี้เพื่อการประยุกต์ใช้กับสายอากาศ วัสดุไดอิเล็กทริกแม่เหล็กที่มีค่าความซึมซาบทางแม่เหล็ก (permeability) และค่าความยินยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (permittivity) ที่เข้ากันเป็นข้อได้เปรียบสำหรับการทำให้สายอากาศมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพในการใช้งาน การจะได้มาซึ่งวัสดุไดอิเล็กทริกแม่เหล็กประเภทนี้ต้องอาศัยปัจจัย 3 ประการ คือ 1) ค่าดัชนีการหักเหที่สูง 2) ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กและค่าความยินยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่เข้ากัน และ 3) ค่าความสูญเสียทางไดอิเล็กทริกแม่เหล็กที่ความถี่ที่ใช้งาน อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งปัจจัยทั้งสามประการดังกล่าวนี้ค่อนข้างเป็นเรื่องยาก และจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงแนวคิดและการพัฒนาตัวอย่างวัสดุไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก 3 ประเภท คือ spinel-based, hexagonal-based และ composite ไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก และพิสูจน์ให้เห็นว่าการเลือกวัสดุไดอิเล็กทริกแม่เหล็กที่เหมาะสมเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ได้ค่าดัชนีการหักเหสูงและมีค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กและค่าความยินยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่เข้ากันในความถี่ที่ใช้งาน เมื่อความถี่ที่ใช้งานต่ำ (ต่ำกว่า 30MHz) สารประกอบของ spinel ferrite และวัสดุ high-dielctric เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดที่จะทำให้เกิดค่าดัชนีการหักเหสูง เมื่อความถี่ที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 30 MHz ถึง 100 MHz ควรใช้วัสดุ spinel-based วัสดุไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก เพื่อให้เกิดค่าดัชนีการหักเหสูงและการสูญเสียต่ำ แต่เมื่อความถี่ที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 100 MHz ถึง 500 MHz การใช้วัสดุ hexagonal-based วัสดุไดอิเล็กทริกแม่เหล็กจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า และเมื่อความถี่ที่ใช้งานมากกว่า 500 MHz การใช้สารประกอบของ hexaferrite และ organic medium จะทำให้ได้ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กและค่าความยินยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่พอเหมาะกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

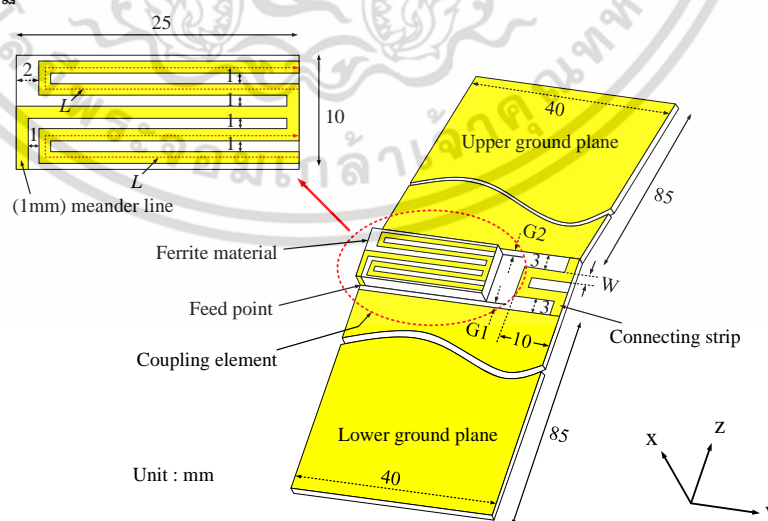
การออกแบบและการจำลองสายอากาศ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศรอบตัว โดยใช้วัสดุฐานวัสดุไดอิเล็กตริก-แม่เหล็ก เพื่อลดขนาดของสายอากาศ สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ซึ่งใช้ทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และบทที่ 3 จากนั้นทำการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® [25] เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบโดยจะมุ่งเน้นพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งจะประกอบไปด้วยค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยาย ซึ่งสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้น จะกำหนดให้มีคุณลักษณะของสายอากาศตามที่ต้องการ คือ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง โดยการออกแบบสายอากาศจะนำโครงสร้างสายอากาศ [10] ในบทที่ 2 เป็นโครงสร้างเริ่มต้น จากนั้นทำการพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศโดยปรับโครงสร้างของการขดคววนและทำการศึกษาผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศ โดยผลของการศึกษาผลกระทบจะเป็นแนวทางในการออกแบบและการพัฒนาสายอากาศ ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในช่วงความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิทัล คือ 470 MHz ถึง 862 MHz

4.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ

การจำลองโครงสร้างของสายอากาศในเอกสารอ้างอิง [10] มาใช้ในการพิจารณาโครงสร้างเบื้องต้นโดยพิจารณาค่า $|S_{11}| \leq -6$ dB และอัตราขยายสายอากาศอย่างน้อยที่ -10 dBi ถึง -5 dBi ที่กำหนดตามมาตรฐานในเอกสารอ้างอิง [24]



รูปที่ 4.1 โครงสร้างสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศตามงานวิจัย [10]

พารามิเตอร์	ขนาด
Ni-Zn ferrite	25 mm × 10 mm × 2 mm
ϵ_r	~ 7 mm
μ_r	~ 18 mm
Tan δ_d	~ 0.018 mm
Tan δ_m	~ 0.18 mm
ระนาบกราวนด์ด้านบน	40 mm × 85 mm
ระนาบกราวนด์ด้านล่าง	40 mm × 85 mm
ขนาดความกว้างขดขววน	1 mm
L	48 mm
G_1	1 mm
W	1 mm
มุมระหว่างระนาบกราวนด์บนและระนาบกราวนด์ล่าง	155 Degree
วัสดุฐานรองชนิด FR4 ของระนาบกราวด์	มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์หรือ ϵ_r เท่ากับ 4.4 และมีความหนาของวัสดุฐานรองเท่ากับ 1 mm
ค่าการสูญเสียย้อนกลับ	-6 dB

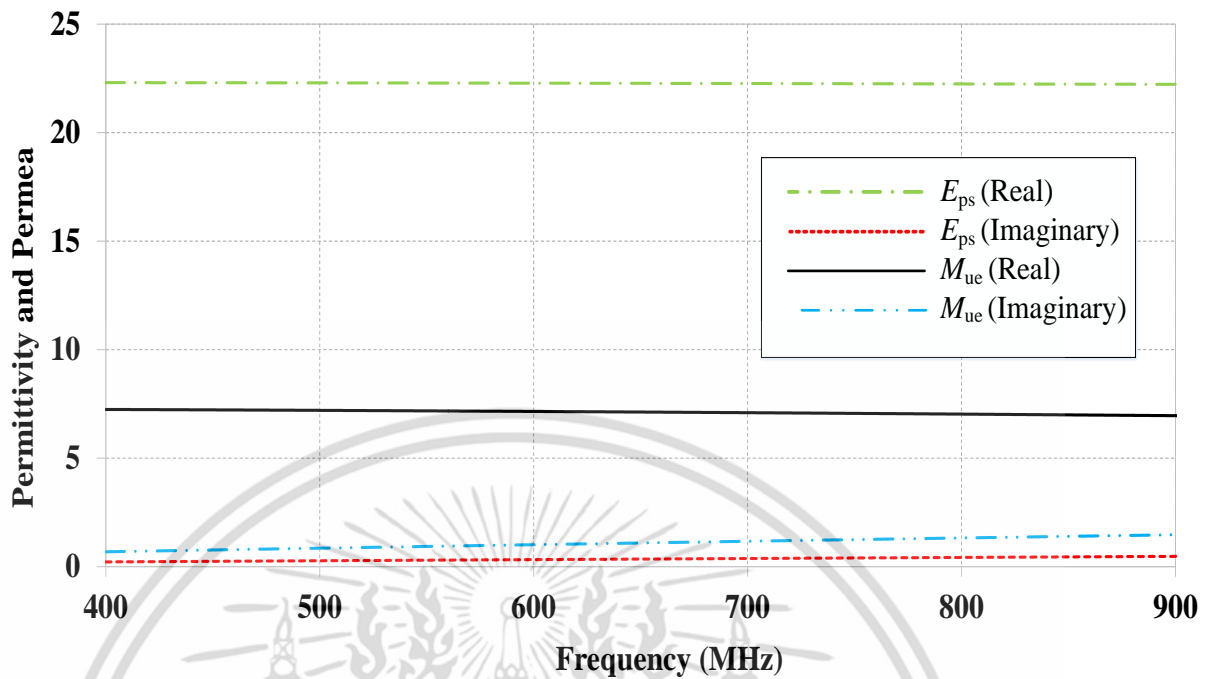
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ดำเนินการจำลองและทดสอบสายอากาศ โดยเปลี่ยนวัสดุฐานรองของสายอากาศจาก Ni-Zn ferrite เป็นวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก Substrate (ECCOSORB[®] MF-124) ดังนี้

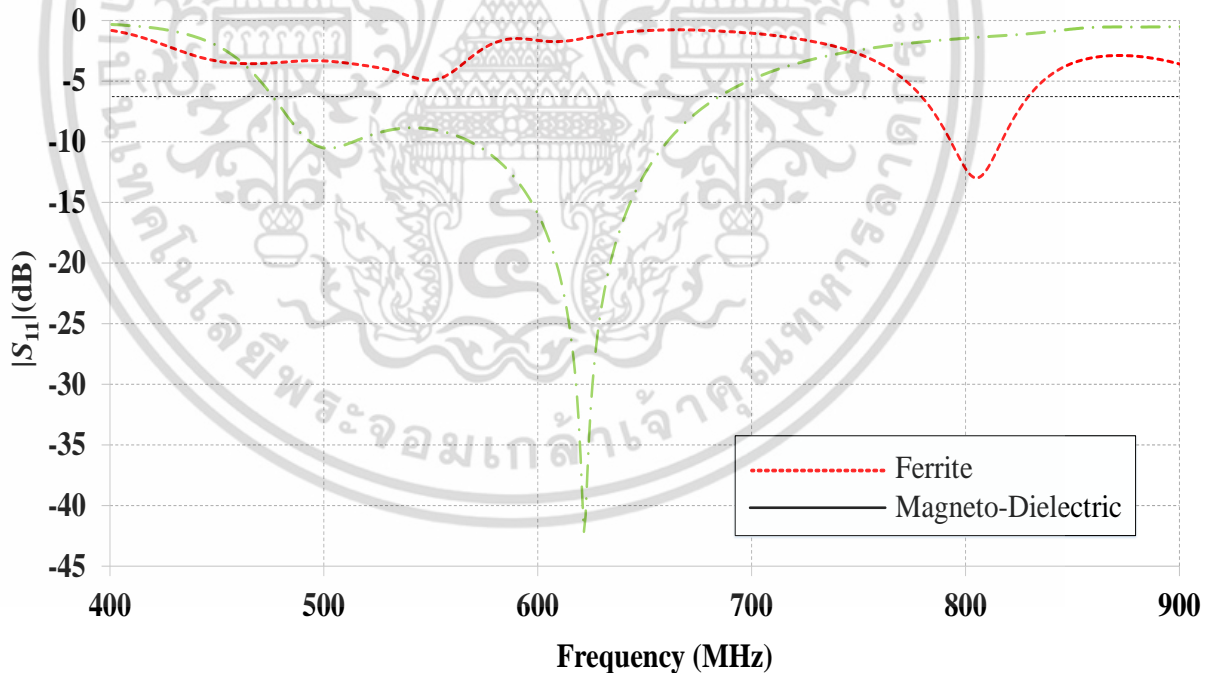
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของวัสดุฐานรองของสายอากาศโดยใช้ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก

พารามิเตอร์	ขนาด
ECCOSORB MF-124	25 mm× 10 mm× 2 mm
ϵ_r	22
μ_r	7
Tan δ_d	0.4
Tan δ_m	<0.01
ระนาบกราวนด์ด้านบนและด้านล่าง	40 mm × 85 mm
ระนาบกราวนด์ด้านล่าง	40 mm × 85 mm
ความกว้างของขดลวด	1 mm
L	48 mm
G ₁	1 mm
W	1 mm
มุมระหว่างระนาบกราวนด์บนและระนาบกราวนด์ล่าง	155 Degree
วัสดุฐานรองชนิด FR4 ของระนาบกราวนด์	มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์หรือ ϵ_r เท่ากับ 4.4 และมีความหนาของวัสดุฐานรองเท่ากับ 1 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 คุณสมบัติของวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก (MF-124)

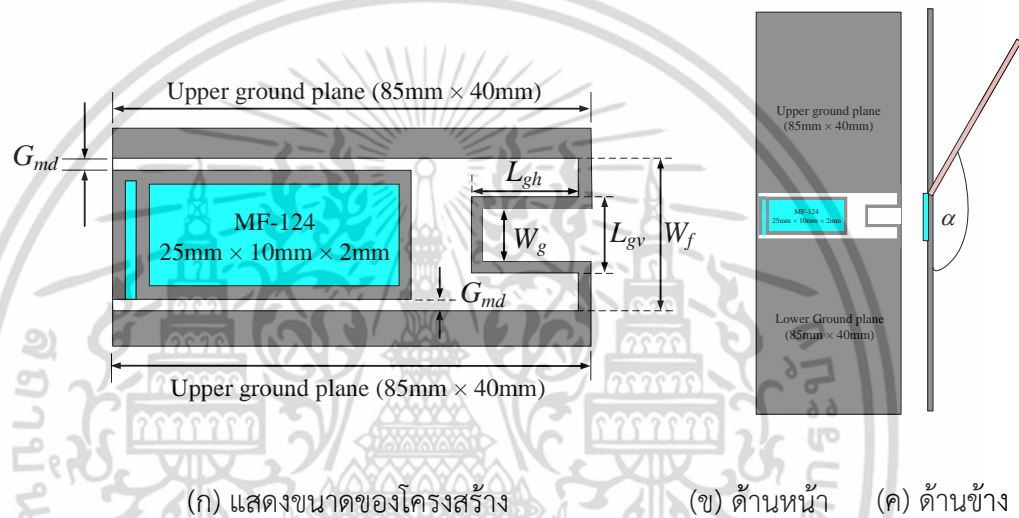


รูปที่ 4.3 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เปรียบเทียบค่าวัสดุฐานรองระหว่างเฟอร์ไรท์กับไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 ผลการจำลองค่า $|S_{11}| < -6$ dB ของวัสดุฐานรอง Ni-Zn Ferrite Material ครอบคลุมย่านความถี่ 466-672 MHz และไดอิเล็กทริกแม่เหล็ก ครอบคลุมย่านความถี่ 770-823 MHz ทั้งนี้ การจำลองดังกล่าวเป็นเปลี่ยนวัสดุที่นำมาใช้งานกับสายอากาศต้นแบบ เพื่อดูแนวโน้มซึ่งจากบทที่ 3 ในเรื่องทฤษฎีพบว่าเมื่อค่า ϵ_r มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ขนาดของสายอากาศเล็กลงในทางตรงข้ามจะทำให้แบนด์วิดธ์แคบ จึงต้องปรับโครงสร้างและพารามิเตอร์ของอากาศในขั้นตอนต่อไป

