

สายอากาศหลายย่านความถี่  
MULTIPLEBAND ANTENNA



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

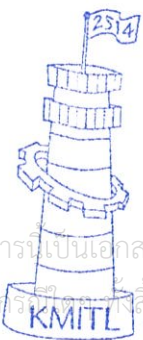
สายอากาศหลายย่านความถี่  
Multipleband Antenna




โดย  
นางสาวณัฐวดี กฤตโยภาส 54010448  
นายณัฐวิช สวงวงศ์ดีบารมี 54010452

อาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ.ดร.ชอุวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

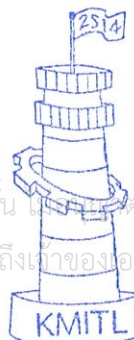
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557



ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

  
อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ชอุวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

  
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

8/5/59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาแจ้งหากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering

วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering

ปริญญาโทปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศหลายย่านความถี่

MULTIPLEBAND ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นางสาวณัฐวดี กฤตโยภาส 54010448
2. นายณัฐวิษ สวงศักดิ์บำรุง 54010452



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สามารถดำเนินงานสำเร็จได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจากรศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ดูแลการดำเนินโครงการและเป็นผู้ช่วยเหลือแนะนำแนวทางด้านการศึกษางานวิจัย หลักการดำเนินชีวิตและหลักการคิดให้ชีวิตดำรงอยู่ได้อย่างมีความสุขและทั้งยังแนะนำกระบวนการคิดและหลักการทำงานวิจัยให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านตลอดช่วงชีวิตการศึกษาของข้าพเจ้าที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ให้กับข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่ง

ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่านสำหรับคำแนะนำ กำลังใจและข้อคิดที่ดีตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมามีคอยช่วยเหลือในงานวิจัยของข้าพเจ้า โดยเฉพาะคุณรัศมีทัต แผนสมบูรณ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษา การทดสอบชิ้นงานและช่วยเหลือสำหรับการทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศหลายย่านความถี่  
Multiband Antenna

โดย นางสาวณัฐวดี กฤตโยภาส 54010448  
นายณัฐวิช สงวนศักดิ์บาร์มี 54010452

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

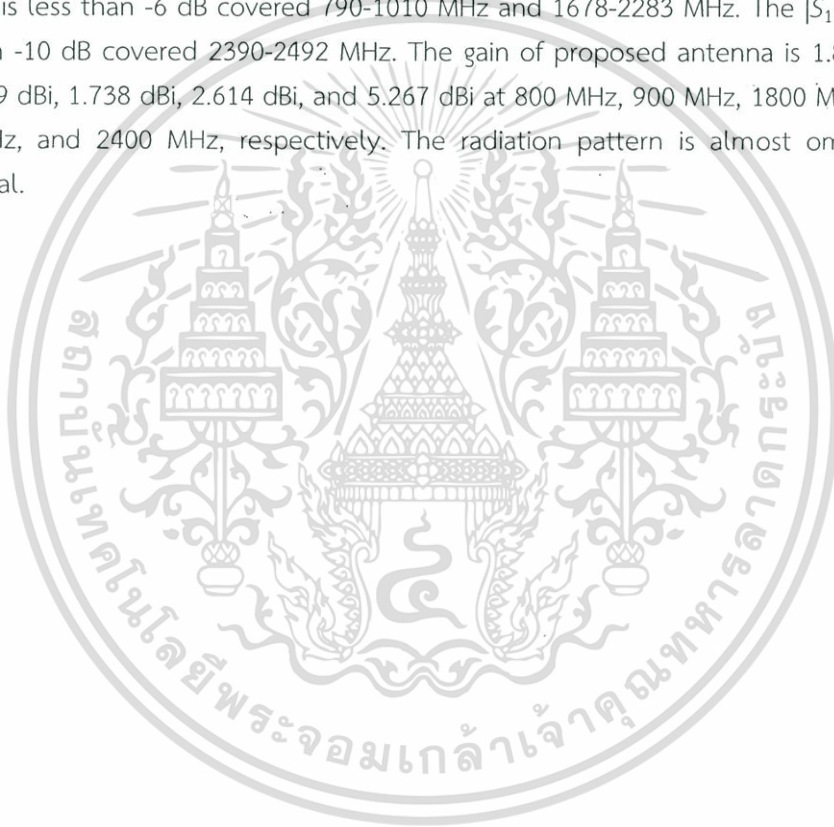
บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสายอากาศหลายย่านความถี่สำหรับคอมพิวเตอร์พกพาเพื่อใช้งานในระบบ WLAN 2G และ 3G โดยสายอากาศที่ออกแบบจะติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อนของหน้าจอคอมพิวเตอร์พกพา ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอ ถูกสร้างบนแผ่นพิมพ์วัสดุฐานรอง FR-4 มีความหนา 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมและราคาถูก สายอากาศที่นำเสนอมีขนาด 2 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร โครงสร้างของสายอากาศเป็นรูปตัวทีและป้อนสัญญาณด้วยเส้นสตริปและมีตัวปรับจูนรูปตัวยูอยู่ด้านหลังของสายอากาศแผ่นพิมพ์ ซึ่งการออกแบบได้จำลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและนำไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบเพื่อทำการทดสอบคุณลักษณะโดยสายอากาศต้นแบบมีค่า  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -6 dB ที่ความถี่ 790-1010 MHz และ 678-2283 MHz และมีค่า  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ 2390-2492 MHz สำหรับอัตราขยายของสายอากาศที่นำเสนอที่ความถี่ 800 MHz 900 MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz มีค่า 1.834 dBi 2.169 dBi 1.738 dBi 2.614 dBi และ 5.267 dBi ตามลำดับ และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ABSTRACT

This project presents multiband antenna for WLAN 2G and 3G systems in laptop computer. The antenna is printed on FR-4 substrate with thickness of 0.8 mm. The size of the antenna is 2 cm x 11 cm. The antenna is formed to be T-shape which is fed by microstrip line and used a U-shaped tuning on the back side. Then, the effect of antenna parameter are studied. It can confirm that the performance of antenna is useful in real situation. The  $|S_{11}|$  of the proposed antenna is less than -6 dB covered 790-1010 MHz and 1678-2283 MHz. The  $|S_{11}|$  is less than -10 dB covered 2390-2492 MHz. The gain of proposed antenna is 1.834 dBi, 2.169 dBi, 1.738 dBi, 2.614 dBi, and 5.267 dBi at 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, and 2400 MHz, respectively. The radiation pattern is almost omnidirectional.



## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	VI
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
<b>บทที่ 1</b>	
<b>บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	3
<b>บทที่ 2</b>	
<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>5</b>
2.1 บทนำ	5
2.2 หลักการและทฤษฎีของระบบเครือข่ายไร้สาย	5
2.2.1 เทคโนโลยีแบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RADIO FREQUENCY)	5
2.2.1.1 NARROW BAND TECHNOLOGY	5
2.2.1.2 SPREAD SPECTRUM TECHNOLOGY	5
2.2.1.3 ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEX	6
2.2.2 เทคโนโลยีแบบใช้สัญญาณอินฟราเรด (INFRARED)	6
2.3 มาตรฐานการติดต่อสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน	6
2.3.1 มาตรฐานของ WLAN	6
2.3.2 เทคโนโลยี 2G	7
2.3.3 เทคโนโลยี 3G	8
2.4 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศไมโครสตริป	9
2.4.1 สายอากาศไมโครสตริป (MICROSTRIP ANTENNA)	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ประเภทของสายอากาศแบ่งตามลักษณะการส่งสัญญาณ	10
2.4.3 โพลาริเซชันเชิงเส้น (LINEAR-POLARIZATION)	11
2.5 บทความวิจัยที่มีมาก่อน	12
2.5.1 PRINTED LOOP ANTENNA WITH A U-SHAPED TUNING ELEMENT FOR HEPTA-BAND LAPTOP APPLICATIONS	12
2.5.2 MULTIBAND PRINTED MONOPOLE SLOT ANTENNA FOR WWAN OPERATION IN THE LAPTOP COMPUTER	13
2.5.3 A BROADBAND LTE/WWAN ANTENNA DESIGN FOR TABLET PC	14
2.5.4 A COMPACT PRINTED MULTI-BAND ANTENNA FOR LAPTOP APPLICATIONS	14
2.5.5 PLANAR MONOPOLE ANTENNA WITH TWO COUPLED STRIPS FOR INTERNAL EIGHT-BAND LTE/WWAN LAPTOP COMPUTER APPLICATION	15
2.6 สรุป	16
<b>บทที่ 3 การออกแบบและจำลองสายอากาศ</b>	<b>17</b>
3.1 บทนำ	17
3.2 โครงสร้างของสายอากาศ	16
3.3 การออกแบบสายอากาศ	19
3.3.1 สายอากาศเริ่มต้น	20
3.3.2 ผลการจำลองการกระจายของกระแส	31
3.3.3 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	36
3.3.4 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ	39
3.4 สรุป	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4</b>	
ผลการทดลอง	42
4.1 บทนำ	42
4.2 ขั้นตอนการทดสอบ	42
4.3 การทดสอบและผลการทดสอบ	43
4.3.1 การทดสอบและผลการทดสอบ $ S_{11} $	43
4.3.2 การทดสอบและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	55
4.3.3 การทดสอบและผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ	60
4.4 สรุป	62
<b>บทที่ 5</b>	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	64
5.1 บทนำ	64
5.2 สรุปผล	64
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	65
บรรณานุกรม	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด	1
1.2 การเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุด	2
2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย	6
2.2 สายอากาศไมโครสตริป	9
2.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว	10
2.4 ระบุสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่แบบ LINEAR POLARIZATION	11
2.5 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศแบบลูบที่มีตัวปรับจูนส์รูปตัว U ที่ ถูกนำเสนอสอน	12
2.6 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศไมโนโพลที่ถูกนำเสนอสอน	13
2.7 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศที่ถูกนำเสนอสอน	14
2.8 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศที่ถูกนำเสนอสอน	15
2.9 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศที่ถูกนำเสนอสอน	15
3.1 โครงสร้างสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ติดตั้งในคอมพิวเตอร์พกพา	18
3.2 โครงสร้างของสายอากาศตัวที่ 1	21
3.3 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 1	21
3.4 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 2	22
3.5 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 2	23
3.6 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 3	24
3.7 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 3	25
3.8 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 4	26
3.9 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 4	26
3.10 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 5	27
3.11 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 5	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.12	โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 6	29
3.13	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศต้นตัวที่ 6	30
3.14	ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศ ที่ความถี่ 800 MHz	31
3.15	ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศ ที่ความถี่ 900 MHz	31
3.16	สายอากาศที่มีพารามิเตอร์ที่ตอบสนองความถี่ 800-900 MHz	31
3.17	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศที่ความถี่ 800-900 MHz	32
3.18	ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศ ที่ความถี่ 2400 MHz	32
3.19	สายอากาศที่มีพารามิเตอร์ที่ตอบสนองความถี่ 2400 MHz	33
3.20	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz	34
3.21	ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศ ที่ความถี่ 1800 MHz	34
3.22	ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศ ที่ความถี่ 2100 MHz	34
3.23	สายอากาศที่มีพารามิเตอร์ที่ตอบสนองความถี่ 1800-2100 MHz	35
3.24	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศที่ความถี่ 1800-2100 MHz	36
3.25	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ที่ความถี่ 800 MHz	36
3.26	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ที่ความถี่ 900 MHz	37
3.27	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ที่ความถี่ 1800 MHz	37
3.28	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ที่ความถี่ 2100 MHz	38
3.29	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ที่ความถี่ 2400 MHz	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.30 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ	39
4.1 ภาพถ่ายสายอากาศต้นแบบ	42
4.2 การทดสอบ $ S_{11} $	44
4.3 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 1	45
4.4 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 1	45
4.5 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 2	46
4.6 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 2	47
4.7 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 3	48
4.8 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 3	48
4.9 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 4	49
4.10 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 4	50
4.11 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 5	51
4.12 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 5	52
4.13 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 6	53
4.14 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศตัวที่ 6	54
4.15 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	55
4.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 800 MHz	56
4.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 900 MHz	57
4.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 1800 MHz	57
4.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2100 MHz	57
4.20 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz	58
4.21 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ	61
4.22 ผลการทดสอบการรับสัญญาณ WIFI	63

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริบ	10
3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ	18
3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 1	21
3.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 2	23
3.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 3	24
3.5 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 4	26
3.6 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 5	28
3.7 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 6	29
3.8 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ความถี่ 800-900 MHz	32
3.9 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz	33
3.10 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ความถี่ 1800-2100 MHz	35
3.11 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศที่นำเสนอ	39
3.12 สรุปคุณลักษณะของสายอากาศ	40
4.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ	43
4.2 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 1	45
4.3 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 2	46
4.4 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 3	48
4.5 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 4	50
4.6 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 5	51
4.7 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 6	53
4.8 เปรียบเทียบ $ S_{11} $ จากการจำลองและการทดสอบ	54
4.9 เปรียบเทียบ HPBW จากการจำลองและการทดสอบ	59
4.10 อัตราขยายจากการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลอง	61
4.11 สรุปผลการทดสอบสายอากาศ	62
5.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศที่นำเสนอ	65