ลำดับต่อไปทำการปรับโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ [10] โดยใช้ขดควมเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ ดังรูปที่ 4.4

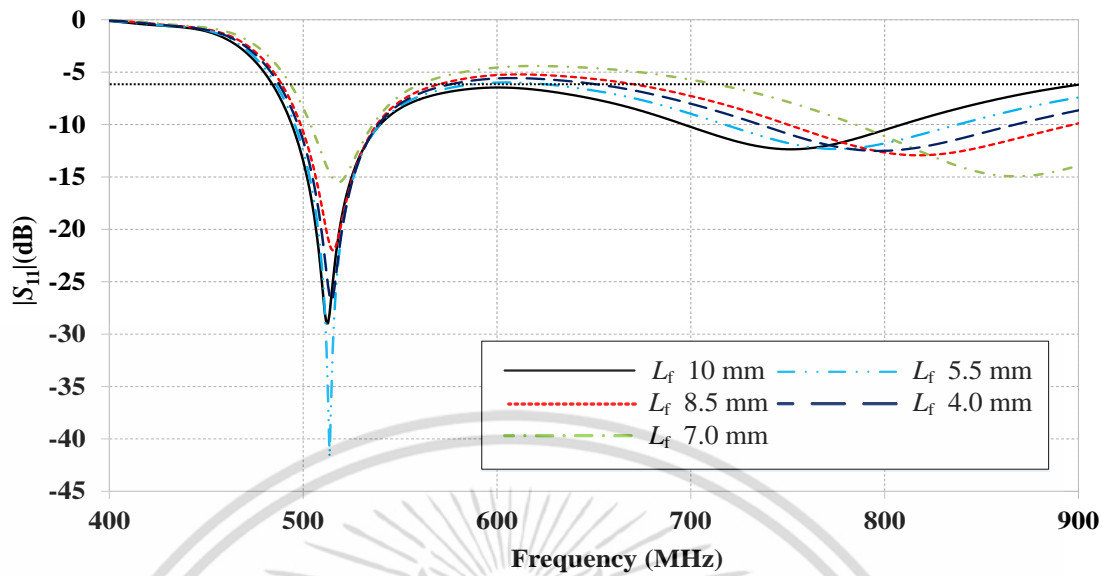


รูปที่ 4.4 โครงสร้างของสายอากาศ

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ

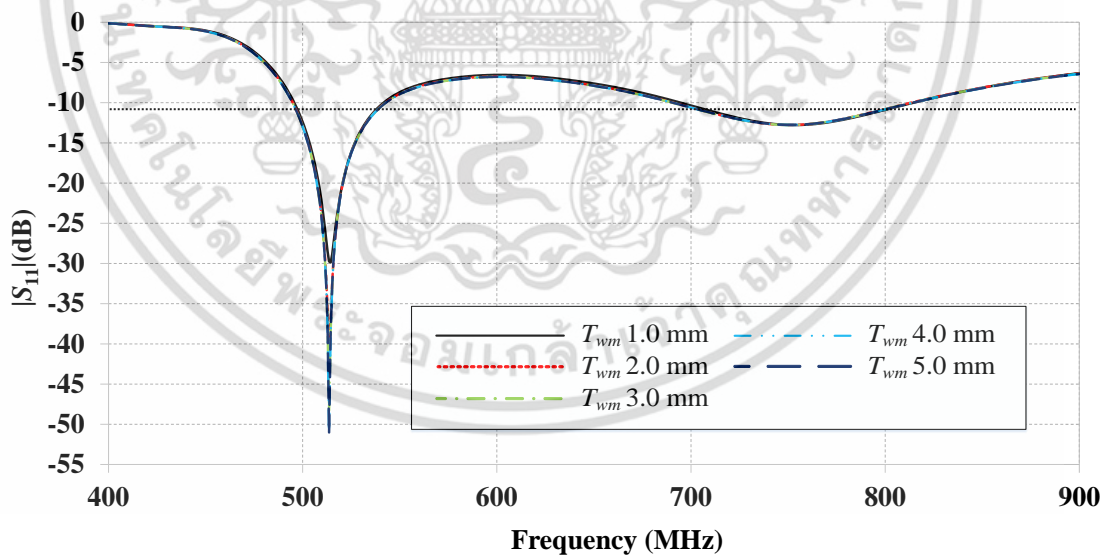
พารามิเตอร์	ขนาด
ความยาวของสตริปกราวนด์แนวนอน (L_{gh})	11 mm
ความยาวของสตริปกราวนด์แนวตั้ง (L_{gv})	9 mm
ความกว้างของสตริปกราวนด์แนวตั้ง (W_g)	6 mm
ความกว้างระหว่างวัสดุฐานรองกับระนาบกราวนด์ (G_{md})	0.95 mm
ความกว้างของขดควม (S_1)	1 mm
ความกว้างของขดควม	1 mm
ความยาวของขดควม (L_{ml})	23 mm
ความกว้างของวัสดุฐานรอง FR4 (W_f)	12 mm
มุมระหว่างระนาบกราวนด์ (α)	155 Degree

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



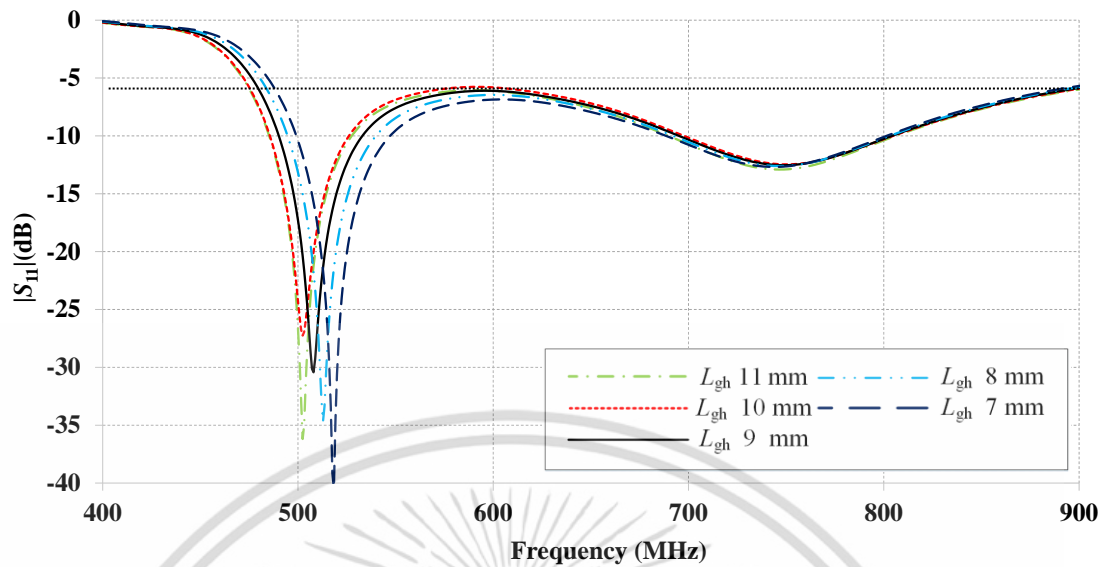
รูปที่ 4.5 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับความยาวของสตริปป้อนสัญญาณ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าพารามิเตอร์ $L_f = 10$ mm ให้ค่า $|S_{11}| < -6$ dB ของย่านความถี่ 484 ถึง 926 MHz การปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวมีผลต่อย่านความถี่สูง และการแมตชิงของความถี่ต่ำ ทั้งนี้ ค่า L_f ที่ความยาว 4 mm ถึง 8.5 mm มีค่า $|S_{11}| > -6$ dB



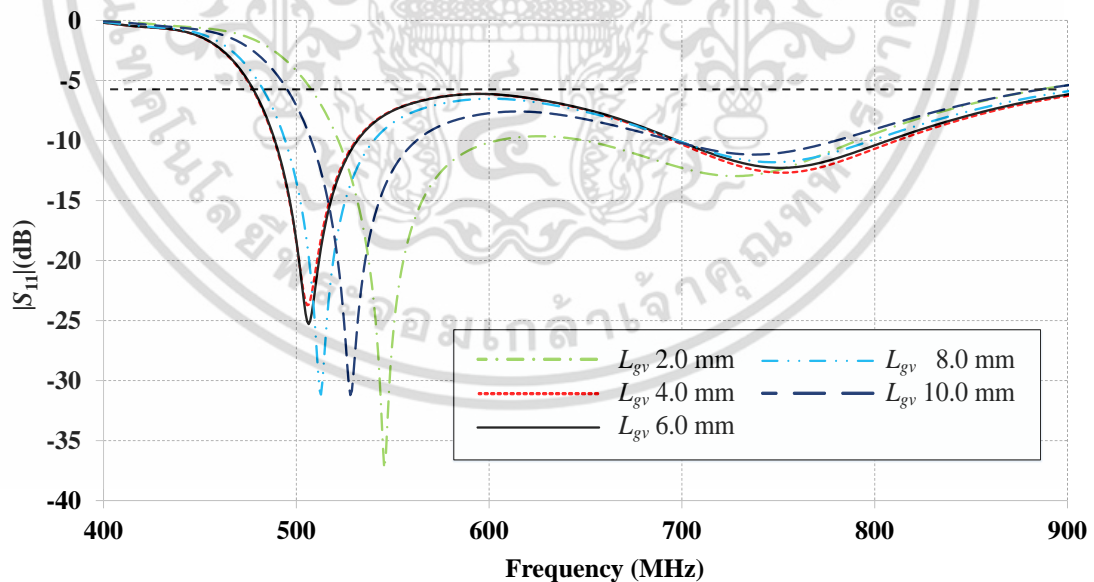
รูปที่ 4.6 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับความกว้างของขดคววนแบบสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.6 พบว่าพารามิเตอร์ $T_{wm} = 1$ mm ให้ค่า $|S_{11}| < -6$ dB ที่ย่านความถี่ 485 ถึง 913 MHz ซึ่งครอบคลุมความถี่ที่ใช้งาน 510 MHz ถึง 790 MHz การปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



รูปที่ 4.7 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับความยาวความยาวสตริปเชื่อมกราวนด์

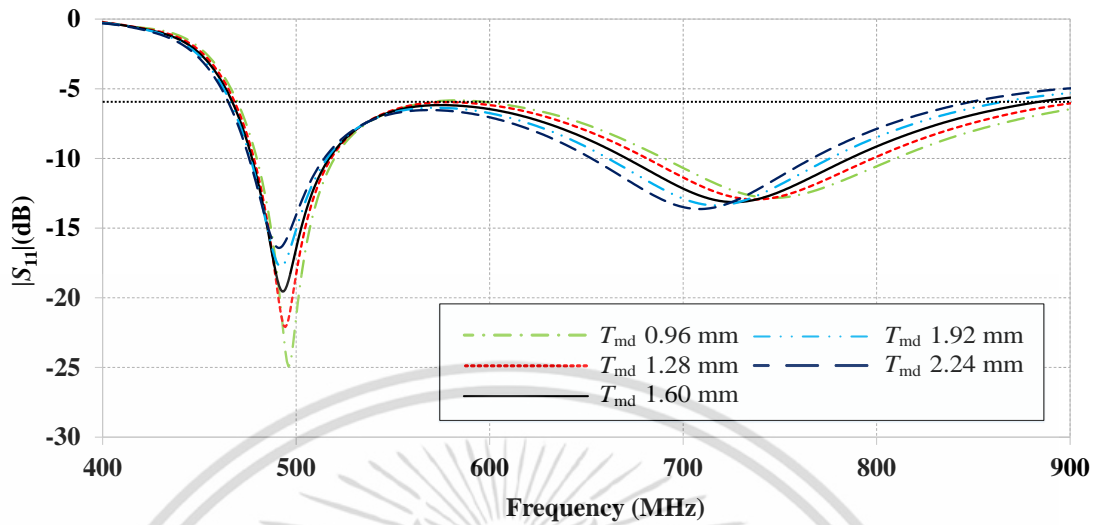
จากรูปที่ 4.7 พบว่าพารามิเตอร์ที่ $L_{gh} = 9$ mm ให้ค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -6 dB ในย่านความถี่ 488-922 MHz ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ด้านต่ำ ส่วนการปรับ L_{gh} ที่ 7 mm 8 mm ให้ค่าความกว้างแบนด์วิดท์ที่น้อยกว่าความยาวที่ 9 mm และที่ 10 mm และ 11 mm มีค่า $|S_{11}|$ ที่มากกว่า -6 dB



รูปที่ 4.8 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับความยาวความยาวสตริปเชื่อมกราวนด์

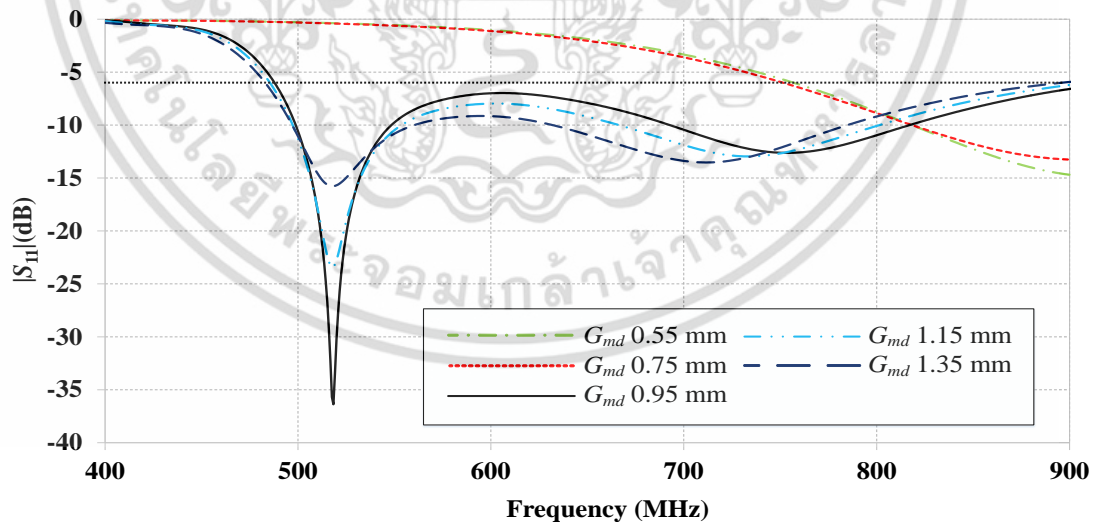
จากรูปที่ 4.8 พบว่าพารามิเตอร์ที่ $L_{gv} = 6$ mm ครอบคลุมย่านความถี่ 470 MHz ถึง 911 MHz ที่ -25.12 dB และ 3 mm ครอบคลุมย่านความถี่ 478 MHz ถึง 906 MHz ที่ -23.72 dB ซึ่งที่ความยาว 6 mm ให้ค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า ส่วนความยาวที่ความยาว 2 mm 8 mm และ 10 mm แบนด์วิดท์ที่น้อยกว่า 6 mm

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการปรับความหนาของไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก

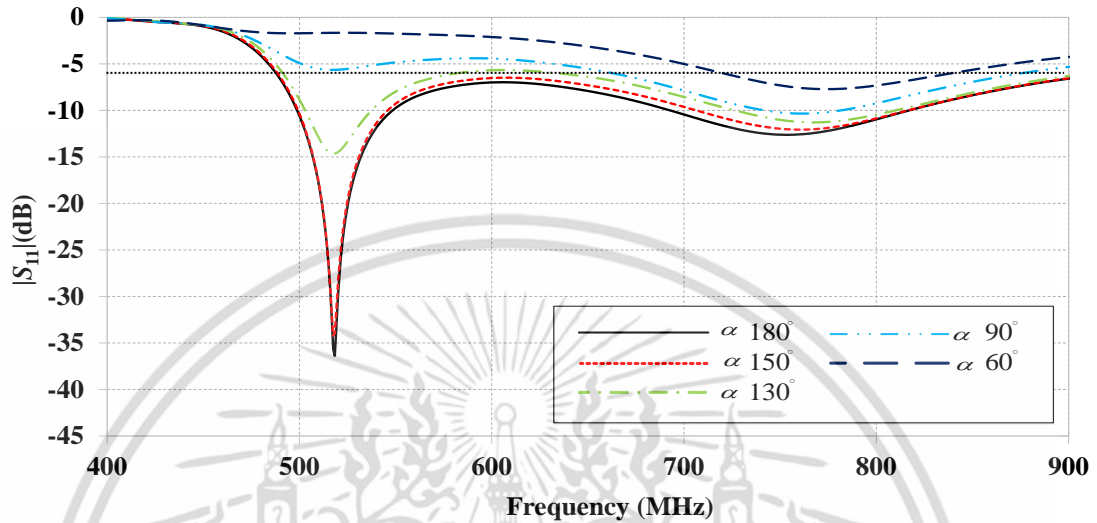
จากรูปที่ 4.9 ผลปรากฏว่าความหนาไดอิเล็กตริกแม่เหล็กที่ 1.6 mm ให้ค่า $|S_{11}| \leq -6$ dB ที่ความถี่ 486-886.85 MHz ส่วนความหนาที่ 0.96 mm และ 1.28 mm นั้น มีค่า $|S_{11}| > -6$ dB และความหนาที่ 1.92 mm และ 2.24 mm นั้น มีค่าช่วงกว้างความถี่ที่แคบกว่า ความหนาที่ 1.6 mm ซึ่งการปรับค่าความหนาของ ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในด้านความถี่สูง และการแมตซ์ในค่าความถี่ต่ำ



รูปที่ 4.10 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อปรับระยะระหว่างระนาบกราวด์กับวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

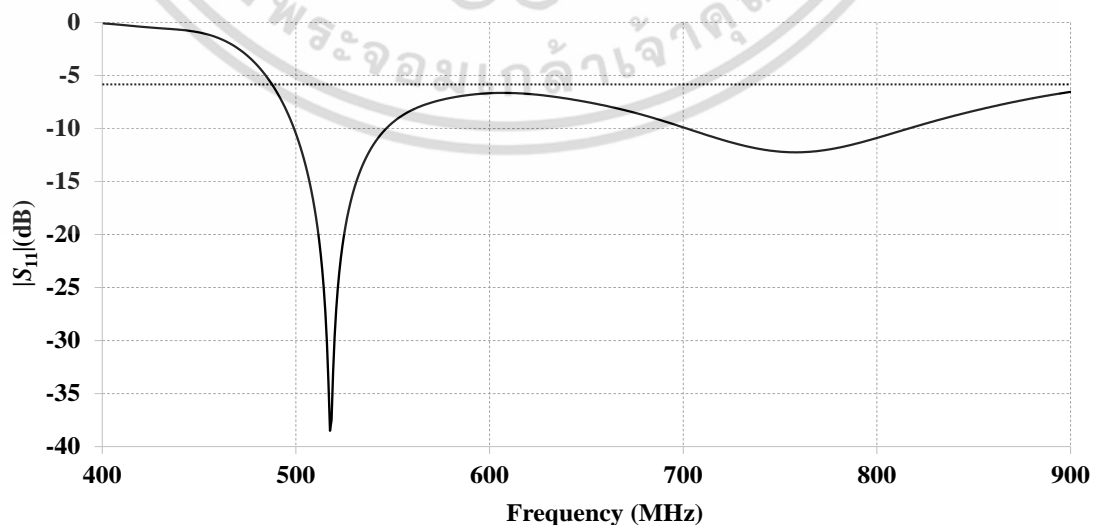
จากรูปที่ 4.10 พบว่าพารามิเตอร์ที่ 0.55 mm 0.75 mm และ 0.95 นั้น ให้ค่าต่ำกว่า $|S_{11}| < -6$ dB แต่ระยะที่ 0.95 mm ให้ค่าแบนด์วิดท์กว้างสุด และมีค่าแมตซิ่งที่ -37 dB ครอบคลุมย่านความถี่ 487-922 MHz ส่วนค่า 0.55 และ 0.75 mm นั้นไม่ส่งผลต่อค่า $|S_{11}|$



รูปที่ 4.11 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อปรับมุมของระนาบกราวด์

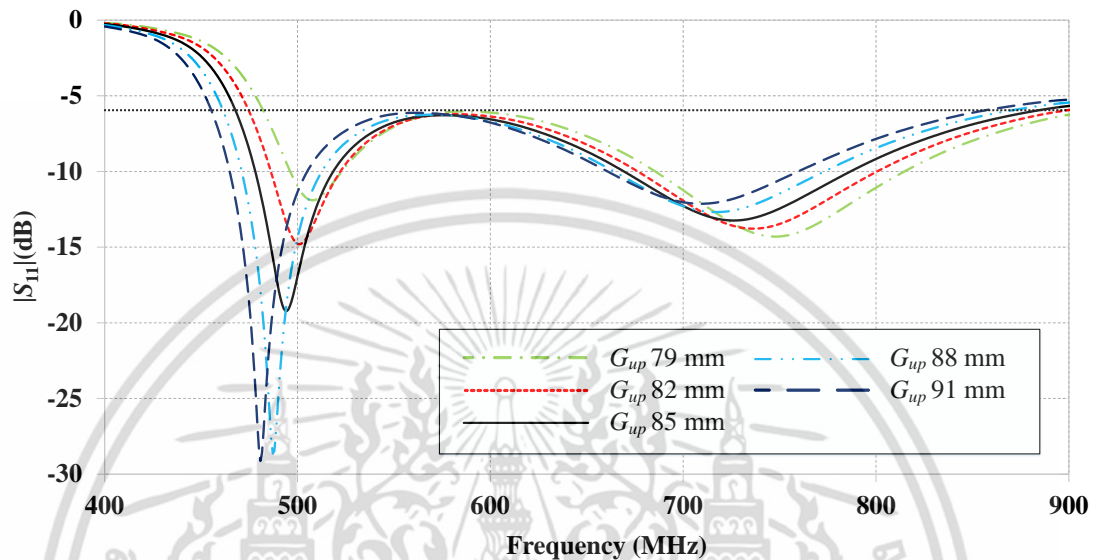
จากรูปที่ 4.11 พบว่าพารามิเตอร์ที่มุม 150 ถึง 180 องศา มีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า < -6 dB และที่มุม 180 องศาครอบคลุมย่านความถี่ 487-923 MHz ที่ค่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -37 dB ดีกว่ามุมที่ 150 องศา ที่ความถี่ 485-920 MHz ที่ค่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -34 dB ส่วนที่มุม 60 องศา 90 องศา และ 130 องศา นั้นมีค่า $|S_{11}| > -6$ dB

4.2.2 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองดังกล่าวข้างต้นมาทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ



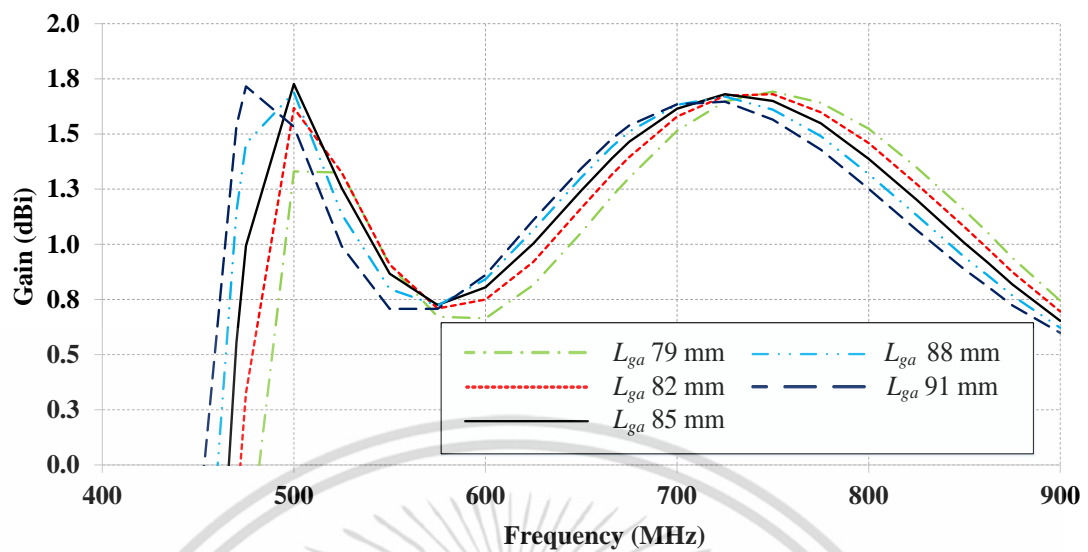
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 4.12 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศ** ขอสงวนสิทธิ์ในวงวิชาการเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาต หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะมีความผิดตามกฎหมายลิขสิทธิ์

จากรูปที่ 4.12 เป็นการจำลองค่าพารามิเตอร์ ผลจากการจำลองมีค่า $|S_{11}| < -6$ dB ในช่วงความถี่ 488-922 MHz ซึ่งครอบคลุมตามแผนความถี่วิทยุแห่งชาติที่ใช้กำหนดให้สถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ ระบบดิจิทัลที่ความถี่ใช้งาน 510-790 MHz



รูปที่ 4.13 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความยาวของระนาบกราวด์

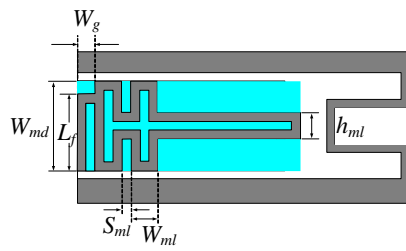
จากรูปที่ 4.13 ผลการจำลอง ความยาวของระนาบกราวด์บนและล่างแต่ละด้านของทุกขนาดให้ค่า $|S_{11}| < -6$ dB ขนาด 88 mm ครอบคลุมย่านความถี่ 461-852 MHz ที่ -28 dB และที่ 91 mm ครอบคลุมย่านความถี่ 456-854 MHz ที่ -28 dB และความยาวที่ 79 mm 82 mm ครอบคลุมย่านความถี่ 482-894 MHz ที่ -11 dB และที่ 82 mm ครอบคลุมย่านความถี่ 475 MHz ถึง 879 MHz ที่ -14 dB เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวที่ 85 mm ครอบคลุมย่านความถี่ 467-863 MHz ที่ -18 dB ซึ่งมีค่าแบนวิดธ์ที่ใกล้เคียงกันกับความยาวที่ 88 mm และ 91 mm แต่มีขนาดของกราวด์แต่ละด้านขนาดเล็กกว่า ส่วนเมื่อเทียบกับความยาวที่ 79 mm และ 82 mm ให้ค่า $|S_{11}|$ ที่ดีกว่า



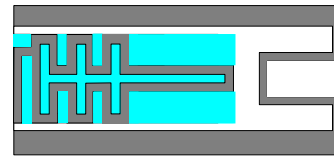
รูปที่ 4.14 ผลของอัตราขยายสายอากาศปรับความยาวของระนาบกราวนด์

จากรูปที่ 4.14 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความยาวของระนาบกราวนด์บนและล่างแต่ละด้านมีผลต่ออัตราขยายสายอากาศในย่านความถี่ต่ำความยาวของระนาบกราวนด์ที่ 85 mm ให้ค่าอัตราขยายของสายอากาศมีค่าสูงสุด 1.72 dBi ที่ความถี่ 550 MHz

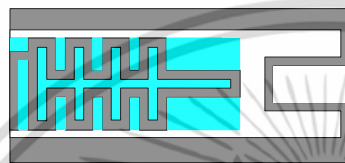
จากรูปที่ 4.12 พบว่าสายอากาศดังกล่าวทำงานอยู่ในช่วงความถี่ 488-922 MHz นั้น ยังไม่สอดคล้องกับความถี่ที่ใช้งานในระบบ DVB-H ที่ทำงานช่วงความถี่ 470-862 MHz ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศดังกล่าว จึงได้ดำเนินการปรับปรุงพารามิเตอร์ของสายอากาศ เพื่อให้ได้ความถี่ตามระบบดังกล่าวข้างต้น โดยการกำหนดพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองข้างต้นประกอบด้วย $L_f = 10$ mm $L_{gh} = 9$ mm $L_{gv} = 6$ mm มุมระหว่างระนาบกราวนด์ 180 องศา และขนาดความหนาของ ไดอิเล็กทริกแม่เหล็กเท่ากับ 1.6 mm มาเป็นแนวทางในการปรับโครงสร้างของสายอากาศ โดยอาศัยหลักการจากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นของชตวทวนเพื่อเพิ่มค่าขนาดทางไฟฟ้าทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศดีขึ้น