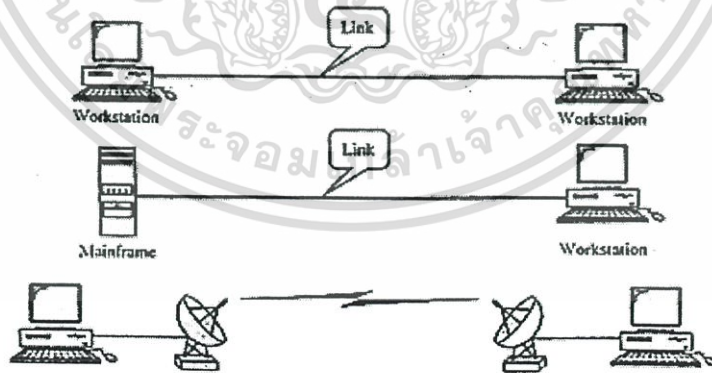
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การติดต่อสื่อสารเป็นการส่งข้อมูลข่าวสาร เพื่อให้เข้าใจความหมายของข้อมูลข่าวสารที่ผู้ส่งส่งไปและเกิดความเข้าใจระหว่างกัน [1] การติดต่อสื่อสารได้มีการพัฒนามาเรื่อยๆ ปัจจุบันการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ข้อมูลข่าวสารสามารถถูกถ่ายโอนได้ทั้งระยะใกล้และไกล ซึ่งได้รับความนิยมแพร่หลายขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีที่ง่าย สะดวกรวดเร็ว ลดปัญหาการติดตั้งและการวางสายระบบเครือข่าย โดยการติดตั้งไม่ต้องใช้สายเคเบิล (Cable) เพื่อนำสัญญาณและสามารถใช้งานติดต่อสื่อสารได้ทุกที่ทุกเวลา ทำให้การสื่อสารไร้สายถูกนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์พกพา เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์พกพา แท็บเล็ต เป็นต้น

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์พกพามีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก เนื่องจากคอมพิวเตอร์พกพาสามารถใช้งานได้สะดวกและสามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา โดยระบบการสื่อสารไร้สายมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งช่วงแรกนิยมใช้งานแบบจุดต่อจุด (Point to Point) เป็นการทำงานในลักษณะที่มีการติดตั้ง Access Point เข้าไปในระบบเครือข่ายสายทองแดง เพื่อกระจายสัญญาณไปยัง เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ไร้สายอยู่การทำงานในลักษณะนี้เป็นที่นิยมแพร่หลายเนื่องจากสามารถใช้งานร่วมกับระบบสายทองแดงและดัดแปลงใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่โดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ไร้สายเพิ่มเติม [2] ดังรูปที่ 1.1

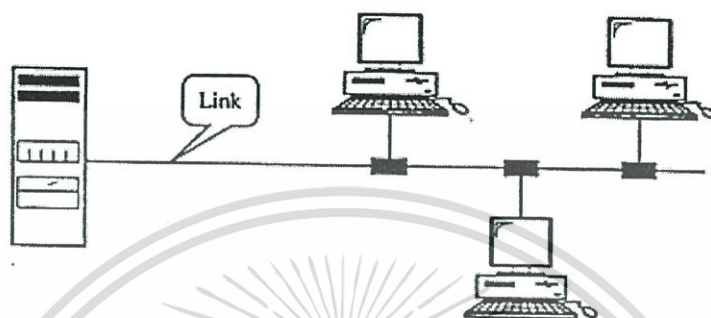


รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด [3]

ต่อมาได้มีการพัฒนาเป็นการเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุด (Point to Multipoint) ซึ่ง Wireless Access Point ทำงานในลักษณะเดียวกับแบบ Point to Point คือ เชื่อมต่อเครือข่ายสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองแดงเข้าด้วยกัน แต่มีการทำงานร่วมกันมากกว่าสองเครือข่าย ดังนั้น Wireless Access Point แต่ละตัวจะมีการรับส่งสัญญาณกันโดยตรง [2] ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุด [3]

สำหรับคอมพิวเตอร์พกพาปัจจุบันสามารถรองรับเทคโนโลยี WLAN 2G และ 3G ซึ่งทำงานในย่านความถี่ 800 MHz 900 MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz สายอากาศจึงเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจาก Access Point และมีการประยุกต์ใช้งานสายอากาศแบบแผ่นวงจรมิมพ์กับคอมพิวเตอร์พกพา เนื่องจากมีความบาง ขนาดเล็ก ราคาถูก สามารถสร้างได้ง่าย นำมาใช้งานได้หลายย่านความถี่และง่ายต่อการนำไปติดตั้งบนอุปกรณ์ที่ต้องการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งในปริภูมิตันฉบับนี้นำเอาข้อดีของสายอากาศบนแผ่นวงจรมิมพ์มาใช้ออกแบบสายอากาศสำหรับคอมพิวเตอร์พกพาในย่านความถี่ 800 MHz 900 MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz ที่รองรับเทคโนโลยี WLAN 2G และ 3G

ดังนั้นปริภูมิตันฉบับนี้จึงทำการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปหลายย่านความถี่ โดยเริ่มทำการออกแบบจากโครงสร้างรูปตัวที (T-Shape) บนแผ่นวงจรมิมพ์จากนั้นทำการเพิ่มเส้นสตริปไลน์เข้าไปในสายอากาศและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยี WLAN ที่ความถี่ 2400 MHz (2400-2485 MHz) ที่อนุญาตให้ใช้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g/n เทคโนโลยี 2G 3G ที่ความถี่ 800 MHz (824-894 MHz) 900 MHz (897.5-960 MHz) 1800 MHz (1710-1880 MHz) และ 2100 MHz (1920-2170 MHz)

## 1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการทำงานของสายอากาศสำหรับคอมพิวเตอร์พกพาเพื่อนำไปออกแบบและสร้างสายอากาศสำหรับการใช้งานในเทคโนโลยี WLAN 2G และ 3G ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานภายในคอมพิวเตอร์พกพาจากแผ่นวงจรพิมพ์ โดยทำการปรับปรุงคุณลักษณะของสายอากาศให้มีการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำและสามารถสร้างได้ง่าย

- เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะของสายอากาศที่นำเสนอ
- เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของคอมพิวเตอร์พกพาต่อสายอากาศที่นำเสนอ

## 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสายอากาศหลายย่านความถี่สำหรับคอมพิวเตอร์พกพา เพื่อนำไปใช้งานในเทคโนโลยี WLAN 2G และ 3G โดยอาศัยทฤษฎี การวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของสายอากาศและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยการศึกษาจากงานวิจัยได้ทำการศึกษผลกระทบของพารามิเตอร์ของสายอากาศ เพื่อปรับปรุงให้ได้สายอากาศที่มีค่าที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับคอมพิวเตอร์พกพาในย่านความถี่ที่ต้องการ ปรับปรุงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นให้ใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง เพื่อให้คอมพิวเตอร์พกพาสามารถรับสัญญาณได้รอบทิศทางและปรับปรุงขนาดของสายอากาศให้มีขนาดเล็กด้วยแผ่นวงจรพิมพ์บนวัสดุฐานรอง FR4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.4

## 1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 นำเสนอความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษา ขอบเขตการวิจัยและรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบเครือข่ายไร้สาย WLAN มาตรฐานของระบบเครือข่ายไร้สาย เทคโนโลยี 2G 3G ทฤษฎีของสายอากาศไมโครสตริปและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 นำเสนอการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศที่จะทำการสร้าง โดยเริ่มจากการคำนวณหาความกว้างและความยาวของร่องตัวแพร่กระจายคลื่น อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปวิเคราะห์ในโปรแกรม เพื่อดูความสอดคล้องของทฤษฎีและทำการปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศและ  $|S_{11}|$  ที่ใช้งานได้ที่ย่านความถี่ตั้งแต่ 824-894 MHz ตั้งแต่ 897.5-960 MHz ตั้งแต่ 1710-1880 MHz ตั้งแต่ 1920-2170 MHz และตั้งแต่ 2400-2485 MHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางหรือใกล้เคียงมากที่สุด

บทที่ 4 นำเสนอผลการทดสอบสายอากาศต้นแบบที่ได้ทำการวิเคราะห์ในขั้นต้นมาสร้างจริง จากนั้นนำผลจากการจำลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้ทดสอบ โดยแสดง  $|S_{11}|$  แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 นำเสนอข้อสรุปของปริญญานิพนธ์ ผลกระทบต่างๆในการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์  
ผลทดสอบของสายอากาศที่สร้างขึ้น แนวทางการพัฒนาและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของระบบเครือข่ายไร้สาย WLAN มาตรฐานของระบบเครือข่ายไร้สาย เทคโนโลยี 2G 3G ทฤษฎีของสายอากาศไมโครสตริปและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.2 หลักการและทฤษฎีของระบบเครือข่ายไร้สาย

ระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN = Wireless Local Area Network) คือระบบการสื่อสารข้อมูลที่นำมาใช้ทดแทนหรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายแลนใช้สายแบบดั้งเดิม โดยเป็นการส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ (RF) และคลื่นอินฟราเรดในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องผ่านทางอากาศ ทะลุกำแพง เพดาน หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยไม่ต้องอาศัยการเดินสาย นอกจากนั้นระบบเครือข่ายไร้สายยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN ใช้สาย [4] และที่สำคัญคือการทำมันไม่ใช้สาย ทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้สะดวก

##### 2.2.1 เทคโนโลยีแบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency) [5]

###### 2.2.1.1 Narrow Band Technology

เป็นระบบวิทยุแบบความถี่แคบ มีการรับส่งความถี่ 902 MHz ถึง 928 MHz 2.14 MHz ถึง 2.484 MHz และ 5.725 MHz ถึง 5.850 MHz สัญญาณจะมีกำลังต่ำและใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างต้นทางกับปลายทางเพียง 1 คู่เท่านั้น

###### 2.2.1.2 Spread Spectrum Technology

เป็นเทคนิคที่ใช้ความถี่ที่กว้างกว่า Narrow Band Technology ซึ่ง Spread Spectrum คือ ช่วงความถี่ระหว่าง 902MHz ถึง 928 MHz และ 2.4GHz ถึง 2.484 GHz โดยการส่งสัญญาณเทคนิค Spread Spectrum สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ Direct Sequence และ Frequency-Hopping

- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) เป็นเทคนิคที่ยังใช้คลื่นพาหะที่ต้องระบุความถี่ที่ใช้ โดยมันสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบ Narrow Band เป็นวิธีที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มีการแทรกสอดรบกวนจากคลื่นวิทยุอื่นๆอย่างรุนแรง

- Frequency - Hopping Spread Spectrum (FHSS) การส่งสัญญาณรูปแบบนี้จะใช้ความถี่แคบพาหะเพียงความถี่เดียว (Narrow Band) โดยเน้นการนำไปใช้งาน

### 2.2.1.3 Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)

เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลตามมาตรฐานใหม่ๆ ของระบบเครือข่ายไร้สาย คือ IEEE 802.11a และ 802.11g การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบนี้เป็นการ Multiplex สัญญาณโดยช่องสัญญาณความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาหะย่อยหลายๆ ความถี่ แต่ละความถี่พาหะย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้มันเป็นอิสระต่อกัน จึงไม่มีปัญหาการซ้อนทับของสัญญาณที่อยู่ติดกัน

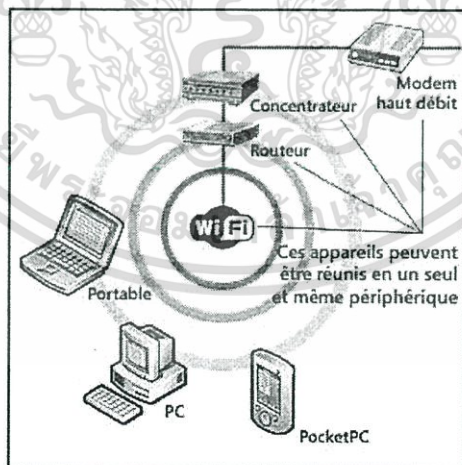
### 2.2.2 เทคโนโลยีแบบใช้สัญญาณอินฟราเรด (Infrared)

ลำแสงอินฟราเรดถูกนำมาใช้เพื่อการสื่อสารที่ใช้ในระยะใกล้ ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สาย (Wireless Remote Control) ควบคุมเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องเล่นวีดีโอ เครื่องคอมพิวเตอร์พกพา คุณสมบัติเด่นของคลื่นอินฟราเรดและคลื่นสั้น คือ เดินทางเป็นแนวตรง ราคาถูก และง่ายต่อการผลิตใช้งาน แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้

## 2.3 มาตรฐานการติดต่อสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน

### 2.3.1 มาตรฐานของ WLAN [6]

มาตรฐานเทคโนโลยีไร้สายในปัจจุบันมีหลายมาตรฐานเช่น Bluetooth IEEE 802.11 IrDA HiperLAN HomeRF ซึ่งออกแบบมาสำหรับการใช้งานแบบต่างๆ แต่มาตรฐานสำหรับเทคโนโลยีไร้สายที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางคือ IEEE 802.11 หรือเรียกว่า WiFi (Wireless Fidelity)



รูปที่ 2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีไร้สาย IEEE 802.11b เป็นมาตรฐานล่าสุดสำหรับ Wireless LAN ที่ใช้ Protocol เหมือน Ethernet เดิมที่มีความเร็วแค่ 11 Mbps ข้อดีของเทคโนโลยี 802.11b นอกจากความเร็วที่สูงถึง 11 Mbps รับ-ส่งข้อมูลแบบ Full Duplex แล้วยังสามารถลดความเร็วลงโดยอัตโนมัติเป็น 1 2 5.5 Mbps เมื่ออยู่ไกลหรือมีคลื่นรบกวนมาก เครือข่ายที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Access Point ที่ทำหน้าที่เป็น hub แบบไร้สาย ซึ่งจะสื่อสารกับ network interface card ในเครื่องคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์พกพา ในสภาพแวดล้อมทั่วไปติดต่อกันได้ในระยะประมาณ 91 เมตร โดยมาตรฐาน IEEE 802.11 มีมาตรฐานระบุรายละเอียดย่อยโดยใช้ตัวอักษรต่อท้าย เช่น IEEE 802.11a IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g มีลักษณะต่างๆ

มาตรฐาน IEEE 802.11b เป็นมาตรฐานที่ออกมาพร้อมกับ 802.11a เพียงแต่ใช้คลื่นความถี่ที่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ที่ต่ำกว่า 802.11a จึงทำให้มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลที่ช้ากว่าโดยมีความสามารถในการรับ-ส่งสูงสุดที่ 11 Mbps เท่านั้นแต่เนื่องจากคลื่นความถี่ 2.4 GHz (2400 MHz ถึง 2485 MHz) เป็นคลื่นความถี่สาธารณะจึงสามารถนำไปใช้งานได้ทุกประเทศโดยไม่จำเป็นต้องขออนุมัติก่อนแต่เนื่องจากเป็นคลื่นความถี่สาธารณะ ดังนั้นอุปกรณ์ไร้สายอื่นๆจึงใช้คลื่นความถี่นี้เช่นเดียวกันเลยทำให้เกิดสัญญาณรบกวนกันได้ง่ายมาก ทำให้ประสิทธิภาพของมาตรฐานนี้จึงถูกลดทอนด้วยปัจจัยจากสภาพแวดล้อม