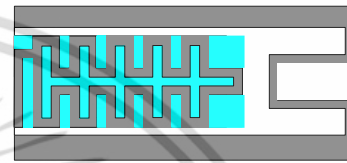
(ก) จำนวนขดลวด 2 รอบ



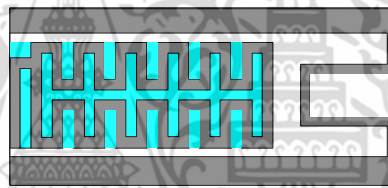
(ข) จำนวนขดลวด 3 รอบ



(ค) จำนวนขดลวด 4 รอบ

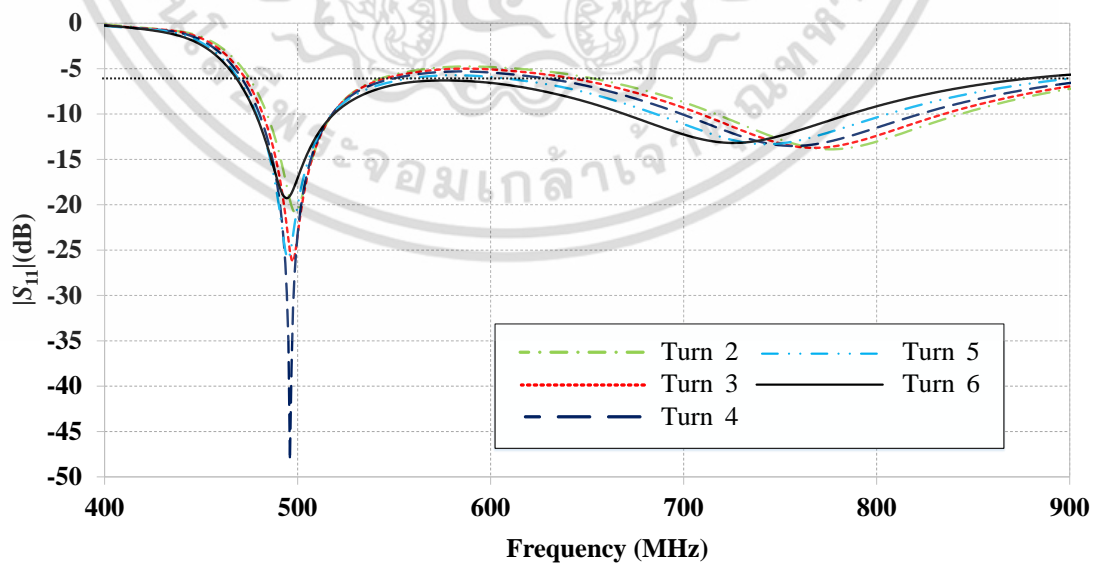


(ง) จำนวนขดลวด 5 รอบ



(จ) จำนวนขดลวด 6 รอบ

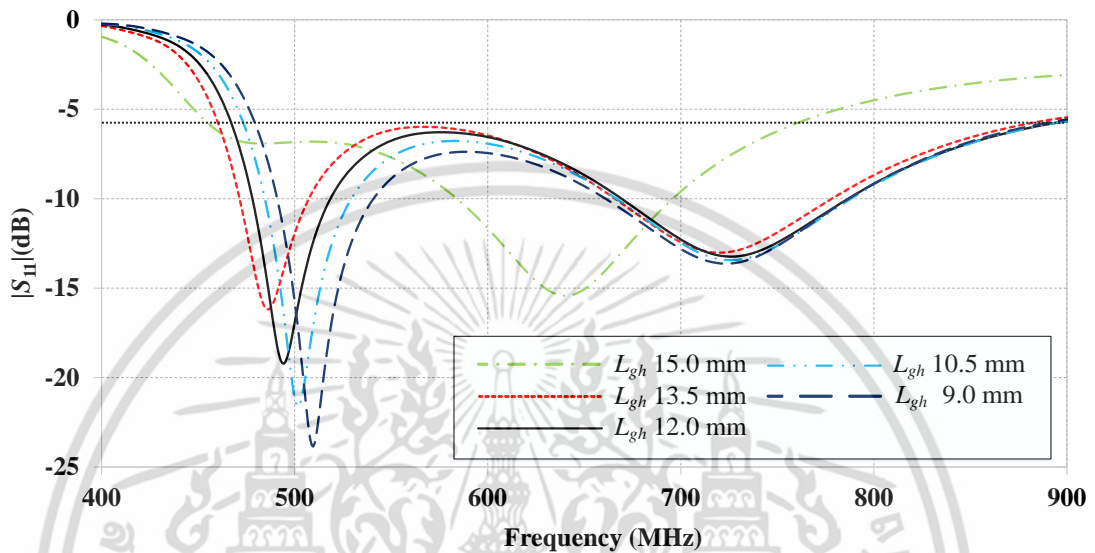
รูปที่ 4.15 การปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศโดยการเพิ่มความยาวของจำนวนขดลวด



รูปที่ 4.16 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศเมื่อปรับขนาดความยาวของจำนวนขดลวด

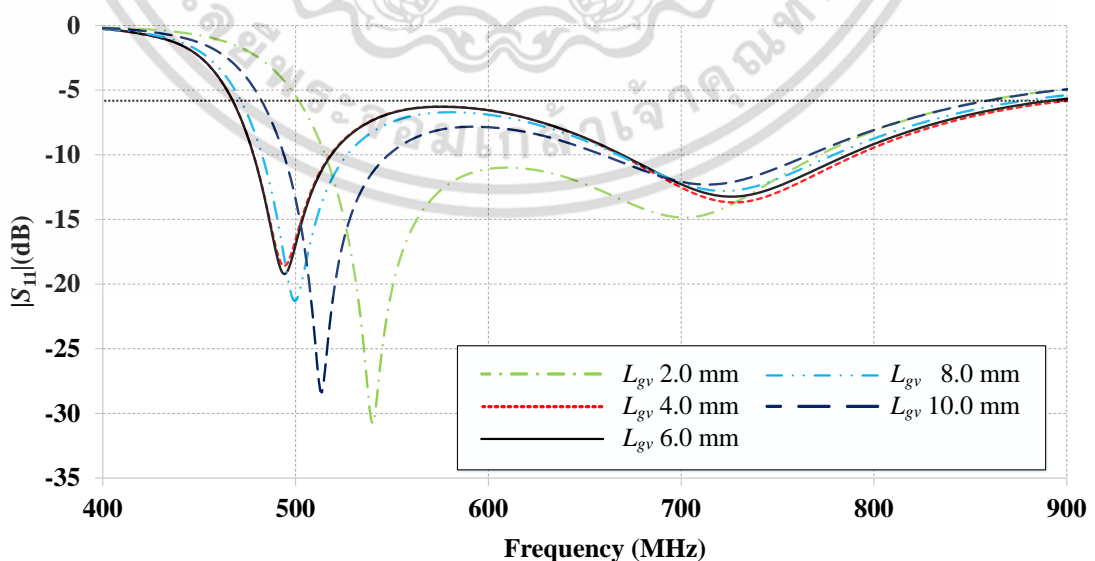
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 ในการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศด้วยการเพิ่มความยาวของขดลวดวน ตั้งแต่ 2 รอบ ถึง 6 รอบ โดยพิจารณา $|S_{11}| \leq -6$ พบว่าจำนวน ขดลวดวนตั้งแต่ 2 รอบ ถึง 5 รอบพบว่ามีค่าที่ไม่ครอบคลุมในย่านความถี่ใช้งาน ในขณะที่ ขดลวดวนจำนวน 6 รอบ พบว่าสายอากาศสามารถทำงานครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 468-878 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ที่สนใจ



รูปที่ 4.17 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับสตริปกราวนด์แนวนอน

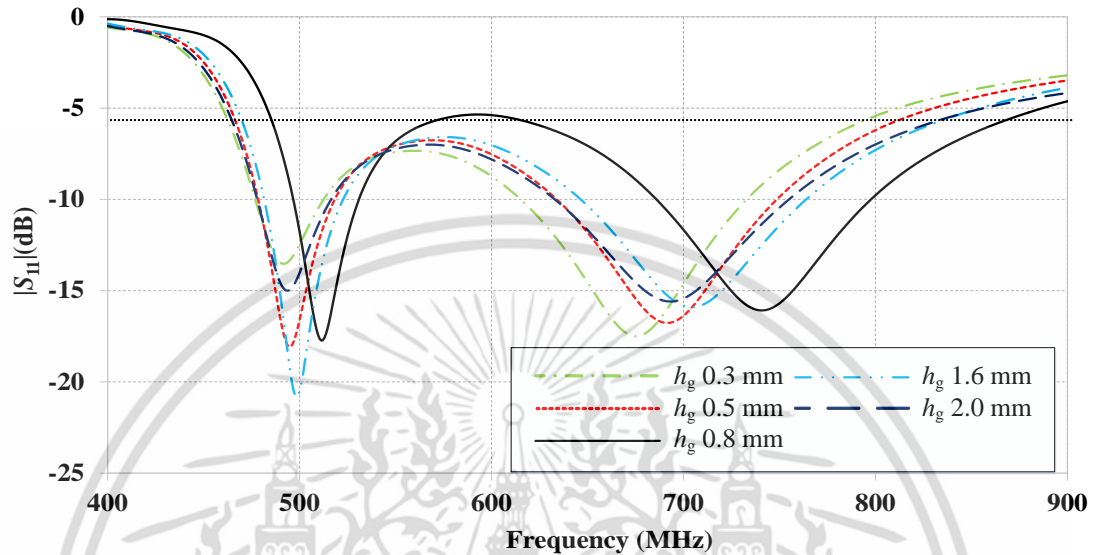
จากรูปที่ 4.17 พบว่าความยาวที่ 12 mm ที่ค่า $|S_{11}| \leq -6$ dB ให้ค่าแบนด์วิดท์ที่ความถี่ 467 MHz-876 MHz ซึ่งมีค่าแบนด์วิดท์กว้างกว่าความยาวที่ 9 mm และ 10.5 mm ส่วนความยาวที่ 13.5 mm นั้นมีค่าใกล้เคียง $|S_{11}| < -6$ dB แต่ค่าแมตซ์น้อยกว่าความยาวที่ 12 mm



รูปที่ 4.18 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับสตริปกราวนด์แนวตั้ง

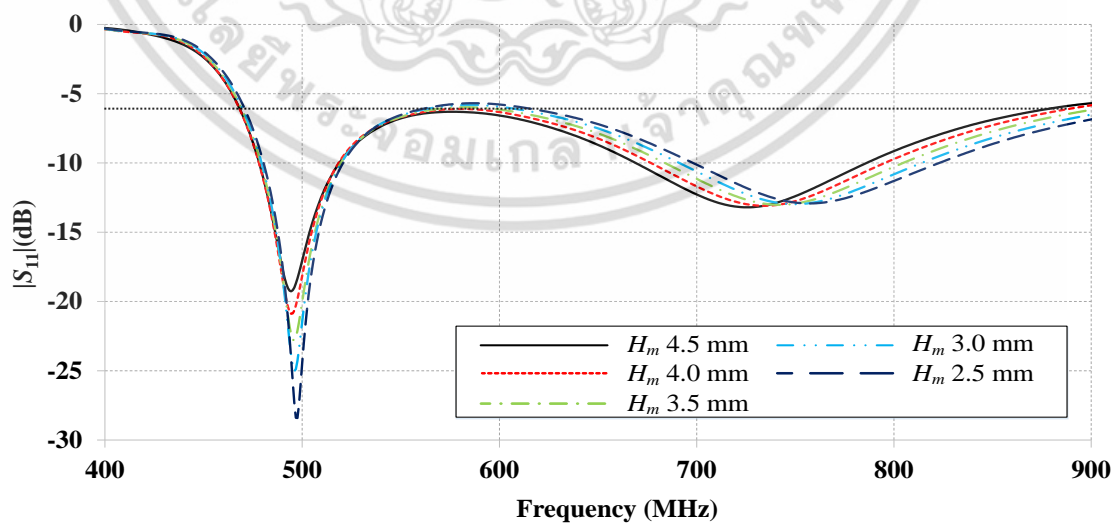
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 พบว่าทั้ง 5 ค่า ให้ค่า $|S_{11}| < -6$ dB โดยพบว่าที่ 4 mm ครอบคลุมย่านความถี่ 467-890 MHz ที่ -18.6 dB และ 6 mm ครอบคลุมย่านความถี่ 467-882 MHz ที่ -19.27 dB ให้ค่าแบนด์วิดท์ที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวอื่น ทั้งนี้ ความยาว 6 mm ให้แมตซ์ซิ่งดีกว่า 4 mm



รูปที่ 4.19 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความหนาของวัสดุฐานรอง FR4

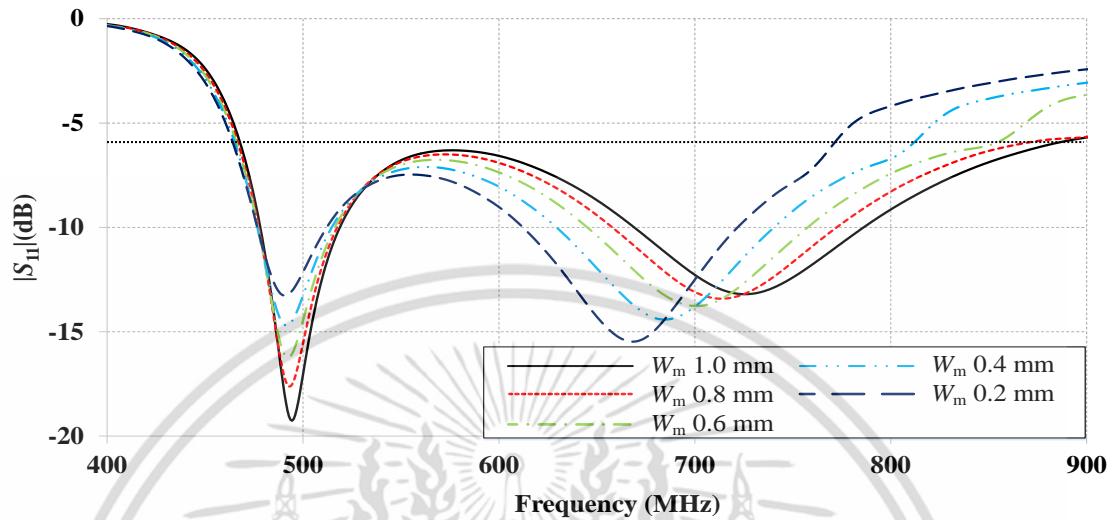
จากรูปที่ 4.19 พบว่าความหนาของวัสดุฐานรองที่ 0.8 mm ซึ่งมีแนวโน้มให้แบนด์วิดท์กว้าง ตั้งแต่ความถี่ 477-855 MHz ส่วนความหนาที่ 0.3 mm 0.5 mm 1.6 mm และความหนาที่ 2.0 mm ให้ค่าแบนด์วิดท์ที่น้อยกว่า ดังนั้น การเลือกค่าความหนาที่ 0.8 mm ต้องพิจารณาพารามิเตอร์อื่นด้วย



รูปที่ 4.20 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความสูงของขดวางวน

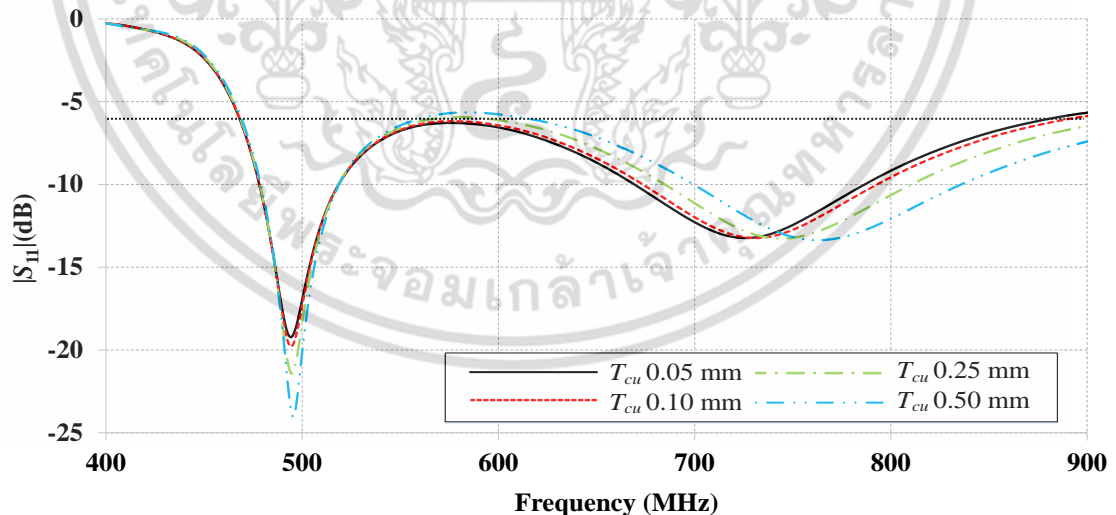
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 พบว่าสูงของขดวงวนที่ 4.5 mm ให้ค่า $|S_{11}| < -6$ dB ที่ความถี่ 469-875 MHz ส่วนความสูงที่ 2.5 mm 3.0 mm 3.5 mm และความสูงที่ 4.0 mm นั้น มีค่า $|S_{11}| > -6$ dB