มาตรฐาน IEEE 802.11g เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาจาก 802.11b โดยยังคงใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz แต่มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นอยู่ที่ระดับ 54 Mbps หรือเท่ากับมาตรฐาน 802.11a เพียงแต่ที่ความถี่ 2.4 GHz ยังคงเป็นคลื่นความถี่สาธารณะอยู่เหมือนเดิม ดังนั้นจึงยังมีปัญหาเรื่องของสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกันเช่นกัน

มาตรฐาน IEEE 802.11n เป็นการพัฒนาแบบก้าวกระโดดด้วยการใช้เทคโนโลยีมากมายเข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลให้สูงขึ้น โดยจะมีความเร็วอยู่ที่ 300 Mbps หรือเร็วกว่า LAN แบบมีสายที่มาตรฐาน 100 BASE-TX นอกจากนี้ยังมีระยะพื้นที่ให้บริการกว้างขึ้นโดยเทคโนโลยีที่ 802.11n นำมาใช้คือเทคโนโลยี MIMO ซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูลจากเสาสัญญาณหลายๆ ต้นพร้อมกัน ทำให้ได้ความเร็วสูงมากขึ้นและยังใช้คลื่นความถี่แบบ Dual Band คือทั้ง 2.4 GHz และ 5 GHz ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ว่าออกแบบมาให้ทำงานกับคลื่นใดหรือทำงานกับทั้งสองคลื่นพร้อมกันได้

### 2.3.2 เทคโนโลยี 2G [7]

เทคโนโลยี 2G เป็นการเปลี่ยนจากการส่งคลื่นทางคลื่นวิทยุแบบ Analog มาเป็นการเข้ารหัสดิจิทัล โดยส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟ เป็นยุคที่เริ่มที่จะสามารถใช้งานทางด้านข้อมูลได้ นอกเหนือจากการใช้งานด้านเสียงเพียงอย่างเดียว เราสามารถรับ-ส่งข้อมูลและติดต่อเชื่อมโยงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเรื่อยๆจนเกิดการกำหนดเส้นทางการเชื่อมกับสถานีฐานหรือเรียกว่า cell site และก่อให้เกิดระบบ GSM (Global System for Mobilization) ซึ่งทำให้เราสามารถถือ

โทรศัพท์เครื่องเดียวไปใช้ได้เกือบทั่วโลกเรียกว่า Roaming ยุค 2G เป็นยุคที่มีการเริ่ม Download Ringtone Wallpaper Graphic ต่างๆแต่จำกัดการ Download Ringtone แบบ Monotone และ ภาพ Graphic ต่างๆ เพียงแค่ภาพขาว-ดำที่มีความละเอียดต่ำเท่านั้น

ระบบ GSM มีหลักการคล้าย TDMA (Time Division Multiple Access) คือการส่งสัญญาณสื่อสารไร้สายดิจิทัลที่ผู้ใช้จำนวนมากสามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่วิทยุเดียวกันได้โดยไม่รบกวนกันโดยผู้ใช้แต่ละรายจะได้รับการจัดสรรเวลาในการใช้ช่องสัญญาณแต่ละช่องสลับกันไป ระบบ GSM ประกอบด้วย GSM 800 (824 MHz ถึง 894 MHz) GSM 900 (870 MHz ถึง 960 MHz) GSM 1800 (1710 MHz ถึง 1880 MHz) และ GSM 1900 (1850 MHz ถึง 1990 MHz)

### 2.3.3 เทคโนโลยี 3G [8]

3G (Third Generation) เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อจากยุคที่ 2 และ 2.5 ซึ่งเป็นยุคที่มีการให้บริการระบบเสียงและการส่งข้อมูลในขั้นต้น การพัฒนาของ 3G ทำให้เกิดการให้บริการมัลติมีเดียและส่งผ่านข้อมูลในระบบไร้สายด้วยอัตราความเร็วที่สูงขึ้น มีการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายของ 3G ตลอดเวลาที่เราเปิดเครื่องโทรศัพท์ (always on) ไม่จำเป็นต้องต่อโทรศัพท์เข้าเครือข่ายและล็อกอินทุกครั้งเพื่อใช้บริการรับส่งข้อมูล ซึ่งการเสียบค่าบริการจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเรียกใช้ข้อมูลผ่านเครือข่ายเท่านั้น โดยต่างจากระบบทั่วไปที่จะเสียบค่าบริการตั้งแต่เรอล็อกอินเข้าในระบบเครือข่าย อุปกรณ์สื่อสารไร้สายระบบ 3G ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่โทรศัพท์ แต่ยังปรากฏในรูปแบบของอุปกรณ์สื่อสารอื่น เช่น แล็ปท็อปและเครื่องคอมพิวเตอร์ ลักษณะการทำงานของ 3G มีช่องสัญญาณความถี่และความจุในการรับส่งข้อมูลที่มากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลแอปพลิเคชันรวมทั้งบริการระบบเสียงดีขึ้น พร้อมทั้งสามารถให้บริการมัลติมีเดียได้เต็มที่และสมบูรณ์แบบขึ้น

อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล (Transmission Rate) ในมาตรฐาน IMT-2000 กำหนดไว้ว่าต้องมีอัตราความเร็วมากกว่า 144 kbit/s ในทุกสภาวะ ถึง 2 Mbit/s ในสภาวะกึ่งเคลื่อนที่และยังสูงถึง 384 kbit/s ในสภาวะเคลื่อนที่และ ITU ยังได้กำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อความถี่วิทยุไว้ 5 มาตรฐานด้วยกัน เพราะฉะนั้นผู้พัฒนาเทคโนโลยีหลายๆค่ายต่างพัฒนาได้รวดเร็วและหลากหลายวิธีการดังนั้น หากไม่มีการกำหนดมาตรฐานผลเสียอาจจะไปตกอยู่กับผู้ใช้บริการที่ไม่สามารถใช้บริการโทรศัพท์เชื่อมโยงกันได้และปัญหาสำคัญคือ การเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายและอุปกรณ์เครือข่าย IMT-2000 ได้มีการวางมาตรฐานการเชื่อมต่อคลื่นความถี่ของ IMT-2000 มีดังนี้ WCDMA CDMA2000 TD-SCDMA EDGE และ DECT

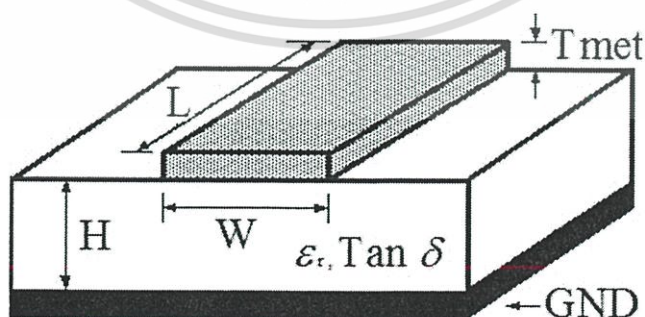
## 2.4 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศเป็นอุปกรณ์รับและส่งคลื่นความถี่ย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency) และ ความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency) สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้า จากเครื่องส่งเป็นกำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและทำหน้าที่รับกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วส่งเข้า สายนำสัญญาณในรูปของกำลังไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านไปยังเครื่องรับ ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้น การออกแบบสายอากาศไมโครสตริป จึงอธิบายเฉพาะทฤษฎีและหลักการของสายอากาศไมโครส ตริปในหัวข้อถัดไป [9]

### 2.4.1 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna) [10]

สายอากาศไมโครสตริปจะมีลักษณะเป็นแบบแผ่นโลหะบางเหมือนกับแผ่นวงจร พิมพ์ทั่วไปแต่มีค่าความนำทางไฟฟ้าคงที่ รูปแบบโครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปที่นิยมใช้จะเป็น รูปทรงเรขาคณิต เช่น รูปสี่เหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสามเหลี่ยม รูปวงกลม เป็นต้น โดยที่รูปทรง และขนาดของโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปขึ้นอยู่กับการใช้งานตามมาตรฐานที่มีการ กำหนดช่วงแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกันและขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานกับอุปกรณ์เครื่องส่งเครื่องรับที่มี ขนาดพื้นที่การวางสายอากาศที่แตกต่างกัน

โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปประกอบด้วยชั้นแผ่นโลหะด้านบนที่ทำหน้าที่เป็น ตัวนำไฟฟ้าได้ดีซึ่งวางอยู่บนแผ่นวัสดุฐานรองที่ทำหน้าที่เป็นฉนวน ด้านล่างเป็นโลหะที่เป็นส่วนของ กราวนด์ โดยมีวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (Dielectric Substrate) อยู่ตรงกลาง ตัวนำส่วนใหญ่จะ เป็นทองแดง โดยมีความหนาของทองแดงประมาณ 0.01778 mm ถึง 0.03556 mm ความหนา ของวัสดุฐานรองที่นิยมนำมาออกแบบคือ 0.8 mm และ 1.6 mm ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้าวัสดุ ฐานรองแสดงด้วยสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative Permittivity :  $\epsilon_r$ ) และค่า Loss Tangent คือ ระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความ ร้อน ถ้าค่าทั้งสองมีค่าสูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น สายอากาศไมโครสตริปแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.2 สายอากาศไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริป

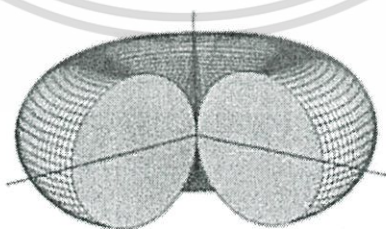
ข้อดี	ข้อด้อย
<ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำหนักเบา ขนาดเล็ก</li> <li>- สามารถนำมาดัดแปลงรูปร่างให้สมดุลได้</li> <li>- ราคาถูก</li> <li>- แพร่กระจายคลื่นได้ทั้งแบบเส้นตรงและวงกลม</li> <li>- สามารถรวมกับความถี่อื่นได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แบนด์วิดท์แคบ (Narrow Bandwidth)</li> <li>- มีการสูญเสียมาก ส่งผลให้อัตราขยายต่ำ</li> <li>- สายอากาศไมโครสตริปส่วนใหญ่จะมีการแพร่กระจายคลื่นเพียงครึ่งระนาบ</li> <li>- มีอัตราขยายสูงสุด (Maximum Gain) ไม่เกิน 20 dB</li> </ul>

#### 2.4.2 ประเภทของสายอากาศแบ่งตามลักษณะการส่งสัญญาณ [11]

1) สายอากาศแบบทิศทาง (Direction Antenna) เป็นสายอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่มีทิศทางชัดเจน เหมาะสำหรับการติดตั้งระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าสายอากาศแบบรอบตัว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้

2) สายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Antenna) คือสายอากาศไดโพลที่มีอิมพีแดนซ์เพียงด้านเดียว เป็นสายอากาศที่ใช้ทางทฤษฎี โดยมีการแพร่กระจายคลื่นทุกทิศทางพร้อมกันด้วยความเข้มสนามที่เท่ากัน เป็นสายอากาศที่ไม่สามารถสร้างขึ้นได้จริง แต่จะใช้เปรียบเทียบหรือกำหนดเป็นมาตรฐานนำไปเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบอื่น เพื่อดูลักษณะ คุณสมบัติการแสดงทิศทางของสายอากาศ

3) สายอากาศแบบรอบตัว (Omni-directional Antenna) สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวจะมีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 360 องศา มีลักษณะคล้ายกับโดนัท เหมาะสำหรับการติดตั้งกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน



รูปที่ 2.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 โพลาริเซชันเชิงเส้น (Linear-Polarization) [13]

โพลาริเซชันเป็นการจัดเรียงตัวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งกำเนิด มีความจำเป็นเพราะจะทำให้การวางสายอากาศอยู่ในลักษณะที่สามารถรับ-ส่งคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยอ้างอิงสนามไฟฟ้าเป็นหลัก โพลาริเซชันที่ถูกนำมาใช้กับสายอากาศมีหลายแบบ เช่น แบบเชิงเส้น (Linear) แบบวงกลม (Circular) แบบวงรี (Elliptical) แต่ในปริภูมิตฤษฎีฉบับนี้จะทำการศึกษาเฉพาะโพลาริเซชันแบบเส้นตรงเท่านั้น

โพลาริเซชันแบบเส้นตรง (Linear Polarization) สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีการเคลื่อนที่แบบระนาบโพลาริเซชัน (Plane linearly polarized wave) ไปตามแนวทิศทางการเคลื่อนที่  $k$  ซึ่งเราสามารถเขียนอยู่ในสมการ 2.1

$$A(x, t) = e, A_0 \exp[j(\omega t - kx)] \quad (2.1)$$

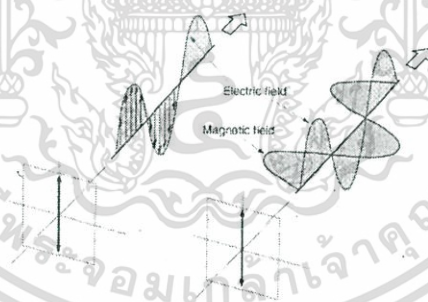
เมื่อ

$$x = xe_x + ye_y + ze_z \quad (2.2)$$

และตำแหน่งทิศทาง

$$k = k_x e_x + k_y e_y + k_z e_z \quad (2.3)$$

$A_0$  เป็นขนาดสูงสุดของ  $\omega = 2\pi f$  คลื่น และ  $e_i$  เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย



รูปที่ 2.4 ระนาบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่แบบ Linear Polarization [14]

จากรูปที่ 2.6 เป็นลักษณะสนามไฟฟ้า  $E$  และสนามแม่เหล็ก  $H$  เปลี่ยนไปตามเวลาที่เคลื่อนที่ไปแนว  $k$  จากสมการพื้นฐานของแมกเวลล์ (Maxwell's Equations) แสดงให้เห็นว่าเวกเตอร์สนาม  $E$  และ  $H$  ตั้งฉากกันและตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ (เวกเตอร์  $k$ ) เรียกได้ว่าเป็น Transverse wave ดังสมการที่ 2.4

$$E \times H = k \quad (2.4)$$

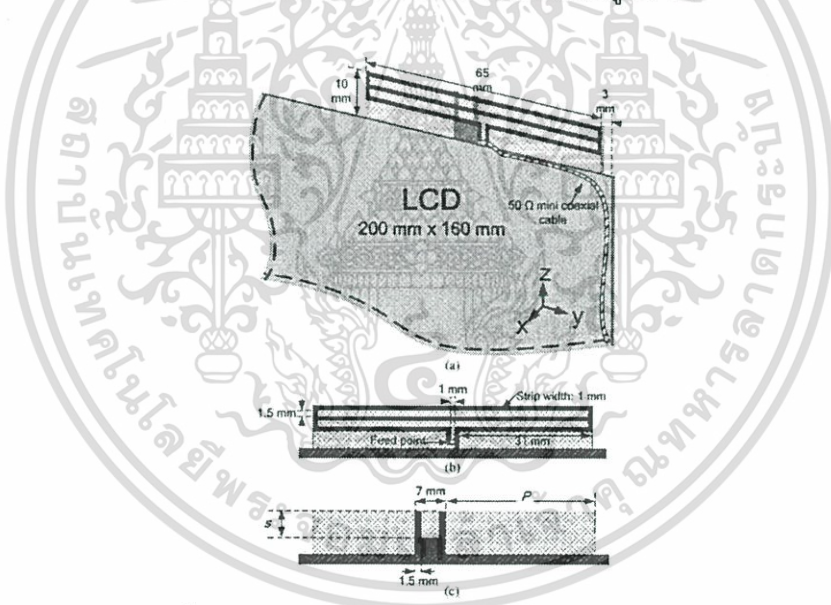
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 บทความวิจัยที่มีมาก่อน

สายอากาศที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับคอมพิวเตอร์พกพาได้รับความนิยมในการศึกษาและวิจัยเป็นอย่างมาก มีเทคนิคในการสร้างแตกต่างกัน แต่สิ่งที่น่าสนใจเป็นหลักก็คือสายอากาศต้องออกแบบง่าย มีต้นทุนต่ำและครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการ

### 2.5.1 Printed Loop Antenna With a U-Shaped Tuning Element for Hepta-Band Laptop Applications [15]

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอสายอากาศแบบลูปที่มีตัวปรับจูนส์รูปตัว U อยู่ด้านหลังของสายอากาศแผ่นพิมพ์ สำหรับแล็ปท็อป โดย Chien-Wen และ Yu-Jen Chi ได้ออกแบบสายอากาศให้ครอบคลุมความถี่ GSM850/GSM900/DCS/PCS/UMTS/WLAN และ WiMAX สายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศแบบร่องโมโนโพล มีขนาด 60 mm x 12 mm บนแผ่นวงจรพิมพ์ สร้างจากวัสดุไดอิเล็กตริกชนิด FR4 มีคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.4 สายอากาศถูกนำไปติดบนระนาบกราวน์ที่มีขนาด 200 mm x 160 mm ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.7

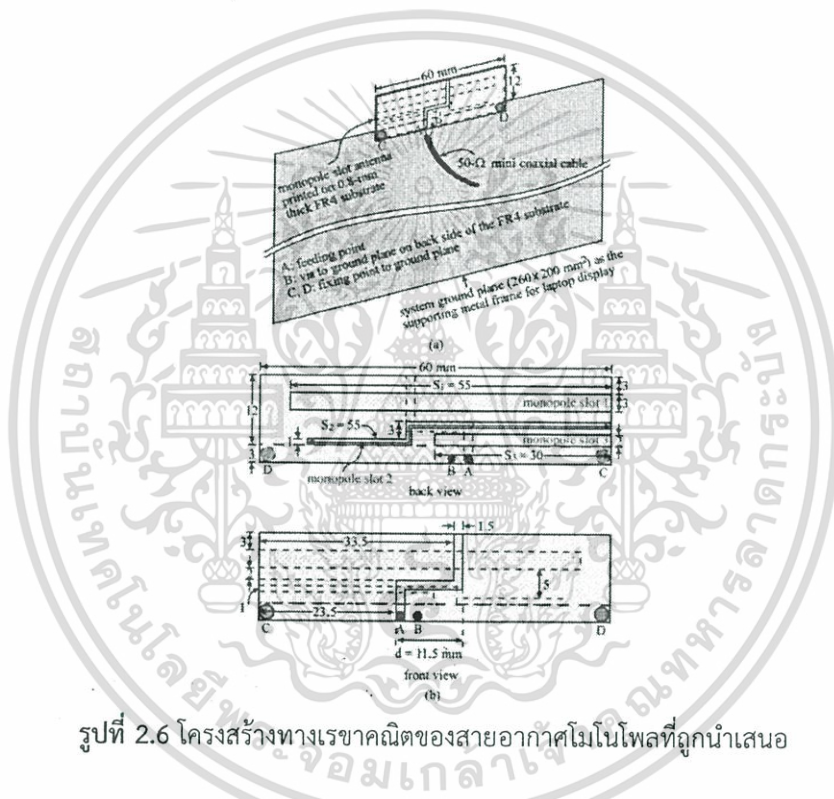


รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศแบบลูปที่มีตัวปรับจูนส์รูปตัว U ที่ถูกนำเสนอ

ได้ทดสอบผลของช่วงความถี่สำหรับ  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า  $-6$  dB ที่ความถี่ 820 MHz ถึง 960 MHz ในระบบ GSM และช่วงความถี่ 1710 MHz ถึง 2900 MHz ในระบบ DCS/PCS/UMTS และสำหรับ  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า  $-10$  dB ครอบคลุมย่านความถี่ของ WiFi และ WiMAX สายอากาศที่ได้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว และมีอัตราขยายของสายอากาศประมาณ 1.12 dBi ถึง 3.21 dBi

## 2.5.2 Multiband Printed Monopole Slot Antenna for WWAN Operation in the Laptop Computer [16]

งานวิจัยฉบับนี้ถูกนำเสนอโดย Kin-Lu Wong และ Li-Chun Lee โดยได้ทำการออกแบบสายอากาศโมโนโพลหลายย่านความถี่สำหรับคอมพิวเตอร์พกพา สายอากาศที่ถูกนำเสนอสามารถครอบคลุมย่านความถี่ GSM850 (824 MHz ถึง 894 MHz) GSM900 (890 MHz ถึง 960 MHz) GSM1800 (1710 MHz ถึง 1880 MHz) GSM1900 (1850 MHz ถึง 1990 MHz) และ UMTS (1920 MHz ถึง 2170 MHz)

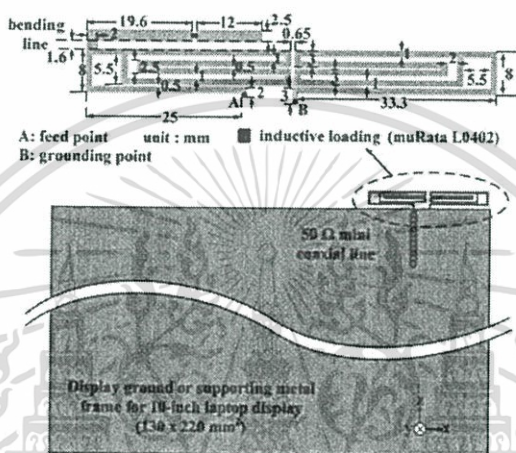


รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศโมโนโพลที่ถูกนำเสนอ

สายอากาศถูกออกแบบให้มีขนาดความกว้างคูณความยาวเท่ากับ 12 mm x 60 mm บนแผ่นวงจรพิมพ์ สร้างจากวัสดุไดอิเล็กตริกชนิด FR4 ได้ออกแบบเป็นสายอากาศแบบชั้นบันได ซึ่งสายอากาศนี้จะถูกนำไปติดตั้งบนระนาบกราวด์ที่มีขนาด 260 mm x 200 mm สายอากาศที่ได้จะครอบคลุมย่านความถี่ต่ำที่ 900 MHz สำหรับระบบ GSM 850/900 และครอบคลุมย่านความถี่สูงที่ 1900 MHz สำหรับระบบ GSM 1800/1900/UMTS

### 2.5.3 A Broadband LTE/WWAN Antenna Design for Tablet PC [17]

งานวิจัยฉบับนี้ถูกนำเสนอโดย Shih-Hsun Chang และคณะ โดยได้ออกแบบสายอากาศ โมโนโพลแบบลูปปิด บนแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างจากวัสดุไดอิเล็กตริกชนิด FR4 สำหรับคอมพิวเตอร์พกพา ซึ่งสายอากาศมีขนาดเท่ากับ 69 mm x 10 mm วางอยู่บนระนาบกราวนที่มีขนาด 220 mm x 130 mm ดังรูปที่ 2.9

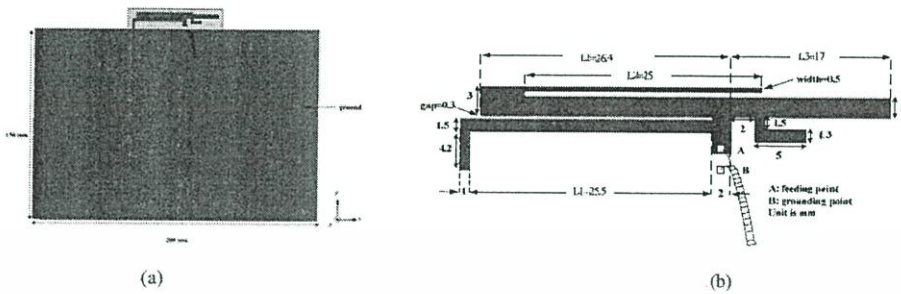


รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศที่ถูกนำเสนอ

สายอากาศที่ได้มีแบบรูปการแผ่รังสีแบบรอบตัว ครอบคลุมย่านความถี่ LTE 700 และ GSM 850/900 ซึ่งมีอัตราขยายประมาณ 0.58 dBi ถึง 1.42 dBi ที่ความถี่ GSM 1700/1800 และ UMTS ครอบคลุมย่านความถี่ 1700 MHz ถึง 2170 MHz มีอัตราขยายประมาณ -0.3dBi ถึง 3.03 dBi และที่ความถี่ WLAN2400 LTE2300/2500 มีอัตราขยายประมาณ 1.48 dBi ถึง 3.43 dBi

### 2.5.4 A Compact Printed Multi-band Antenna for Laptop Applications [18]

งานวิจัยฉบับนี้ถูกนำเสนอโดย Cheng-Chi Yu และคณะ ซึ่งได้ทำการออกแบบสายอากาศหลายย่านความถี่บนแผ่นวงจรพิมพ์ในย่านความถี่ GPS(1.575 GHz) WLAN(2.5 5.8 GHz) Bluetooth(2.45 GHz) และ WiMAX(2.5 3.5 5.5 GHz) ซึ่งออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างจากวัสดุไดอิเล็กตริกชนิด FR4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.4

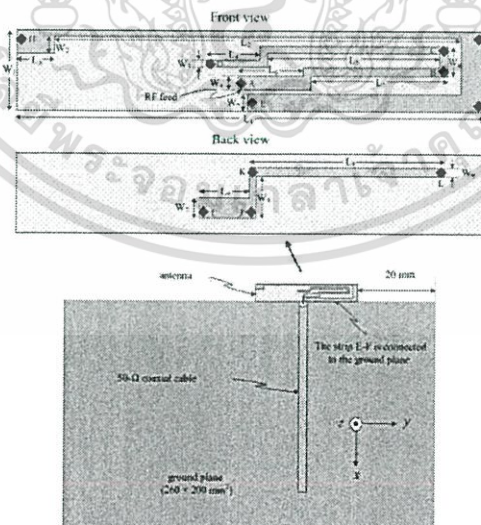


รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศที่ถูกนำเสนอ

สายอากาศที่ถูกนำเสนอนี้ได้ออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับรูปตัว T ตัว L กลับด้านและตัว F กลับด้าน จากกราฟ  $|S_{11}|$  พบว่าสายอากาศที่ได้ครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งานคือ 1.575 GHz 2.4 GHz 3.5 GHz และ 5.5 GHz ที่ต่ำกว่า -10 dB

2.5.5 PLANAR MONOPOLE ANTENNA WITH TWO COUPLED STRIPS FOR INTERNAL EIGHT-BAND LTE/WWAN LAPTOP COMPUTER APPLICATION [19]

งานวิจัยฉบับนี้ถูกนำเสนอโดย H.-W.Liu และคณะ ซึ่งได้นำเสนอสายอากาศโมโนโพล 8 ย่านความถี่ คือ LTE700/2300/2500 GSM850/900/1800/1900 และ UMTS สำหรับคอมพิวเตอร์พกพา โดยออกแบบให้สายอากาศมีขนาดความยาวคุณความกว้างคุณความสูง เท่ากับ 65 mm x 11 mm x 0.4 mm และถูกนำไปติดไว้บนระนาบกราวนที่มีขนาดเท่ากับ 260 mm x 200 mm



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศที่ถูกนำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศที่ได้ถูกออกแบบนี้มีลักษณะเป็นรูป สามารถครอบคลุมความถี่ที่ต้องการใช้งาน คือ LTE700/2300/2500 GSM850/900/1800/1900 และ UMTS โดยมีแบบรูปการแพร่กระจาย คลื่นแบบรอบทิศทางและมีอัตราขยายประมาณ 2.15 dBi ถึง 2.44 dBi