รูปที่ 4.21 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความกว้างของขดวงวน

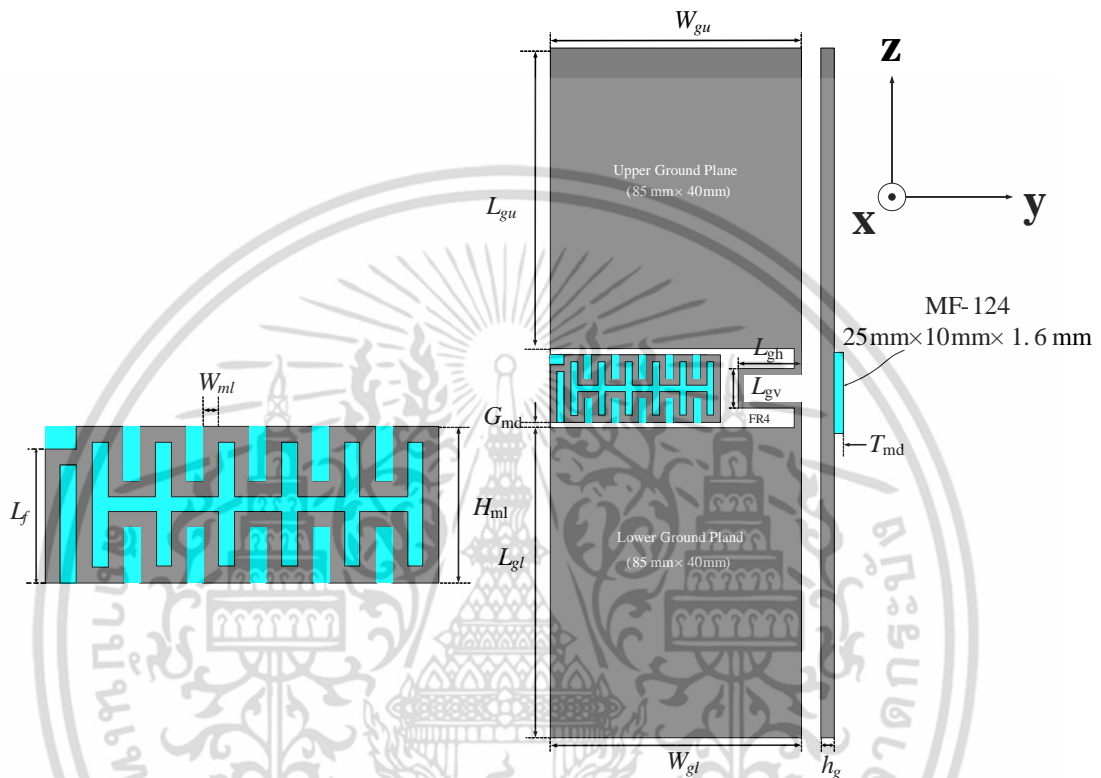
จากรูปที่ 4.21 พบว่าสูงของขดวงวนทั้ง 5 ให้ค่า $|S_{11}| < -6$ dB ที่ แต่ความกว้างที่ 1 mm ให้ค่าแบนด์วิดท์ที่มากที่สุดที่ช่วงความถี่ 468.79-881.59 MHz และให้ค่า $|S_{11}|$ ที่ -19 dB ส่วนความหนาที่ค่าอื่นนั้นให้ค่าแบนด์วิดท์ที่น้อยกว่า



รูปที่ 4.22 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับความหนาของขดวงวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 พบว่าความหนาของขดวงวนที่ 0.05 mm ช่วงความถี่ 469.79-875.99 MHz และและที่ความหนา 0.10 mm ให้ค่า $|S_{11}| < -6$ dB ให้ค่าแบนด์วิดธ์ที่มากที่สุดที่ช่วงความถี่ 469.79-884.15 MHz แต่ในการออกแบบจะเลือกความหนาที่ 0.05 mm เพื่อต้องการหนาของทองแดงเพื่อลดขนาดของตัวสายอากาศ



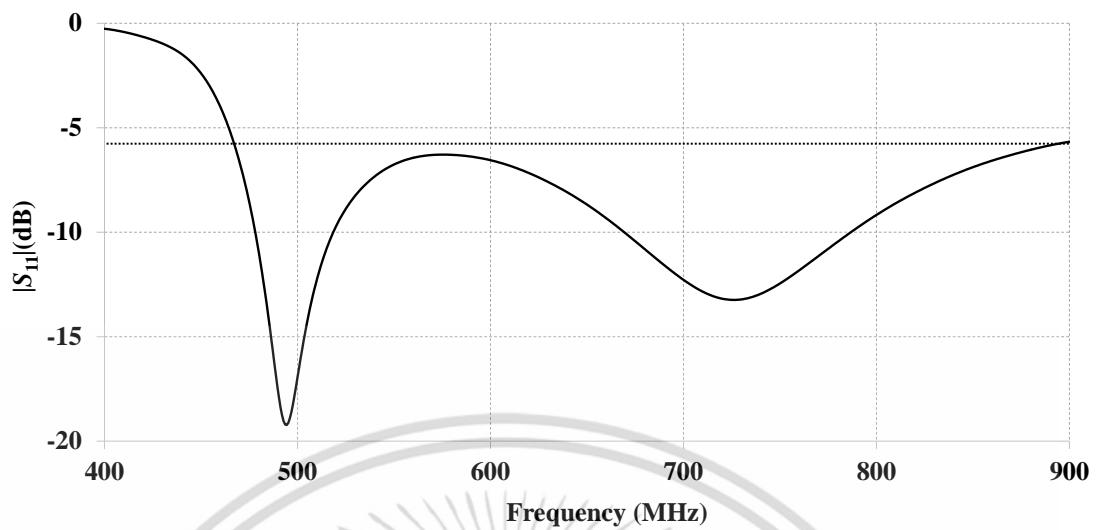
รูปที่ 4.23 โครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศจากการออกแบบ

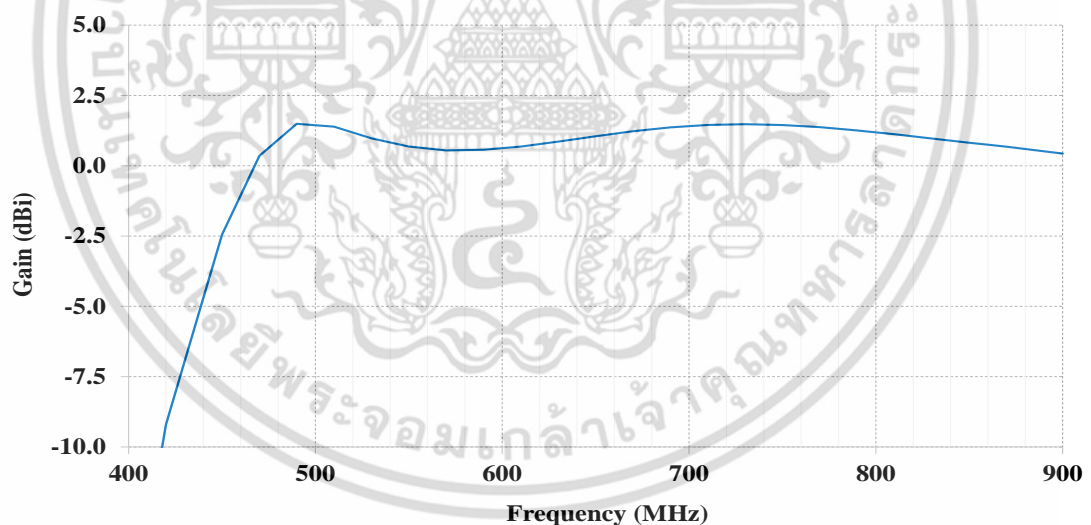
พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า 470 MHz	ขนาดทางไฟฟ้า 862 MHz
ความยาวของจุดกระตุ้นสัญญาณ (L_f)	8.5	$\lambda 0.0133$	$\lambda 0.02442$
ความยาวของสตริปกราวนด์ แนวนอน (L_{gh})	12	$\lambda 0.0188$	$\lambda 0.03448$
ความยาวของสตริปกราวนด์แนวตั้ง (L_{gv})	6	$\lambda 0.0094$	$\lambda 0.01724$
ความหนาของไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก (T_{md})	1.6	$\lambda 0.00251$	$\lambda 0.00459$
ระยะระหว่างระนาบกราวนด์กับ ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก (G_{md})	1	$\lambda 0.00157$	$\lambda 0.00287$
ความยาวของระนาบกราวนด์บน (L_{gu})	85	$\lambda 0.13317$	$\lambda 0.24423$
ความยาวของระนาบกราวนด์ล่าง (L_{gl})	85	$\lambda 0.13317$	$\lambda 0.24423$
ความกว้างของระนาบกราวนด์ล่าง (W_{gu})	40	$\lambda 0.06267$	$\lambda 0.11493$
ความกว้างของระนาบกราวนด์ล่าง (W_{gl})	40	$\lambda 0.06267$	$\lambda 0.11493$
ความหนาของวัสดุฐานรอง FR4 (h_g)	0.8	$\lambda 0.00125$	$\lambda 0.00287$
ความสูงของ Meander line (H_m)	4.5	$\lambda 0.00705$	$\lambda 0.01293$
ความกว้างของ Meander line (W_m)	1	$\lambda 0.00157$	$\lambda 0.00287$
ความกว้างของสตริปกราวนด์ แนวตั้ง (W_g)	6	$\lambda 0.0094$	$\lambda 0.17240$
มุมระหว่างระนาบกราวนด์ (α)	180 องศา	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศ

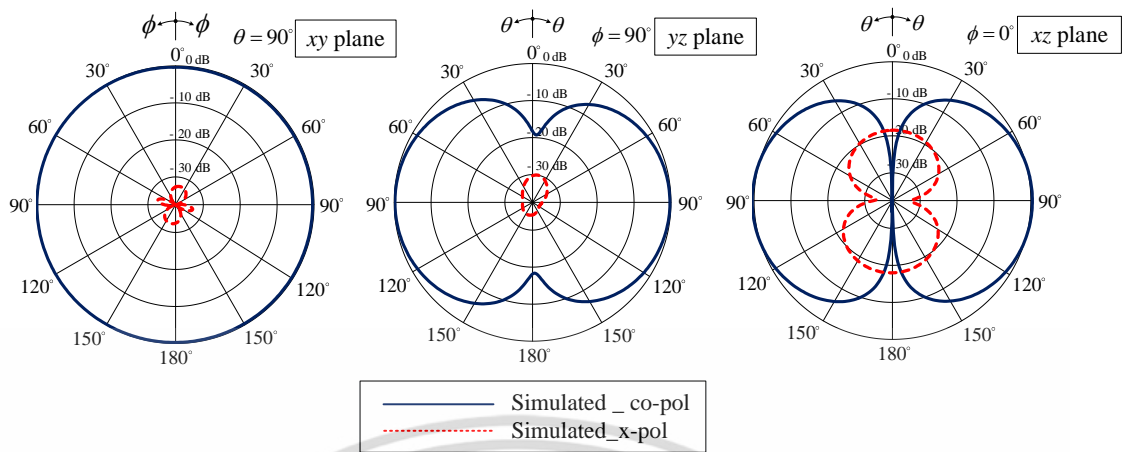
จากรูปที่ 4.24 เป็นการจำลองค่าพารามิเตอร์ ผลจากการจำลองมีค่า $|S_{11}| < -6$ dB ในช่วงความถี่ 468-882 MHz ซึ่งครอบคลุมตามแผนความถี่ที่ใช้งาน 510-790 MHz



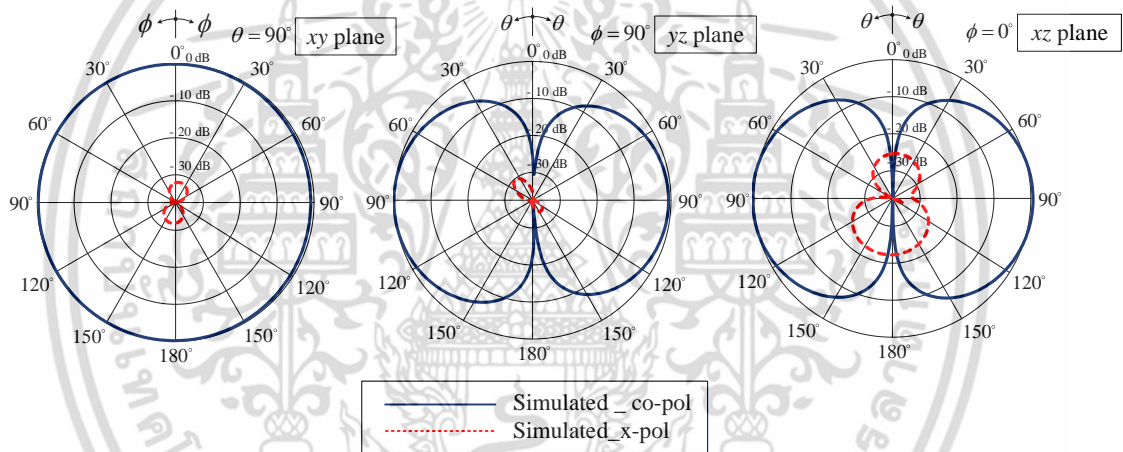
รูปที่ 4.25 ผลการจำลองอัตราขยายที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศที่ออกแบบ

จากรูปที่ 4.25 อัตราขยายสายอากาศตลอดช่วงความถี่ 450-870 MHz มีค่าอัตราขยายสายอากาศที่ต่ำสุดเท่ากับ -2.5 dBi และค่าสูงสุดที่ 1.523 dBi อัตราขยายสายอากาศที่ความถี่ 470 MHz เท่ากับ 0.353 dBi ความถี่ 666 เท่ากับ 1.190 dBi และที่ความถี่ 862 เท่ากับ 0.7388 dBi ครอบคลุมย่านความถี่ 468-882 MHz