## 2.6 สรุป

สายอากาศสำหรับคอมพิวเตอร์พกพามีหลากหลายช่วงความถี่ไม่ว่าจะเป็นสำหรับระบบ WLAN 2G และ 3G ที่ความถี่ 800 MHz 900 MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz ซึ่งช่วงความถี่ดังกล่าวได้นำมาทำการออกแบบสายอากาศในลำดับต่อไป

สายอากาศแบบคอมพิวเตอร์พกพาส่วนมากจะเป็นแผ่นโลหะซึ่งยากต่อการสร้างเพราะจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการตัดโลหะให้มีขนาดเท่ากับที่ต้องการ โดยเราได้เลือกใช้สายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์เนื่องจากมีราคาถูกและง่ายต่อการสร้างจริง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของสายอากาศแบบแผ่นวงจรพิมพ์และได้เลือกใช้สายอากาศแบบร่องในการป้อนสัญญาณนั้นเราได้เลือกใช้สายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป โดยเบื้องต้นจะใช้หลักการในการออกแบบจากการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ในสายนำสัญญาณไมโครสตริปและในส่วนของร่องนั้นเราจะทำการคำนวณขนาดของร่องและหาตำแหน่งของร่องเพื่อที่จะให้ได้ค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นให้ได้ตรงหรือใกล้เคียงกับที่ต้องการซึ่งจะแสดงในบทที่ 3 ต่อไป

### บทที่ 3

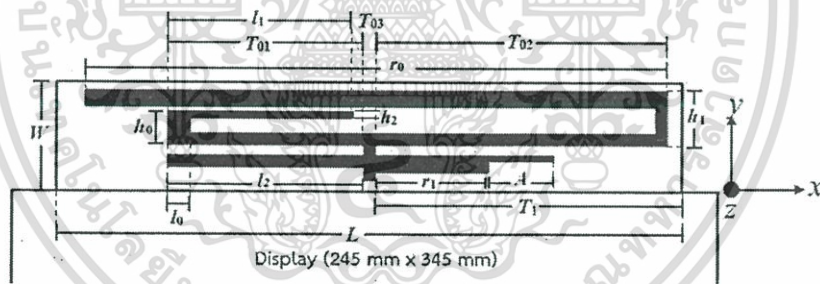
#### การออกแบบและจำลองสายอากาศ

##### 3.1 บทนำ

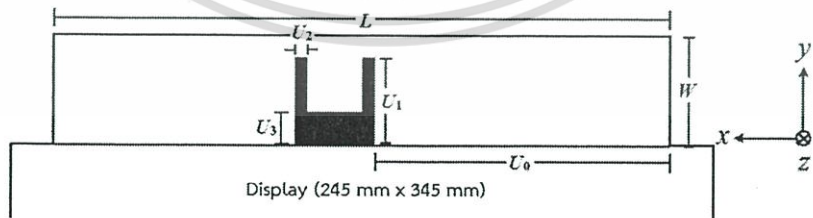
ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีในการคำนวณสำหรับสตริปไลน์และทำการคำนวณความกว้างและความยาวของสายอากาศแบบร่องบนแผ่นพิมพ์ จากนั้นทำการจำลองผลเพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของสายอากาศและขนาดของระนาบกราวด์ของหน้าจอบริเวณคอมพิวเตอร์จากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO [20] เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสายอากาศที่จะออกแบบ ซึ่งนำไปสู่การออกแบบสายอากาศหลายย่านความถี่บนแผ่นพิมพ์ติดตั้งในคอมพิวเตอร์พกพาสำหรับระบบ WiFi 2G และ 3G

##### 3.2 โครงสร้างของสายอากาศ

สายอากาศหลายย่านความถี่สำหรับระบบ WiFi 2G และ 3G ถูกออกแบบและสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ วัสดุฐานรองเป็นไดอิเล็กทริกชนิด FR4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 4.4 ซึ่งสายอากาศต้นแบบมีขนาดโดยรวมเท่ากับ 20 mm x 110 mm x 0.8 mm โครงสร้างสายอากาศต้นแบบแสดงดังรูปที่ 3.1



(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ด้านข้าง

รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ติดตั้งในคอมพิวเตอร์พกพา

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับการประยุกต์ใช้ใน ระบบ WiFi 2G และ 3G ซึ่งโครงสร้างโดยรวมของสายอากาศเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า การออกแบบ และสร้างสายอากาศหลายย่านความถี่นั้นจะสร้างจากวัสดุฐานรองชนิด FR4 ที่มีค่าคงที่ได้อิเล็กทริก เท่ากับ 4.4 ซึ่งออกแบบเป็นสายอากาศรูปตัวที (T-Shape) ที่มีการหักงอ เพื่อให้สายอากาศมีขนาด ไม่ใหญ่เกินไปและสายอากาศรูปตัวยู (U-Shape) ที่ด้านหลังของสายอากาศซึ่งช่วยในการแมตชิ่ง อิมพีแดนซ์ โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ความหมาย ของพารามิเตอร์	พารามิเตอร์	ความหมาย ของพารามิเตอร์
$L$	ความยาวของวัสดุฐานรอง	$l_0$	ความกว้างของแขนด้านซ้าย
$W$	ความกว้างของวัสดุฐานรอง	$l_1$	ความยาวของแขนด้านซ้าย
$T_{01}$	ความยาวแขนด้านซ้ายของตัวที	$l_2$	ความยาวของแขนด้านล่างซ้าย
$T_{02}$	ความยาวแขนด้านขวาของตัวที	$r_0$	ความยาวของแขนด้านขวา
$T_{03}$	ความกว้างของพีดไลน์	$r_1$	ความยาวของแขนด้านขวาล่าง
$T_1$	ระยะห่างของสตริปไลน์รูปตัวที กับขอบด้านขวาของสายอากาศ	$U_0$	ระยะห่างสตริปไลน์รูปตัวยูกับ ขอบด้านขวาของสายอากาศ
$h_0$	ความสูงของแขนด้านซ้าย	$U_1$	ความสูงของแขนสตริปไลน์รูป ตัวยู
$h_1$	ความสูงของแขนด้านขวา	$U_2$	ความกว้างของแขนสตริปไลน์ รูปตัวยู
$h_2$	ความสูงของแขนรูปตัวเจ	$U_3$	ความสูงของสตริปไลน์รูปตัวยู
$A$	ความยาวของแขนด้านขวาล่างที่ เพิ่มเข้าไป		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบสายอากาศ

ในขั้นตอนของการออกแบบมุ่งเน้นเพื่อให้ได้สายอากาศสำหรับติดตั้งในคอมพิวเตอร์พกพาซึ่งครอบคลุมการใช้งานกับระบบ WiFi 2G และ 3G โดยป้อนสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณแบบสตริปเส้นตรง ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้ง่าย

เนื่องจากสายอากาศที่จะทำการสร้างขึ้นนี้ป้อนด้วยสายนำสัญญาณ จึงทำการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะที่  $50 \Omega$  เป็นค่าเริ่มต้น โดยหาได้จากทฤษฎีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ ซึ่งมีความยาวเป็นอนันต์ โดยไม่คิดความหนาของตัวนำ ( $t$ ) จึงได้สมการดังต่อไปนี้

$$W = w + \frac{t}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2h}{t} \right) + 1 \right]$$

$$H = h - 2t$$

เมื่อไม่คิดความหนาของตัวนำ ( $t$ ) ได้

$$W = w$$

และ

$$H = h = h_s$$

ถ้าต้องการอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ  $Z_o = 50 \Omega$  เมื่อความสูงของวัสดุฐานรอง  $H = h_s$  คือ  $0.8 \text{ mm}$  มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง  $\epsilon_r = 4.4$  จากนั้นทำการการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริปโดย  $W = w_f$  ได้ค่าที่เหมาะสมซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ  $Z_o = 50 \Omega$  คือ  $1 \text{ mm}$  ดังแสดงให้เห็นได้ดังนี้

เมื่อ  $H = h_s$  และ  $W = w_f$  ดังนั้นจึงได้  $\frac{w_f}{h_s} = \frac{1}{0.8} \geq 1$  ดังนั้นจึงเข้าเงื่อนไขของสมการที่

(3.1) ถึง (3.3) คำนวณได้ดังนี้

เมื่อ  $\frac{W}{H} \geq 1$

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left\{ \frac{W}{H} + 1.393 + 0.667 \ln \left( \frac{W}{H} + 1.444 \right) \right\}^{-1} \Omega \quad (3.1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{W}{H}}} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหา  $\epsilon_{eff}$  โดยการแทนค่า  $\epsilon_r = 4.4$  เมื่อ  $H = h_s = 0.8$  mm  $W = w_f = 1$  mm ลงในสมการที่ 3.2 จะได้

$$\epsilon_{eff} = \frac{4.4+1}{2} + \frac{4.4-1}{2\sqrt{1+12\frac{1}{0.8}}} = 3.11$$

แทนค่า  $\epsilon_{eff}$  ลงไปในสมการที่ 3.1 จะได้

$$z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{3.11}} \left\{ \frac{1}{0.8} + 1.393 + 0.667 \ln \left( \frac{1}{0.8} + 1.444 \right) \right\}^{-1} = 53.76\Omega$$

ซึ่งประมาณได้ใกล้เคียง 50  $\Omega$

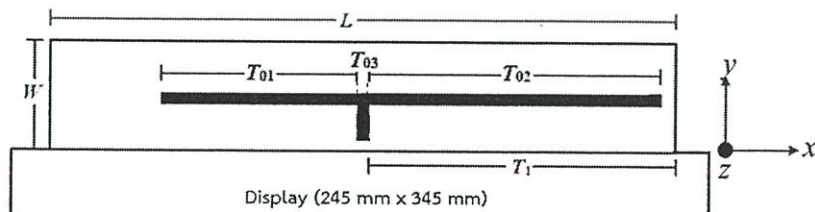
จากนั้นทำการหาความยาวและความกว้างของร่องของสายอากาศโดยใช้

$$\lambda_o = \frac{c}{f_o} \quad (3.3)$$

ดังนั้น ที่ความถี่ 928.5 MHz ได้ค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 323.10 mm และมีค่าความยาวคลื่นส่วนสี่เท่ากับ ( $\lambda/4 = 80.76$  mm)

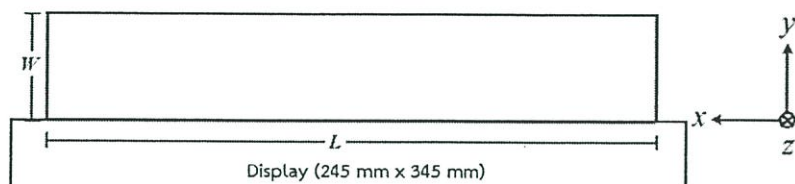
### 3.3.1 สายอากาศเริ่มต้น

ในหัวข้อนี้แสดงการออกแบบสายอากาศเริ่มต้นที่มีขนาดโดยรวมเท่ากับ 20 mm x 110 mm x 0.8 mm บนวัสดุฐานรอง FR4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.4 โดยเริ่มออกแบบจากความยาวคลื่นเท่ากับ  $\lambda/4 = 80.76$  mm ของความถี่ 900 MHz มาสร้างเป็นสายอากาศรูปตัวที (T-Shape) จะได้สายอากาศเริ่มต้นดังรูปที่ 3.2



(ก) ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ด้านหลัง

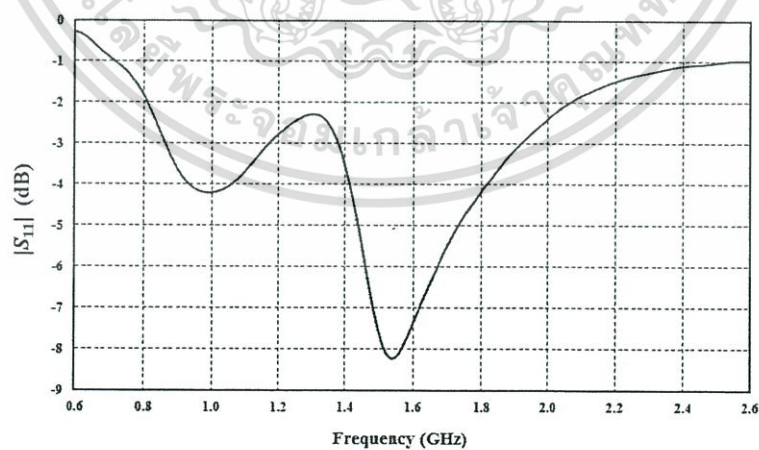


(ค) ด้านข้าง

รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศตัวที่ 1

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 1

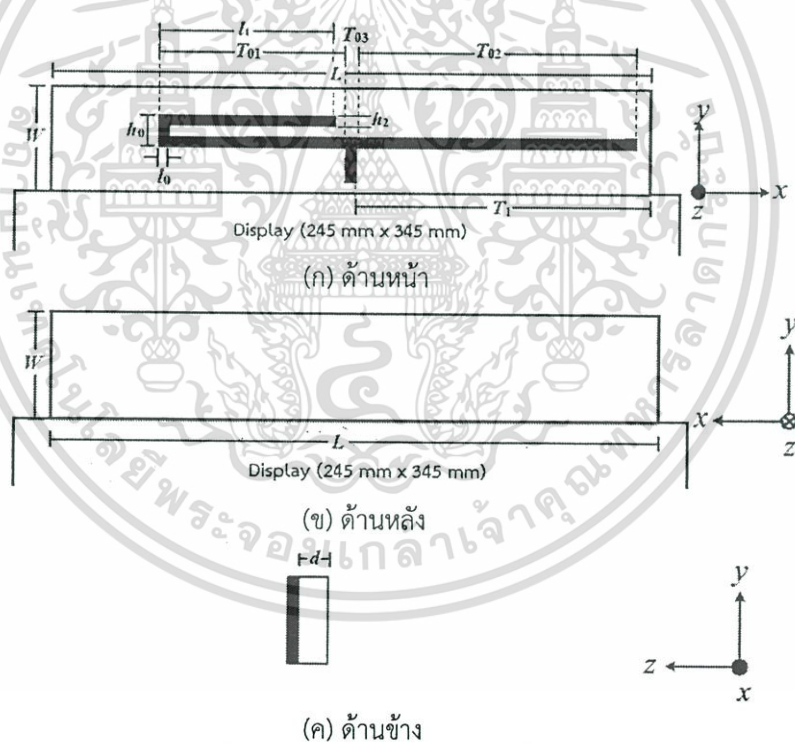
พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110
$W$	20
$T_{01}$	31.5
$T_{02}$	51
$T_{03}$	2
$T_1$	54

รูปที่ 3.3 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบสายอากาศเริ่มต้นที่มีขนาดโดยรวมความกว้างคูณความยาวเท่ากับ 20 mm x 110 mm สายอากาศมีลักษณะเป็นรูปตัวที (T-shape) ซึ่งส่งผลต่อการเกิดความถี่ต่ำ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.2 จากรูปที่ 3.3 พบว่าผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่ระดับต่ำกว่าหรือเท่ากับ -6 dB ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 1500-1700 MHz ซึ่งยังไม่ใช้ความถี่ที่ต้องการใช้งานและสายอากาศมีแนวโน้มที่จะเกิดย่านความถี่ 800-900 MHz แต่พบว่า  $|S_{11}|$  ยังมีค่าไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ -6 dB จึงต้องทำการปรับปรุงสายอากาศเพิ่มเติม

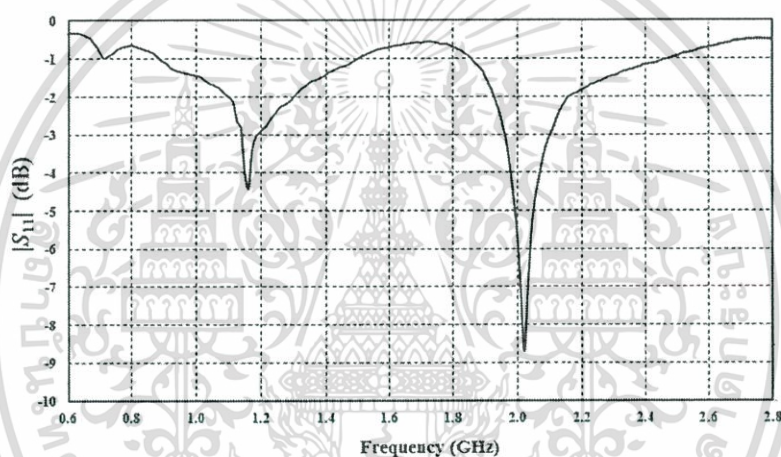
จากนั้นทำการเพิ่มความยาวของแขนด้านซ้ายของสายอากาศรูปตัวที ( $T_{01}$ ) เนื่องจากความยาวของแขนด้านซ้ายส่งผลต่อการเกิดย่านความถี่ต่ำ จึงทำการเพิ่มความยาวและหักงอเป็นสายอากาศรูปตัวเจ (J-Shape) เพื่อไม่ให้สายอากาศมีขนาดใหญ่เกินไป ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 2

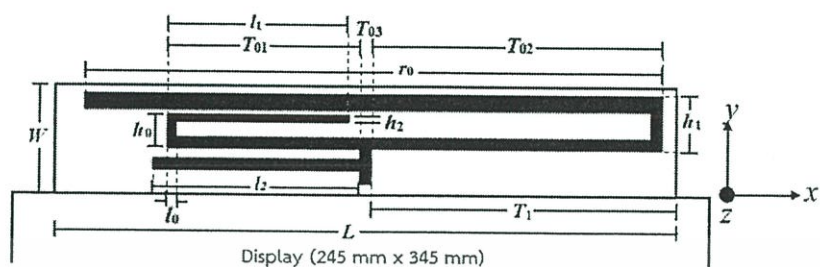
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 2

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$T_1$	54
$W$	20	$h_0$	5
$T_{01}$	31.5	$h_2$	2
$T_{02}$	51	$l_0$	2
$T_{03}$	2	$l_1$	29

รูปที่ 3.5 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 2

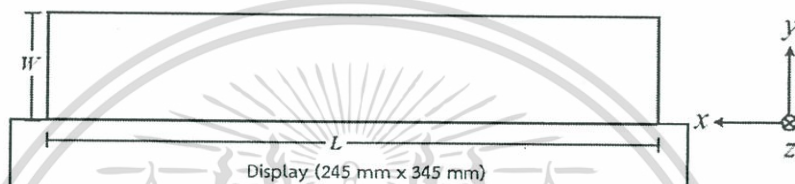
จากรูปที่ 3.5 เมื่อเพิ่มสายอากาศรูปตัวเจ (J-shape) เข้าไปที่ด้านซ้ายของสายอากาศโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.3 แล้ว พบว่าที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $-6$  dB กราฟ  $|S_{11}|$  มีแนวโน้มที่จะเกิดความถี่ 1200 MHz และ 2100 MHz ซึ่งความถี่ 2100 MHz เป็นความถี่ที่ต้องการใช้งานและที่ความถี่ 800-900 MHz พบว่า  $|S_{11}|$  ยังมีค่าไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $-6$  dB จึงต้องทำการปรับปรุงสายอากาศต่อไป

ต่อมาทำการปรับปรุงสายอากาศโดยลดความกว้างของพารามิเตอร์  $h_2$  ลงซึ่งส่งผลต่อการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 800-900 MHz และเพิ่มความยาวแขนด้านขวาของสายอากาศรูปตัวที่ ซึ่งความยาวของแขนด้านขวานั้นส่งผลต่อการเกิดความถี่ 2400 MHz เนื่องจากไม่ต้องการให้สายอากาศมีขนาดใหญ่เกินไปจึงทำการหักงอแขนด้านขวาของสายอากาศรูปตัวที่ จากนั้นทำการเพิ่มพารามิเตอร์  $l_2$  ซึ่งทำให้เกิดการเลื่อนความถี่ ดังรูปที่ 3.6



Display (245 mm x 345 mm)

(ก) ด้านหน้า



Display (245 mm x 345 mm)

(ข) ด้านหลัง



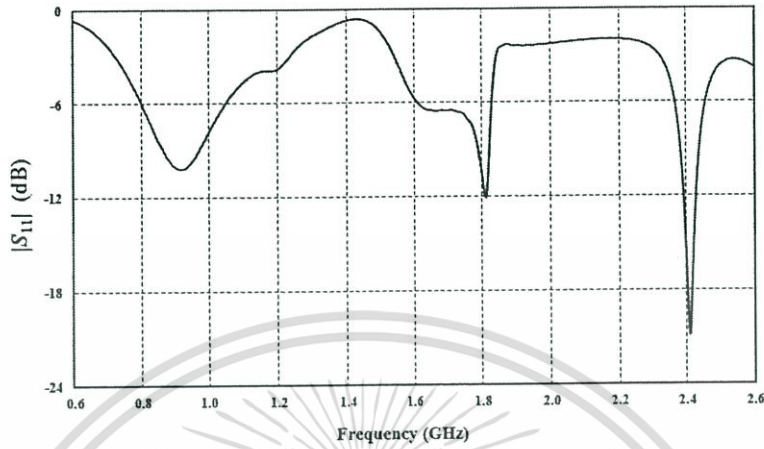
(ค) ด้านข้าง

รูปที่ 3.6 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 3

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 3

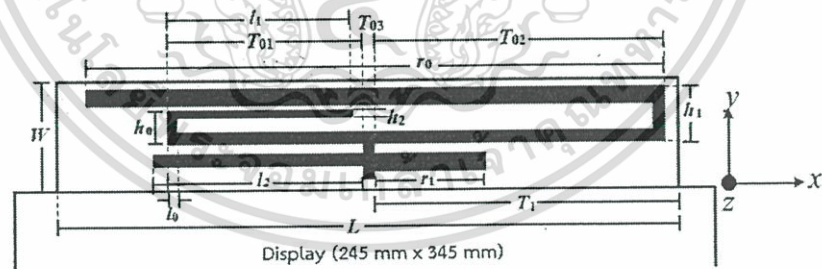
พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$h_1$	10
$W$	20	$h_2$	1
$T_{01}$	31.5	$l_0$	1
$T_{02}$	51	$l_1$	29
$T_{03}$	2	$l_2$	34.5
$T_1$	54	$r_0$	102
$h_0$	5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

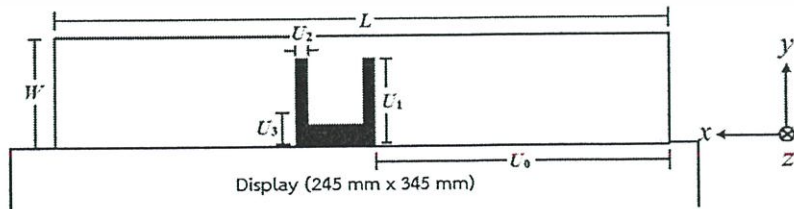


รูปที่ 3.7 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 3

จากรูปที่ 3.7 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศ พบว่าสายอากาศมีแนวโน้มในการทำงานที่ความถี่ 1800 MHz มีการเลื่อนความถี่มาอยู่ที่ความถี่ 2400 MHz และมีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีที่ความถี่ 800-900 MHz แต่สายอากาศที่ได้นั้นยังไม่ครอบคลุมความถี่ทั้งหมดที่ต้องการใช้งาน จึงต้องทำการปรับปรุงสายอากาศเพิ่มเติม โดยการเพิ่มพารามิเตอร์  $r_1$  ขนาดความกว้างคุณความยาวเท่ากับ 3 mm x 20 mm ส่งผลให้มีแนวโน้มที่จะเกิดย่านความถี่สูงและเพิ่มสายอากาศรูปตัวยู (U-Shape) เข้าไปที่ด้านหลังของสายอากาศ ซึ่งส่งผลให้เกิดการแมตชิงอิมพีแดนซ์ที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 3.8

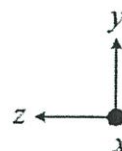


(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

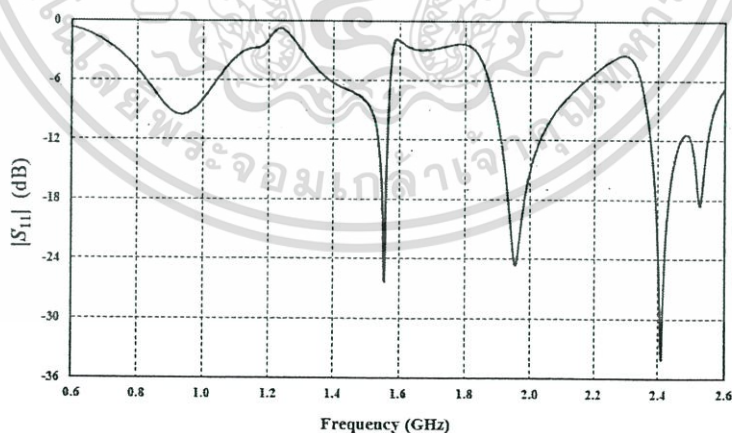


(ค) ด้านข้าง

รูปที่ 3.8 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 4

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 4

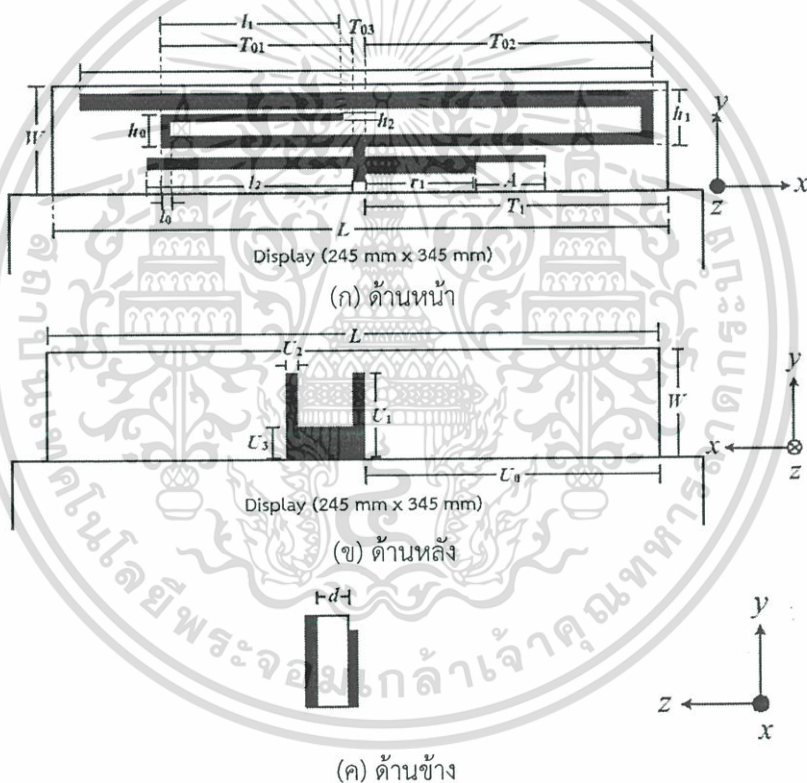
พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_0$	1
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	34.5
$T_{02}$	51	$r_0$	102
$T_{03}$	2	$r_1$	20
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_2$	1	$U_3$	5

รูปที่ 3.9 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.5 พบว่าที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่า -6 dB สายอากาศสามารถใช้งานได้ที่มีความถี่ 800-900 MHz มีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 2400 MHz และมีแนวโน้มการทำงานที่ความถี่ 2400 MHz จึงทำการปรับปรุงสายอากาศต่อไป

จากนั้นเพิ่มพารามิเตอร์ A ขนาดความกว้างคูณความยาวเท่ากับ 1 mm x 6 mm เข้าไปที่แขนด้านขวาของสายอากาศรูปตัวที เพื่อให้สายอากาศสามารถใช้งานได้ที่มีความถี่ 2100 MHz ดังรูปที่ 3.10