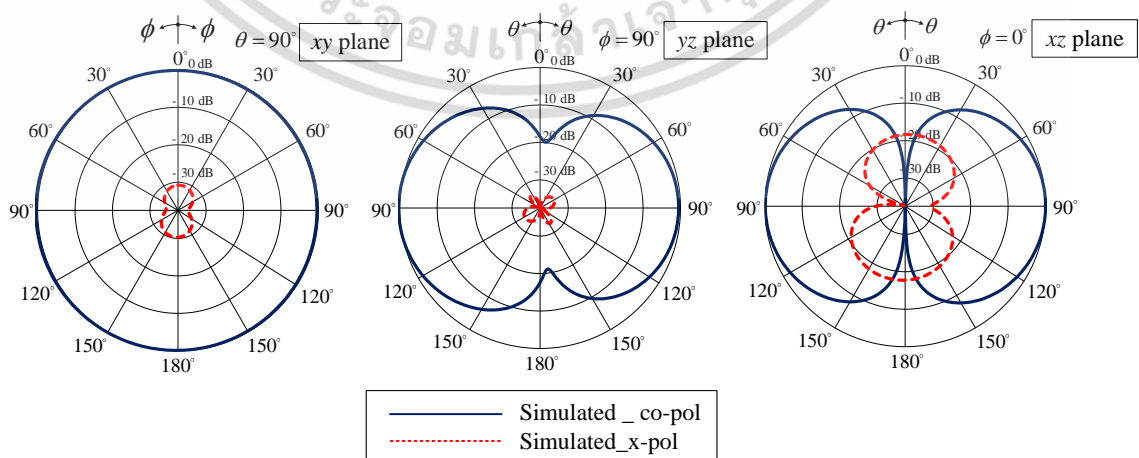
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 470 MHz



รูปที่ 4.27 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 666 MHz



รูปที่ 4.28 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 862 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 ถึงรูปที่ 4.28 แสดงการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาไรซ์ร่วม และแบบโพลาไรซ์ไขว้ โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีทิศทางที่แพร่กระจายแบบรอบทิศทาง

ตารางที่ 4.5 สรุปสมรรถนะของสายอากาศที่ได้จากการจำลอง

สมรรถนะของสายอากาศ	ค่าที่ได้จากการจำลอง
แบนด์วิดท์	468 MHz - 882 MHz
อัตรายาย	0.353 dBi - 1.190 dBi
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	รอบทิศทาง

4.3 บทสรุป

ผลที่ได้จากการจำลองสายอากาศมีค่าต่ำกว่า $|S_{11}| < -6$ dB มีคุณลักษณะที่เหมาะสมในการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นในระบบดิจิทัล ระบบ DVB-H โดยใช้เทคนิคของวัสดุฐานรองเป็นไดอิเล็กทริกแม่เหล็กที่ความหนา 1.6 mm มีผลทำให้ขนาดของสายอากาศมีขนาดเล็กลง และเพิ่มความยาวของขดคววน เพื่อให้มีขนาดของแบนด์วิดท์ครอบคลุมความถี่ที่ใช้งาน การเปลี่ยนแปลงสรีปความยาวของจุดกระตุ้นสัญญาณจะมีผลต่อช่วงความถี่สูง ความยาวของสตริปกราวนด์ และความกว้างของสตริปกราวนด์มีผลต่อความถี่ต่ำ ความหนาของไดอิเล็กทริกแม่เหล็กมีผลต่อความกว้างแถบคลื่นความถี่และค่า $|S_{11}|$ การปรับค่าของมุมของระนาบกราวนด์มีผลทำให้ค่าโพลาไรซ์ไขว้ต่ำทำให้สายอากาศรับคลื่นความถี่ของโพลาไรซ์เครื่องส่งโทรทัศน์ได้โพลาไรซ์เดียว และสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz อัตรายายที่ได้จากการจำลองที่ความถี่ตั้งแต่ 468 MHz ถึง 882 MHz มีค่า 0.353 dBi ถึง 1.190 dBi และมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ 61.33 %

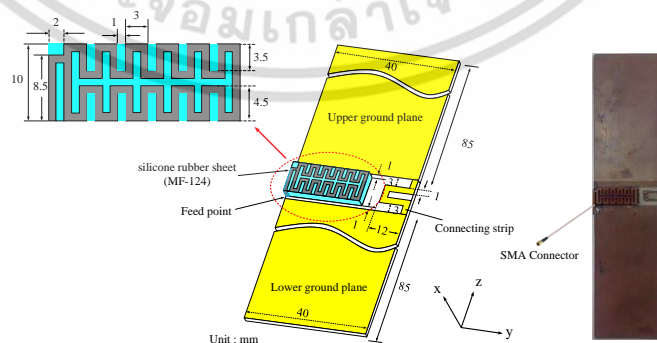
บทที่ 5 การทดสอบ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งจะพิจารณาคุณลักษณะ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใน 3 ระนาบคือ xy xz และ yz รวมถึงอัตราขยายของสายอากาศ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์พื้นฐานที่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในการออกแบบสายอากาศตามที่ได้นำเสนอไว้ใน บทที่ 4 และนำผลจากการศึกษาพารามิเตอร์มาทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบ เพื่อยืนยันความถูกต้องระหว่างผลที่ได้จากการจำลองและการทดสอบดังที่จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

5.2 สายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้นำเสนอสายอากาศสายอากาศแบบพกพา เพื่อรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลในระบบ DVB-H ผลที่ได้จากจำลองสายอากาศคุณลักษณะ $|S_{11}| < -6$ dB มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบแนวนอนมีอัตราขยายอยู่ในช่วง -10 ถึง -5 dBi ตลอดย่านความถี่ใช้งาน เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดของโทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-H โดยใช้เทคนิคของวัสดุฐานรองเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กที่ความหนา 1.6 mm มีผลทำให้ขนาดของสายอากาศมีขนาดเล็กลง และเพิ่มความยาวขดลวดเพื่อ ให้ขนาดความกว้างของแบนด์วิดธ์ครอบคลุมความถี่ที่ใช้งาน เพื่อยืนยันความถูกต้องจากผลการจำลอง โดยสายอากาศดังกล่าวมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ครอบคลุมช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ยูเอชเอฟ และมีแบนด์วิดธ์อย่างน้อย 493 MHz ตามข้อกำหนดของ DVB-H สายอากาศถูกออกแบบโดยใช้โครงสร้างตัวแพร่กระจายคลื่นซึ่งใช้เทคนิคขดลวดในการออกแบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติแถบความถี่กว้างอยู่บนไดอิเล็กตริกวัสดุฐานรองแม่เหล็ก (Magneto dielectric substrate) เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีขนาดเล็ก โดยสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ตามที่กล่าวไว้ในข้างต้น



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

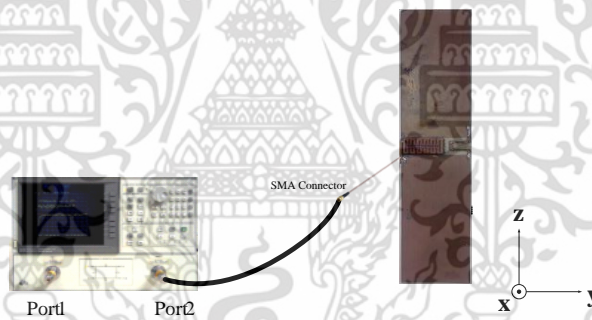
5.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบ

การทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อทดสอบสายอากาศ สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิทัล มีดังนี้

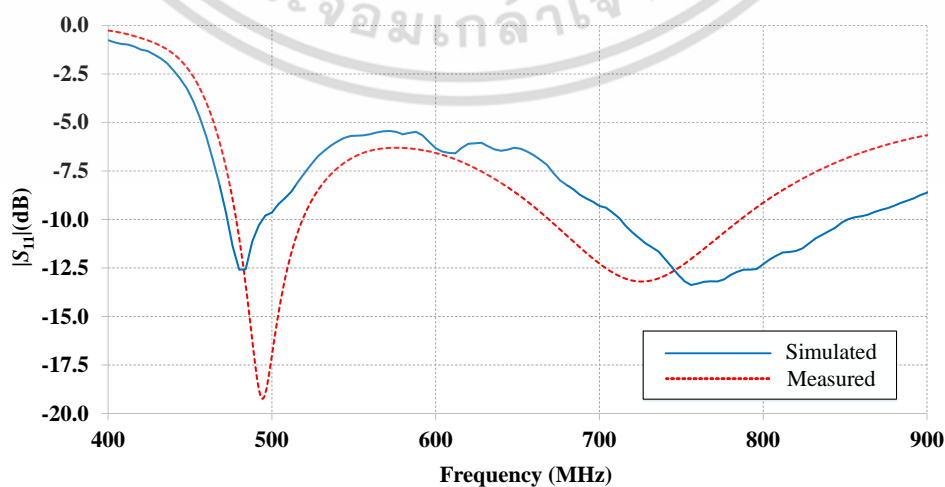
- ห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Microwave anechoic chamber)
- เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network analyzer) รุ่น HP-8720C
- สายนำสัญญาณอิมพีแดนซ์ 50 Ω

5.3.1 ผลการทดสอบ

การทดสอบ $|S_{11}|$ ทำได้โดยนำสายอากาศต่อกับสายนำสัญญาณที่พอร์ต 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โดยก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศเพื่อที่จะทดสอบนั้น จะทำการปรับเทียบให้กับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยการปรับเทียบดังกล่าวจะอยู่ที่ปลายสายของสายนำสัญญาณเพื่อลดการสูญเสียระหว่างสายนำสัญญาณที่อาจจะส่งผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ โดยการทดสอบ $|S_{11}|$ จะมีวิธีการติดตั้งสายอากาศร่วมกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่แสดงได้ดังรูปที่ 5.2 โดยสายนำสัญญาณจะมีการเชื่อมต่อที่ด้านหลังของสายอากาศ และผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การติดตั้งเพื่อทำการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ



รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบและการจำลองมีความสอดคล้องกัน โดยผลการทดสอบมีค่า $|S_{11}| < -6$ dB โดยมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 464-892 MHz และมีแบนด์วิดท์ เท่ากับ 428 MHz ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตรงตามข้อกำหนดของ DVB-H

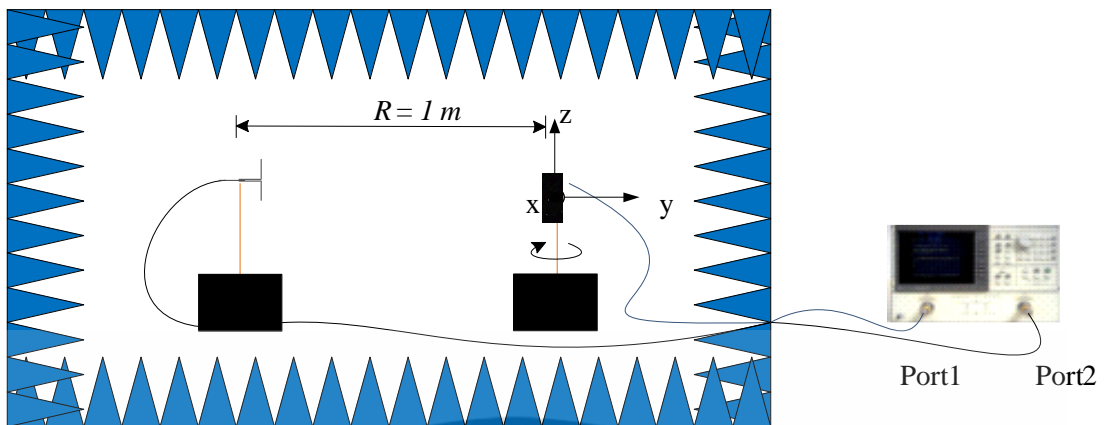
5.3.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ทดสอบได้จะเป็นของสายอากาศภาครับ และใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศภาคส่ง เนื่องจากสายอากาศไดโพลมาตรฐาน มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นและโพลาริซัที่แน่นอน จึงเหมาะสมกว่าที่จะใช้สายอากาศคู่เหมือนในการทดสอบ เนื่องจากยังไม่ทราบถึงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นและโพลาริซั โดยการติดตั้งสายอากาศภาคส่งและภาครับสำหรับทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะต้องมีระยะห่างมากพอที่แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศจะคงที่ หรือเรียกระยะดังกล่าวนี้ว่าระยะสนามระยะไกล (Far-field : R) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.1

$$R \geq \frac{2(D^2)}{\lambda} \quad (5.1)$$

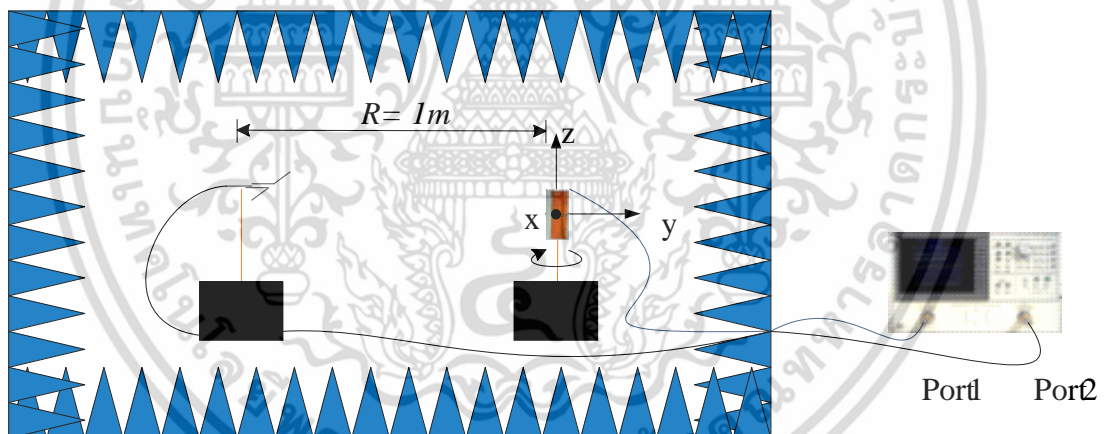
เมื่อ D คือ มิติยาวที่สุดของสายอากาศ (m)

โดยการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ จะทดสอบในห้องไร้การสะท้อนซึ่งเป็นห้องที่มีสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงช่องว่างอิสระ (Free space) มากที่สุด โดยการติดตั้งสายอากาศเพื่อทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น จะต้องทำการเชื่อมต่อสายอากาศภาคส่งเข้ากับพอร์ต 1 และเชื่อมต่อสายอากาศภาครับเข้ากับพอร์ต 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 และ 5.5 จากรูปดังกล่าวแสดงการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาริซัร่วมและโพลาริซัไขว้ในระนาบ xy ส่วนรูปที่ 5.6 และ 5.7 แสดงการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาริซัร่วมและโพลาริซัไขว้ในระนาบ xz และรูปที่ 5.8 และ 5.9 แสดงการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาริซัร่วมและโพลาริซัไขว้ในระนาบ yz โดยจะพิจารณาที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 ซึ่งการวางแผนในการทดสอบสายอากาศสามารถอ้างอิงได้จากรูปที่ 5.1 โดยผลการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเปรียบเทียบกับผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 ถึง รูปที่ 5.12 ตามลำดับ