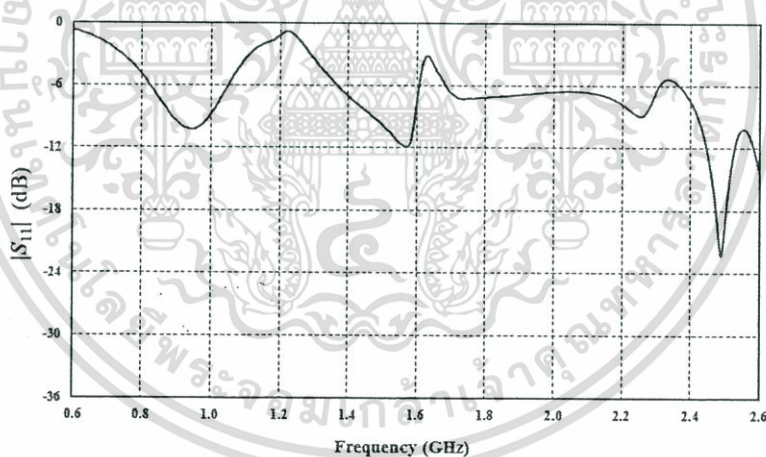


รูปที่ 3.10 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

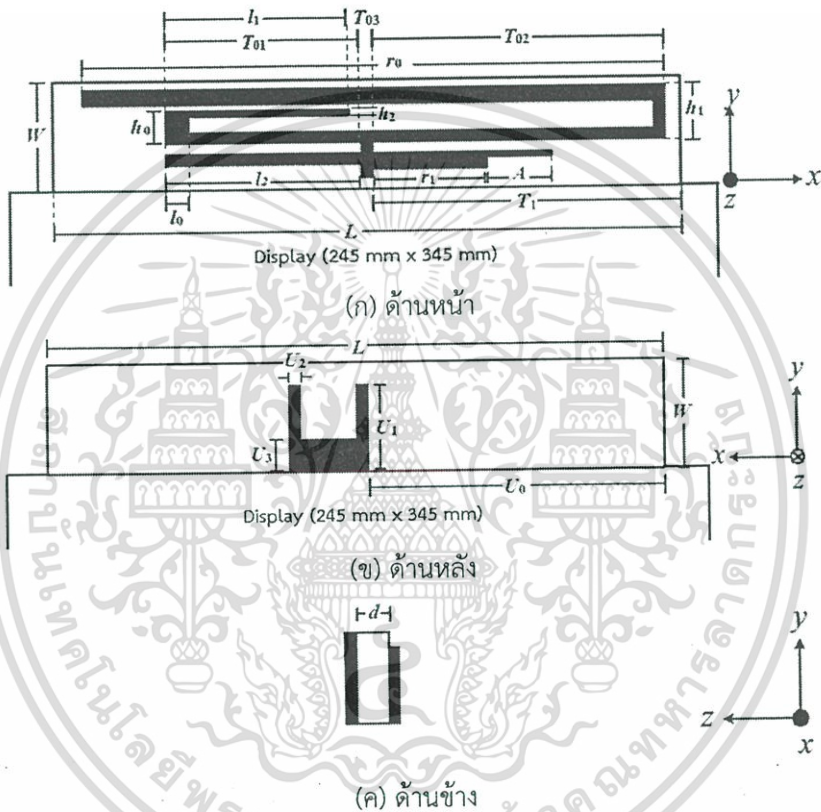
ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์ของสายอากาศตัวที่ 5

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_0$	1
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	34.5
$T_{02}$	51	$r_0$	102
$T_{03}$	2	$r_1$	20
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_2$	1	$U_3$	5
$A$	6		

รูปที่ 3.11 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 5

จากรูปที่ 3.11 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 3.6 พบว่าเมื่อเพิ่มพารามิเตอร์ A เข้าไปที่แกนด้านขวาของสายอากาศส่งผลให้สายอากาศมีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 1800-2100 MHz พบว่าสายอากาศครอบคลุมย่านความถี่ 800-900 MHz 1800-2100 MHz ที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่า -6 dB และ 2400 MHz ที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่า -10 dB

เนื่องจากสายอากาศต้นแบบที่ได้มีแบนด์วิดท์ที่ความถี่ 800 MHz มีค่าใกล้เคียงกับค่าแบนด์วิดท์ที่กำหนด จึงทำการเพิ่มแบนด์วิดท์โดยเพิ่มความกว้างของพารามิเตอร์  $l_0$  และลดความยาวของพารามิเตอร์  $l_2$  ซึ่งส่งผลให้มีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 1800-2100 MHz ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างสายอากาศตัวที่ 6

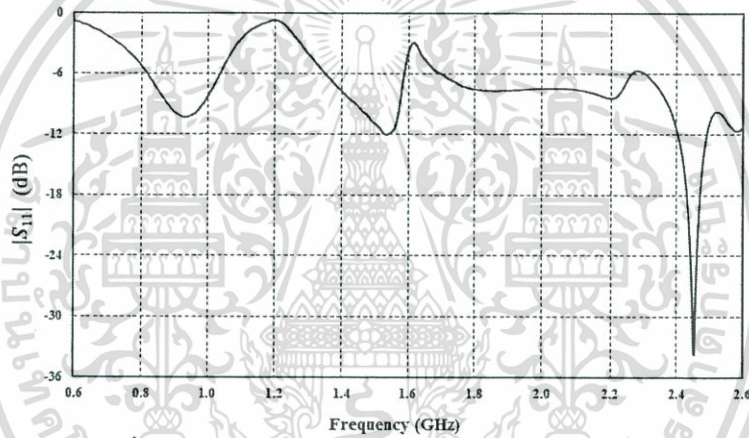
ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ที่ของสายอากาศตัวที่ 6

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_0$	4
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	34.5
$T_{02}$	51	$r_0$	102
$T_{03}$	2	$r_1$	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศตัวที่ 6 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_2$	1	$U_3$	5
$A$	6		

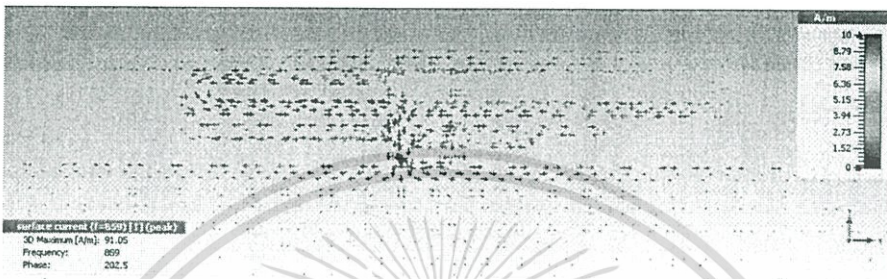
รูปที่ 3.13 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศต้นตัวที่ 6

จากรูปที่ 3.13 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศต้นแบบ หลังจากปรับปรุงสายอากาศ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.7 พบว่าสายอากาศหลายย่านความถี่จากการจำลองสามารถใช้งานได้ที่มีความถี่ 800 MHz (824-894 MHz) 900 MHz (897.5-960 MHz) 1800 MHz (1719-1880 MHz) 2100 MHz (1920-2170 MHz) ที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่า -6 dB และ 2400 MHz (2400-2485 MHz) ที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่า -10 dB ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับคอมพิวเตอร์พกพา สำหรับระบบ WiFi 2G และ 3G

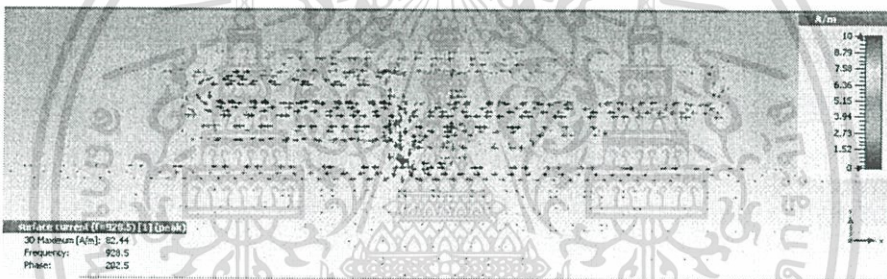
หัวข้อต่อไปจะเป็นศึกษาการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่มีความถี่ 800 MHz 900 MHz 1800 Hz 2100 MHz และ 2400 MHz

3.3.2 ผลการจำลองการกระจายของกระแส

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองการกระจายกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่มีความถี่ 800 MHz 900MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz ซึ่งแสดงผลการจำลองดังนี้

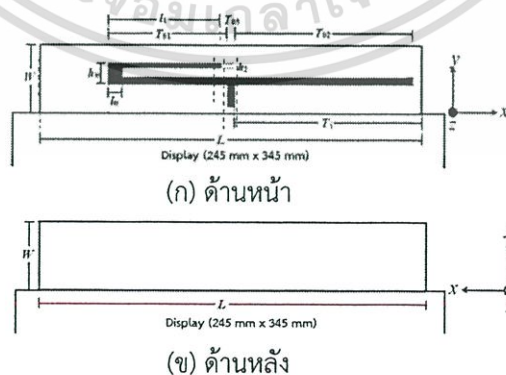


รูปที่ 3.14 ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่มีความถี่ 800 MHz



รูปที่ 3.15 ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่มีความถี่ 900 MHz

จากรูปที่ 3.14 และ 3.15 แสดงผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวของสายอากาศที่มีความถี่ 800 MHz และ 900 MHz พบว่ามีความแรงบริเวณสายอากาศรูปตัวที (T-Shape) และสายอากาศรูปตัวเจ (J-Shape) จึงทำการตัดส่วนอื่นออก ดังรูปที่ 3.16

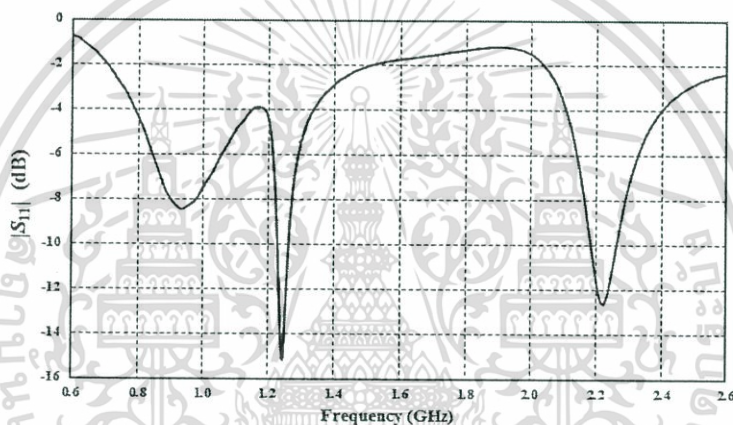


รูปที่ 3.16 สายอากาศที่มีพารามิเตอร์ที่ตอบสนองความถี่ 800-900 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

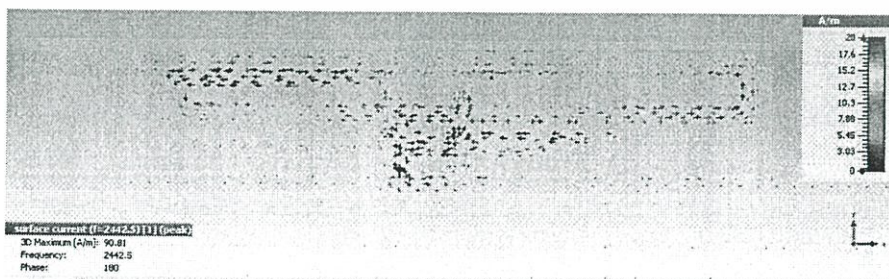
ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ความถี่ 800-900 MHz

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$T_1$	54
$W$	20	$h_0$	5
$T_{01}$	31.5	$h_2$	0.5
$T_{02}$	51	$l_0$	4
$T_{03}$	2	$l_1$	29



รูปที่ 3.17 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่ความถี่ 800-900 MHz

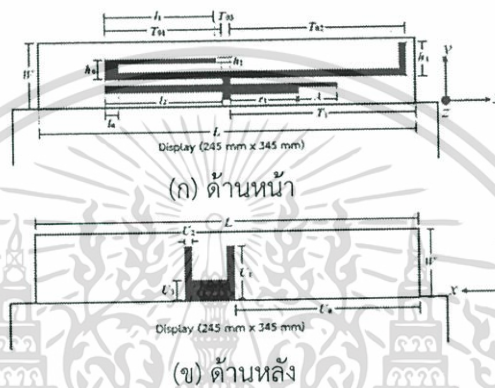
จากรูปที่ 3.17  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่มีลักษณะเป็นสายอากาศรูปตัวเจ (J-Shape) โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.8 พบว่าที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่า -6 dB มีแบนด์วิดท์ที่ก่อให้เกิดความถี่ 800-900 MHz ดังนั้นพารามิเตอร์ดังกล่าวมีผลต่อการเกิดความถี่ย่าน 800-900 MHz ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศ. ต่อมาทำการวิเคราะห์การกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.18 ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz พบว่ากระแสมีความแรงบริเวณสายอากาศรูปตัวเจ แขนด้านขวาของสายอากาศรูปตัวที่ แขนด้านซ้ายและขวาของสายอากาศและสายอากาศรูปตัวยู (U-Shape) จึงทำการตัดส่วนอื่นของสายอากาศที่ไม่เกี่ยวข้องออก ดังรูปที่ 3.19