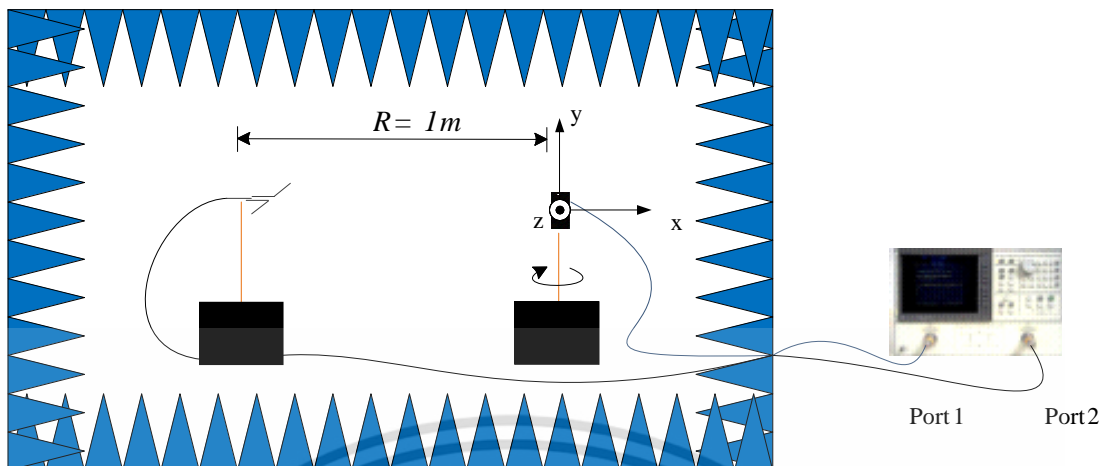
รูปที่ 5.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xy

จากรูปที่ 5.4 จะเป็นการแสดงวิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xy สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวนอน ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 5.1 จะวางในแนวนอน จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$



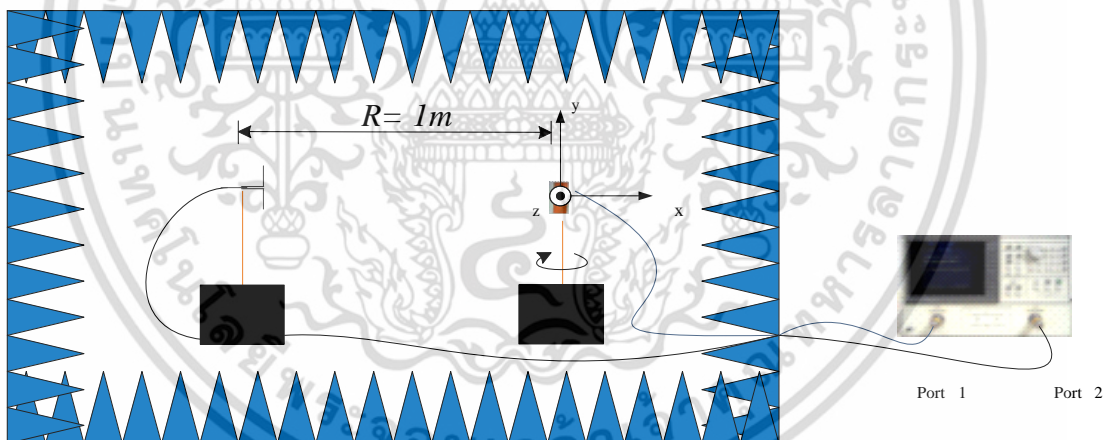
รูปที่ 5.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xy

จากรูปที่ 5.5 จะเป็นการแสดงวิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xy สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวตั้ง ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 5.1 จะวางในแนวนอน จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$



รูปที่ 5.6 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xz

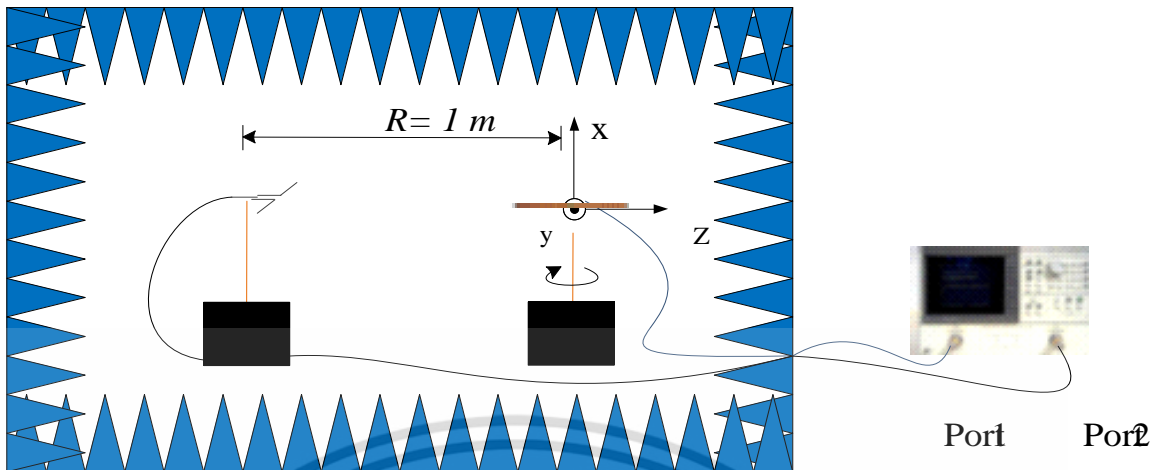
จากรูปที่ 5.6 จะเป็นการแสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xz สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวตั้ง ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 5.1 จะวางในแนวตั้งเหมือนกัน จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$



รูปที่ 5.7 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xz

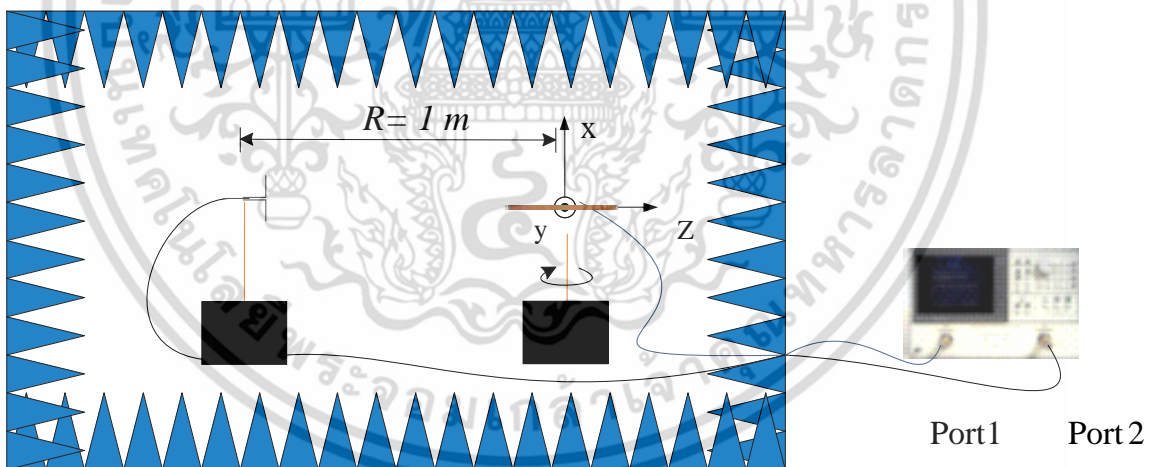
จากรูปที่ 5.7 จะเป็นการแสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xz สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวนอน ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 5.1 จะวางในแนวตั้ง จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ yz

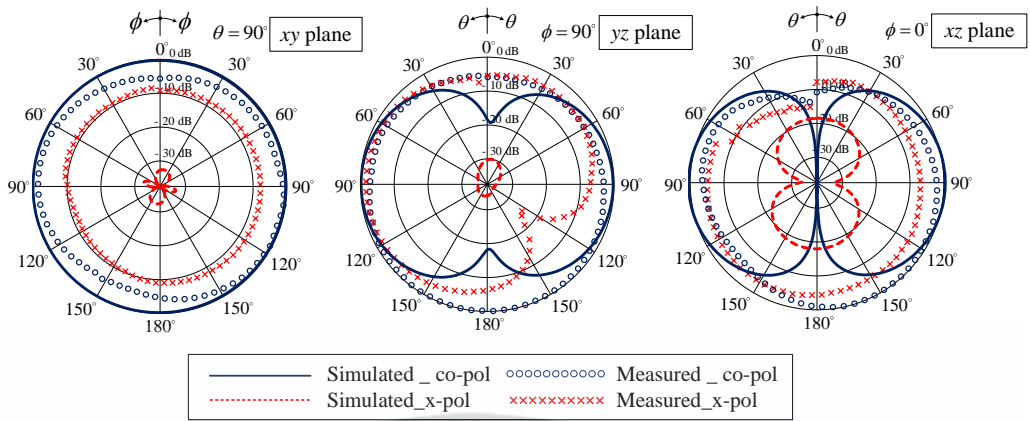
จากรูปที่ 5.8 จะเป็นการแสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) ในระนาบ xz สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวตั้ง ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 5.1 จะวางในแนวตั้งเหมือนกัน จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$



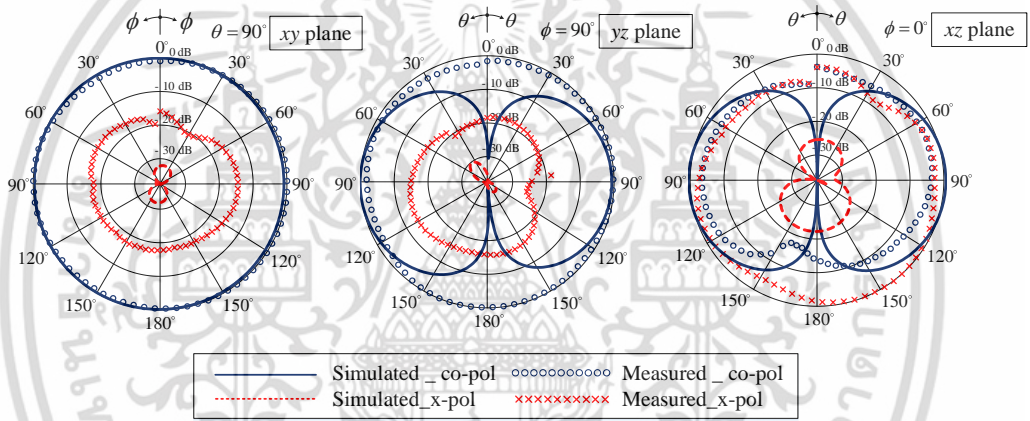
รูปที่ 5.9 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ yz

จากรูปที่ 5.9 จะเป็นการแสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar) ในระนาบ xz สายอากาศส่งคือสายอากาศไดโพล โดยจะวางสายอากาศในแนวนอน ส่วนสายอากาศรับคือสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 5.1 จะวางในแนวตั้ง จากนั้นทำการหมุนสายอากาศรับ 360 องศา และทำการบันทึกค่า $|S_{11}|$ จากการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นทั้ง 6 แบบ นั้นจะได้ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเปรียบเทียบกับผลการจำลองซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 ถึง รูปที่ 5.11

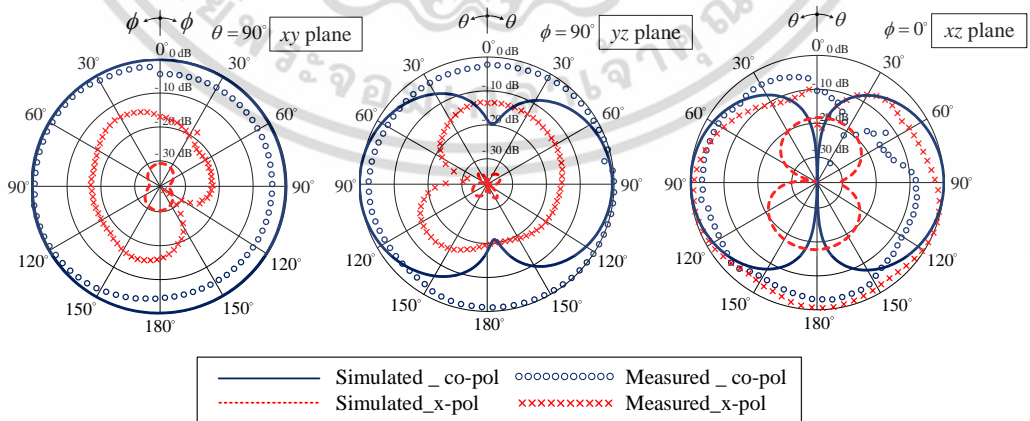
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ผลจากการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) กับโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar)



รูปที่ 5.11 ผลจากการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) กับโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar)



รูปที่ 5.12 ผลจากการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polar) กับโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.10 ถึง 5.12 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xy xz และ yz ตามลำดับ ซึ่งเป็นการแสดงผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซซ์ร่วม และแบบโพลาริซซ์ไขว้ ซึ่งผลที่ได้นั้นพบว่า กำลังงานที่รับได้จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซซ์ไขว้นั้น มีค่าน้อยกว่ากำลังงานที่รับได้จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซซ์ร่วม 20 dB จึงสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศที่นำเสนอสามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ และพบว่าผลการจำลองและผลการทดสอบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้มีความสอดคล้องกัน มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางที่ในระนาบแนวนอนหรือระนาบ xz ตลอดย่านความถี่ใช้งานที่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ทั้งนี้ ผลการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลของการจำลองและผลการทดสอบไม่สอดคล้องกันเนื่องจากขั้นตอนการสร้างในข้อจำกัดในเรื่องของโครงสร้างสายอากาศที่มีขนาดเล็กและผลเนื่องจากการวัด

5.3.3 อัตราขยาย (Gain)

สำหรับการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสามารถใช้วิธีการติดตั้งดังรูปที่ 5.4 แต่จะไม่มี การหมุนที่สายอากาศภาครับ โดยใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศภาคส่งที่มีอัตราขยาย เท่ากับ 2 dBi และใช้สายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศภาครับเพื่อทดสอบหาอัตราขยาย ซึ่งอัตราขยาย ของสายอากาศที่ใช้ทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.2 และผลการทดสอบอัตราขยาย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.13

$$(G_{0t})_{dB} + (G_{0r})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (5.2)$$

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)

คุณลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่พิจารณาที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ พบว่าที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ทั้ง 3 ความถี่ดังกล่าวมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันระหว่างผลการทดสอบและผลการจำลอง โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบ xz ทั้ง 3 ความถี่มีความแตกต่างของกำลังที่แพร่กระจายได้สูงสุดและต่ำสุดมากเกิน 3 dB จึงสามารถจะกล่าวได้ว่าสายอากาศต้นแบบมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางในระนาบ xz และผลการทดสอบยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ที่มีสาเหตุมาจากการเชื่อมต่อของสายนำสัญญาณที่ด้านหลังของสายอากาศ ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสายนำสัญญาณร่วมกับสายอากาศภาครับและภาคส่ง และการส่งสัญญาณที่มาจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะต้องผ่านสายนำสัญญาณมาสู่สายอากาศ ที่มีจุดเชื่อมต่อกันระหว่างคอนเนคเตอร์อยู่มาก และมีอัตราขยายในช่วงความถี่ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz พบว่าผลการทดสอบและผลการจำลองมีความสอดคล้องกัน โดยมีอัตราขยายน้อยที่สุดและมากที่สุดคือ -3.101 dBi และ 1.89 dBi ตามลำดับ ตลอดช่วงความถี่ที่พิจารณา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอสายอากาศสำหรับการประยุกต์ใช้งานในการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล โดยมีวัตถุประสงค์สำหรับการออกแบบสายอากาศ คือ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้รอบทิศทาง และมีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเริ่มจากการหาค่าขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และทำการปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศเพื่อให้คุณลักษณะของสายอากาศนั้น สอดคล้องกับมาตรฐาน DVB-H เพื่อทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบสำหรับการพัฒนาใช้งานจริงต่อไป

ในบทนี้จะกล่าวถึง พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการออกแบบสายอากาศรอบตัว รวมไปถึงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองและผลที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศ และข้อเสนอแนะสำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้อธิบายถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศในช่วงความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิทัล รวมไปถึงวิธีการออกแบบสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวการ โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® [25] ในการจำลองผลเพื่อหาค่าขนาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมจะถูกนำไปใช้สร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป

มาตรฐานของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลในระบบ DVB-H กำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งาน คือ ย่านความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้ จะนำเสนอวิธีการออกแบบสายอากาศที่ใช้โครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัวแพร่กระจายคลื่นซึ่งใช้เทคนิคการขดกวนในการออกแบบ เพื่อให้ได้คุณสมบัติแถบความถี่กว้างอยู่บนวัสดุฐานรองแม่เหล็กเทียม (Magneto dielectric substrate) โดยวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกแม่เหล็กจะถูกออกแบบรวมอยู่กับระนาบกราวด์ที่มีโครงสร้างติดกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบดังกล่าว

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะถูกนำมาสรุปเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนที่ 1-5 ดังนี้

ขั้นตอน 1 กล่าวถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยกิจการโทรทัศน์นั้นถือได้ว่าเป็นกิจการที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมโดยรวมของประเทศเป็นอย่างมาก การเปลี่ยนไปสู่โทรทัศน์ระบบดิจิทัลจึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน จากความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านความเป็นอยู่ ความคิดความเข้าใจต่อสังคมภายนอก และมีโอกาสที่จะเลือกในสิ่งที่ตรงกับความต้องการของตนเองมากยิ่งขึ้น แต่เดิมจนถึงปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบภาคพื้นดิน หรือ Terrestrial broadcasting ระบบอนาล็อก โดยส่งคลื่นความถี่ผ่านอากาศ ไปยังเสาหนวดกุ้งหรือก้างปลาตามที่อยู่อาศัยของประชาชน ซึ่งในกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 3 ยุค (Generation)

คือ ยุคที่ 1 ยุคโทรทัศน์ขาว-ดำ (พ.ศ. 2490 – 2510) ยุคที่ 2 ยุคโทรทัศน์สี (พ.ศ. 2510 – 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และยุคที่ 3 คือ ยุคโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ซึ่งจะเห็นว่า ไม่ว่าจะยุคสมัยและเทคโนโลยีจะเปลี่ยนไปอย่างไร ส่วนประกอบของระบบที่สำคัญเสมอที่ต้องใช้ในการแพร่สัญญาณภาพและเสียงในระบบโทรทัศน์ก็คือสายอากาศส่ง โดยที่การส่งสัญญาณภาพในโทรทัศน์ระบบดิจิทัล สายอากาศส่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณจากโหมกด้านส่งไปยังโหมกด้านรับ และในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะนำเสนอการศึกษาออกแบบ และทดสอบสายอากาศส่งเพื่อให้เหมาะสมสำหรับแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-H

ขั้นตอนที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล โดยเริ่มจากประวัติความเป็นมา รวมทั้งมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัล และได้รับความสนใจจากสื่อมวลชน ประชาชน รวมไปถึงผู้ประกอบการทางด้านโทรทัศน์ โดยส่วนมากแล้วการสร้างสายอากาศเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบโทรทัศน์ดิจิทัลนี้ ตามมาตรฐานของระบบ DVB-H นั้นจะต้องมีช่วงความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz หรือขึ้นอยู่กับมาตรฐานการรับส่งของระบบที่อ้างอิง ซึ่งในประเทศไทยได้ตั้งข้อกำหนดการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล โดย กสทช. ที่มีการกำหนดมาตรฐานของเครื่องรับสัญญาณ หรือ Set Top Box ให้สามารถรับความถี่ได้ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz จากข้อกำหนดในการออกแบบสายอากาศที่ทำงานในย่านความถี่ของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ซึ่งปัจจุบันการรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลได้กลับมาเป็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สาย เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ แล็ปท็อป โทรศัพท์มือถือ และยานพาหนะ

ขั้นตอนที่ 3 สายอากาศขนาดเล็กจึงมีความสำคัญมากและเป็นประเด็นที่ถูกนำมาหาวิธีในการลดขนาดของสายอากาศ หลาย ๆ วิธีได้ถูกนำมาลดขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศ โดยหีบยกการพิจารณาในเรื่องของคุณสมบัติการแพร่กระจาย และค่าสูญเสียของวัสดุ ได้แก่ ไดอิเล็กตริก (Dielectric) ไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก (Magneto-Dielectric) อภิวัด (Metamaterial) และเรโซเนเตอร์แบบแยกวงแหวน (Split ring resonators) เป็นต้น ในอดีตที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยได้ศึกษาโดยการนำคุณสมบัติของวัสดุมาสร้างสายอากาศขนาดเล็ก และได้พยายามยาวนานโดยใช้วิธีต่าง ๆ วิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ คือ การใช้ไดอิเล็กตริกที่มีค่าอินยอมทางไฟฟ้าสูง (high permittivity : ϵ) โดยการนำวัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็ก มาใช้ในการลดขนาดของสายอากาศโดยใช้ค่าของความอินยอมไฟฟ้าและค่าความซึมซับทางแม่เหล็ก (Permeability : μ) ในการลดขนาดความยาวของท่อนำคลื่น และขนาดโดยรวมของสายอากาศ อย่างไรก็ตามผลของการนำวัสดุฐานรองที่มีค่าอินยอมทางไฟฟ้าสูงทำให้ขนาดแบนด์วิดธ์ของสายอากาศลดลง สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการลดสายอากาศโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกแม่เหล็กในการออกแบบ และใช้หลักการของขดวงวน (meander line) มาใช้ในการเพิ่มแบนด์วิดธ์ของสายอากาศ

ขั้นตอนที่ 4 กล่าวถึง การศึกษา การวิเคราะห์ พารามิเตอร์ของสายอากาศ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองถูกประเมินด้วยการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผล โดยการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ อัตราขยาย แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งพบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องเป็นในทิศทางเดียวกันและสามารถสรุปสมรรถนะของสายอากาศ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายอากาศทำงานย่านความถี่กว้างและรองรับการทำงานสำหรับโทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-H โดยมีผลการจำลอง $|S_{11}| < -6$ dB ตั้งแต่ความถี่ 464-892 MHz

- ผลการทดสอบอัตรายายสำหรับสายอากาศที่ความถี่ 470 MHz เท่ากับ 1.12 dBi ที่ความถี่ 666 MHz เท่ากับ -0.351 dBi และที่ความถี่ 862 MHz เท่ากับ -1.611 dBi ตลอดย่านความถี่ใช้งาน (470-862 MHz)

- สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว มีขนาดเล็กและโครงสร้างไม่ซับซ้อน ขั้นตอนที่ 5 กล่าวถึง การศึกษา การวิเคราะห์ การสร้างและทดสอบสายอากาศ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองถูกประเมินด้วยการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผล โดยการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ อัตรายาย แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความถี่ลำคลื่นครึ่งกำลัง ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง ระดับลำคลื่นด้านหลัง ซึ่งพบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องเป็นในทิศทางเดียวกันและสามารถสรุปสมรรถนะของสายอากาศได้ ดังต่อไปนี้

- สายอากาศต้นแบบทำงานย่านความถี่กว้างและรองรับการทำงานสำหรับโทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-H ได้ โดยมีผลการทดสอบ $|S_{11}| < -6$ dB ตั้งแต่ความถี่ 464-892 MHz

- สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายรอบทิศทาง ขั้นตอนที่ 6 กล่าวถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศที่นำเสนอกับงานวิจัยที่มีมาก่อนปัญหาที่เกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางการศึกษาสำหรับการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบงานวิจัยสายอากาศแบบพกพา กับสายอากาศที่ออกแบบ

ผลงานวิจัยที่มีมาก่อน	ขนาดของสายอากาศ (mm)	ช่วงความถี่ใช้งาน (MHz)	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	อัตรายาย (dBi)
[9]	50x5x2	470 ถึง 710	รอบทิศทาง	-6.9 ถึง 0.38
[10]	25x10x2	468 ถึง 719	รอบทิศทาง	-10 ถึง -7
[11]	50x8x2	470 ถึง 710	รอบทิศทาง	-10 ถึง -7
มาตรฐาน	-	470 ถึง 862	รอบทิศทาง	-10 ถึง -5
สายอากาศที่ออกแบบ	25x10x1.6	464 ถึง 892	รอบทิศทาง	-3.101 ถึง 1.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากการศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศพบว่า โครงสร้างสายอากาศสามารถที่จะออกแบบให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ตลอดย่านความถี่ที่ใช้งานของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล แต่อัตราขยายของสายอากาศมีค่าน้อยเนื่องจากสายอากาศมีขนาดเล็ก งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเพื่อใช้ในการลดขนาดของสายอากาศร่วมกับการใช้เทคนิคแบบขดลวดวน ซึ่งการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์หลายค่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแบนด์วิดธ์ของสายอากาศ ได้แก่ ความหนาของวัสดุฐานรอง จุดป้อนสัญญาณ ความหนาของทองแดง สตรีประหวาง ระนาบกราวนด์ เป็นต้น ทั้งนี้ สามารถที่จะนำไปพัฒนาเพื่อก่อให้เกิดความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วารสาร กสทช. ประจำปี 2557 เล่ม 1 หน้า 023-048
- [2] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, “มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล,” เล่ม 129, หน้า 45, 2555
- [3] อสมท. 2012 ปฏิบัติการดิจิทัล อสมท. [Online] Available <http://dtv.mcot.net/data/reportdtv.php>.
- [4] วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 พ.ศ. – ส.ศ 2554 หน้า 472-482.
- [5] 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.
- [6] S. Kashihara and F. Kuroki, “J-shaped monopole antenna array as an antenna for terrestrial digital broadcasting at UHF band,” *Microwave Symposium Digest, 2009. MTT '09. IEEE MTT-S International*, pp.293-296, 2009.
- [7] 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.
- [8] C.-K. Hsu and S.-J. Chung, “A wideband dvb forked shape monopole antenna with coupling effect for usb dongle application,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.58, no.9, pp.3029-3036, 2010.
- [9] Chang-Hyun Park , Hanphil Rhyu , Sung-Hyun Kim , Changwon Jung , and Byungje Lee “Internal DTV Antenna on Multilayered Ferrite Substrate for Mobile Phone Applications” *Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp 1-4, 2008.
- [10] H. Rhyu, C. Jung, J. Byun, M. Park, Y. Chung, T. Kim, and B. Lee, *Member, IEEE* “DVB-H Antenna Design Using Folder-Type Chassis and Coupling Element on a Ferrite” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 8, 2009.
- [11] Byeongkwan Kim, Hanphil Rhyu, In-Young Lee, Joonho Byun, and Byungje Lee “DVB-H Antenna Design Using Folder-Type Chassis and Coupling Element on a Ferrite” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 8, pp 453-456, 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] D.H. Choi, H.S. Yun and S.O. Park “Internal antenna with modified monopole type for DVB-H applications” *IET Electronics Letters*, vol. 42, pp 1436-1438, 2006.
- [13] M Komulainen, M Berg, H Jantunen “Compact varactor-tuned meander line monopole antenna for DVB-H signal reception” *IET Electronics Letters*, vol. 43, pp 1436-1438, 2007.
- [14] Shao-Li Zuo, Zhi-Ya Zang, and Jia-Wei Yang “Planar Meander Monopole Antenna With Parasitic Strips and Sleeve Feed for DVB-H/LTE/GSM850/900 Operation in the Mobile Phone” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 12, 2013.
- [15] Jung-Nam Lee, Hanbat Nat, Jong-Kweon Park, Jin-Suk Kim “Design of the DVB-H Antenna Using Broadband Matching Circuit” *Microwave Conference, 2007. APMC 2007. Asia-Pacific*, vol. 42, pp 1-4, 2006.
- [16] Chao-Fu Wang, Ling Bing Kong, Fu-Gang Hu, Zhihong Yang, and Zheng-Wen Li “Electrically Small Magneto-Dielectric Coated Monopole Antenna at HF Band” *IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*, pp 27-29, 2012,
- [17] C. Niamien, S. Collardey, A. Sharaiha and K. Mahdjoubi. “Ultra-miniature UHF antenna using magneto-dielectric material” *Electronics Letters* 3rd, Vol. 47 , No. 5, March 2011
- [18] Farhad Farzami, Keyvan Forooraghi “Miniaturization of a Microstrip Antenna Using a. Compact and Thin Magneto-Dielectric Substrate. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, pp 1540-1542, 2011.
- [19] Jungyub Lee, Jeongkyu Heo, Joonghee Lee, and Youngho Han, “Design of Small Antennas for Mobile Handsets Using Magneto-Dielectric Material,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 60, no. 4, April 2012.
- [20] David Souriou, Jean Luc Mattei, Solène Boucher1, Ala Sharaiha, and Anne Claude “Antenna Miniaturization and Nanoferrite Magneto-Dielectric Materials” *Antenna Technology and Applied Electromagnetics & the American Electromagnetics Conference (ANTEM-AMEREM)*, 2015.
- [21] Kihun Chang , Hao Zhu, Xiaokai Zhang, and Hao Xin, “Study of New Magneto-Dielectric Substrate for Compact Antenna Application,” *International Workshop on Antenna Technology*, 2011.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [22] ETSI TR 102 377 V1.4.1 (2009-06). Technical Report. Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines. European Broadcasting Union
- [23] <http://www.thaidigitaltelevision.com>
- [24] M. Kornfeld, “The DVB-H Mobile Broadcast Standard” *IEEE Standards in a Nutshell* *Signal Processing Magazine*, vol.25, pp.118-122, 2008.
- [25] CST-Microwave Studio, User’s Manual, 2010.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพิพัฒน์ บำรุงกาญจน์
วัน เดือน ปีเกิด 30 ตุลาคม 2516
ที่อยู่ 196 หมู่ 1 หมู่บ้านชนชื่น แขวงวัฒนา เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10700
ประวัติการศึกษา
ปริญญาตรี สำเร็จการศึกษา พ.ศ. 2546 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ปริญญาโท สำเร็จการศึกษา พ.ศ. 2550 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545-2547 กรมไปรษณีย์โทรเลข
พ.ศ. 2547-2549 สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ
พ.ศ. 2549-ปัจจุบัน สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] B. Pipat, B. Luadang and, C. Phongcharoenpanich, "Integrated Antenna using a Magneto-Dielectric Substrate," *Thailand-Japan MicroWave 2013 (TJMW2015)*, Bangkok, August 2015.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้