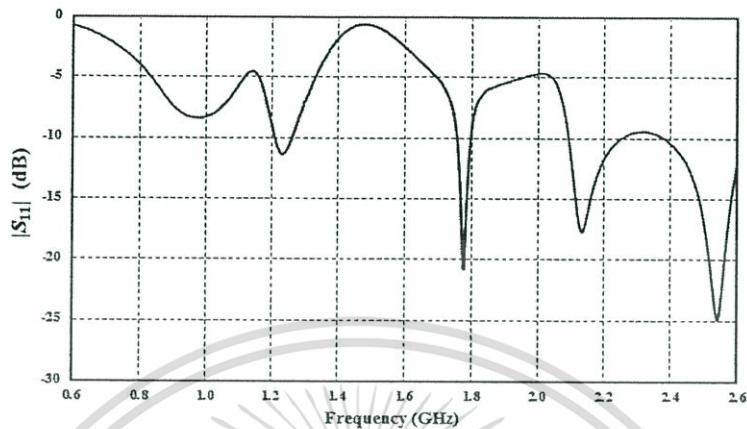


รูปที่ 3.19 สายอากาศที่มีพารามิเตอร์ที่ตอบสนองความถี่ 2400 MHz

ตารางที่ 3.9 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz

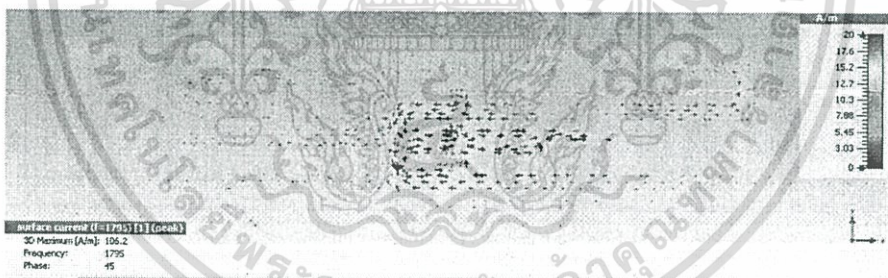
พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_0$	4
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	31
$T_{02}$	51	$r_1$	20
$T_{03}$	2	$A$	6
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_2$	1	$U_3$	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

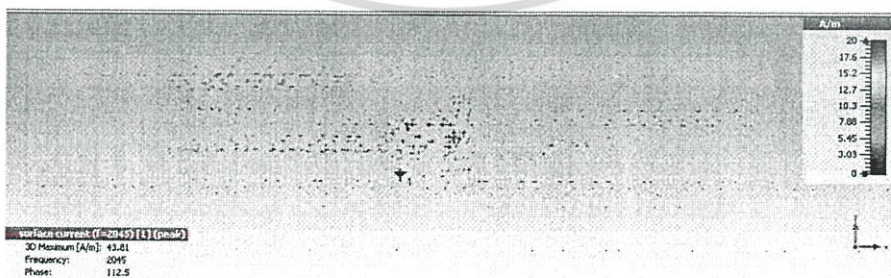


รูปที่ 3.20 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz

จากรูปที่ 3.20  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.9 พบว่า  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่ระดับต่ำกว่า -10 dB มีแนวโน้มที่จะเกิดความถี่ 2400 MHz ดังนั้น พารามิเตอร์ดังกล่าว มีผลต่อการเกิดความถี่ 2400 MHz ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่ความถี่ 1800-2100 MHz ดังรูปที่ 3.21 ถึง 3.22



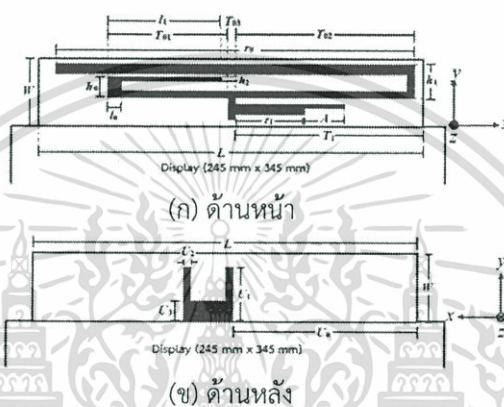
รูปที่ 3.21 ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่ความถี่ 1800 MHz



รูปที่ 3.22 ผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศที่ความถี่ 2100 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.21 และ 3.22 แสดงผลการจำลองการกระจายตัวกระแสไฟฟ้าบนผิวของสายอากาศที่ความถี่ 1800 MHz และ 2100 MHz พบว่ามีความแรงบริเวณแขนด้านขวาของสายอากาศ แขนด้านขวาของสายอากาศรูปตัวทีที่มีการหักงอ สายอากาศรูปตัวเจและสายอากาศรูปตัวยู (U-Shape) จึงทำการตัดส่วนอื่นของสายอากาศออกดังรูปที่ 3.23

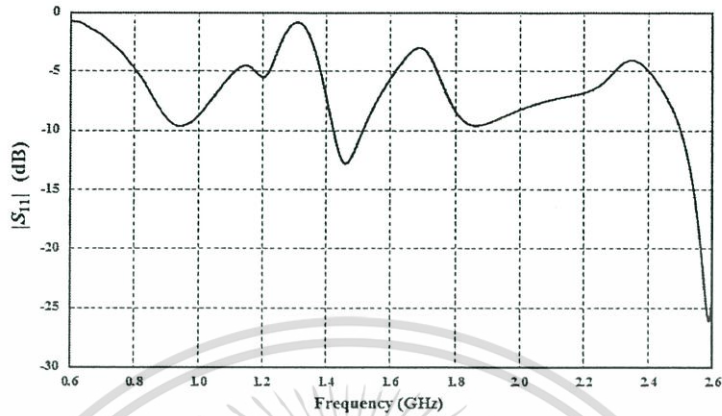


รูปที่ 3.23 สายอากาศที่มีพารามิเตอร์ที่ตอบสนองความถี่ 1800-2100 MHz

ตารางที่ 3.10 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ความถี่ 1800-2100 MHz

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$r_0$	102
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	31
$T_{02}$	51	$r_1$	20
$T_{03}$	2	$A$	6
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_2$	1	$U_3$	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

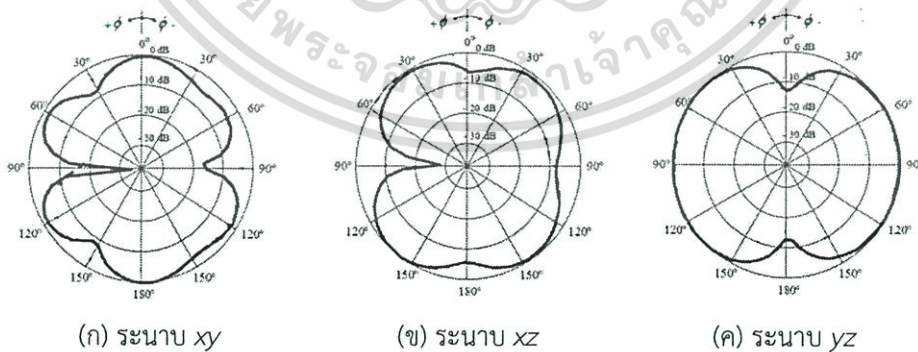


รูปที่ 3.24 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่ความถี่ 1800-2100 MHz

จากรูปที่ 3.24  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่ตอบสนองต่อความถี่ 1800-2100 MHz โดยใช้พารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.10 หลังจากตัดพารามิเตอร์  $L_2$  ออก พบว่า  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่ระดับต่ำกว่า -6 dB มีแนวโน้มที่จะเกิดความถี่ 1800-2400 MHz ดังนั้น พารามิเตอร์ดังกล่าว มีผลต่อการเกิดความถี่ 1800-2100 MHz ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าบนผิวสายอากาศ

ลำดับต่อไปจะเป็นการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 800 MHz 900 MHz 1800 Hz 2100 MHz และ 2400 MHz ในระนาบ  $xz$   $xy$  และ  $yz$

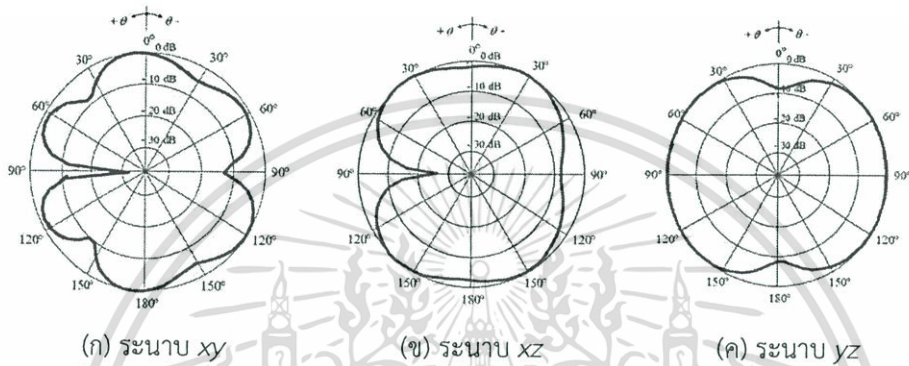
### 3.3.3 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 3.25 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 800 MHz

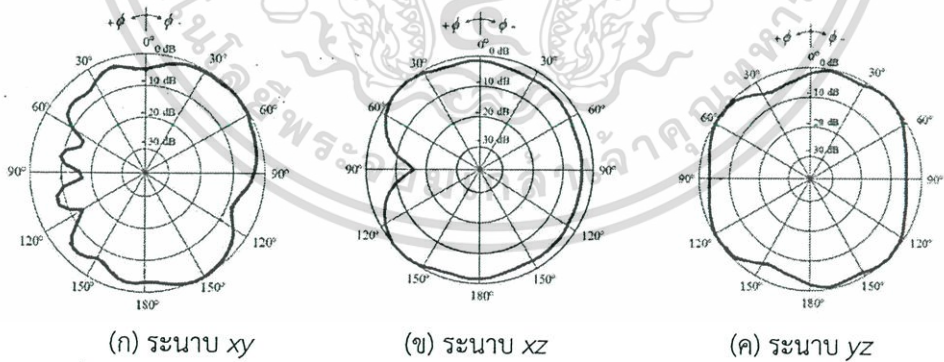
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.25 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 800 MHz ในระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz พบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว (Omni directional) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ที่ระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz เท่ากับ 40 องศา 44.3 องศาและ 135.7 องศาตามลำดับ



รูปที่ 3.26 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 900 MHz

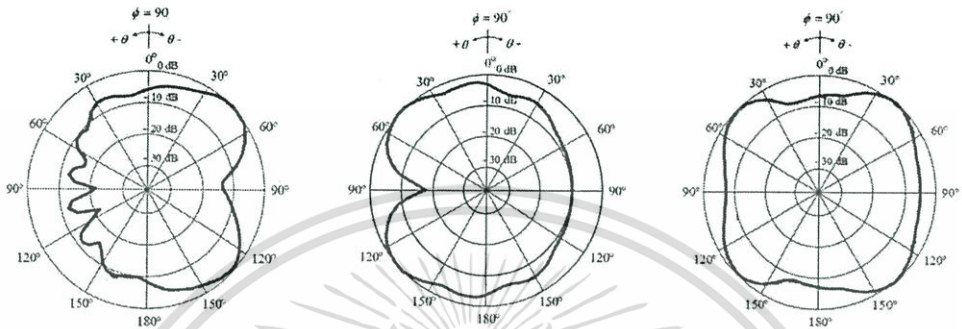
จากรูปที่ 3.26 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 900 MHz ในระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz พบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวและมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ที่ระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz เท่ากับ 60 องศา 41.2 องศาและ 141.9 องศาตามลำดับ



รูปที่ 3.27 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 1800 MHz

จากรูปที่ 3.27 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 1800 MHz ในระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz พบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับ

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวและมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ที่ระนาบ  $xy$  ระนาบ  $xz$  และระนาบ  $yz$  เท่ากับ 50 องศา 44.7 องศาและ 44.6 องศาตามลำดับ



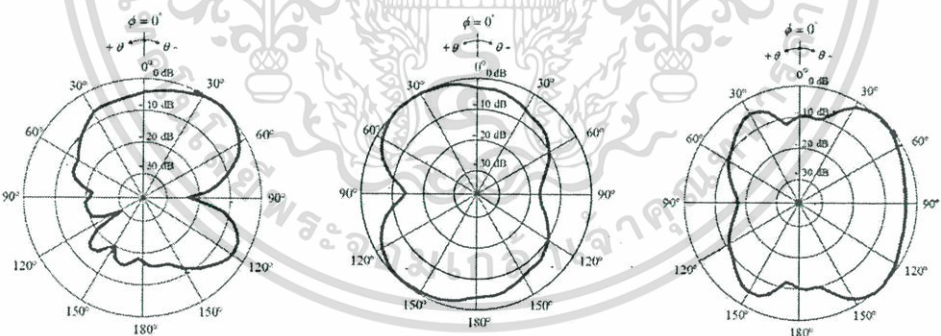
(ก) ระนาบ  $xy$

(ข) ระนาบ  $xz$

(ค) ระนาบ  $yz$

รูปที่ 3.28 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2100 MHz

จากรูปที่ 3.28 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2100 MHz ในระนาบ  $xy$  ระนาบ  $xz$  และระนาบ  $yz$  พบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวและมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ที่ระนาบ  $xy$  ระนาบ  $xz$  และระนาบ  $yz$  เท่ากับ 30 องศา 36.6 องศาและ 34.8 องศาตามลำดับ



(ก) ระนาบ  $xy$

(ข) ระนาบ  $xz$

(ค) ระนาบ  $yz$

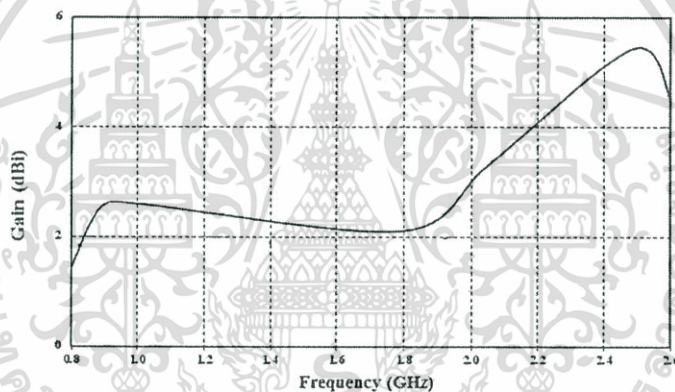
รูปที่ 3.29 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz

จากรูปที่ 3.29 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz ในระนาบ  $xy$  ระนาบ  $xz$  และระนาบ  $yz$  พบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางและมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ที่ระนาบ  $xy$  ระนาบ  $xz$  และระนาบ  $yz$  เท่ากับ 65 องศา 44.6 องศาและ 41.1 องศาตามลำดับ

### 3.3.4 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ

ตารางที่ 3.11 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศที่นำเสนอ

ความถี่ (MHz)	อัตราขยาย (dBi)
800	2.268
900	2.633
1800	2.106
2100	3.279
2400	5.428



รูปที่ 3.30 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ

จากรูปที่ 3.30 แสดงการจำลองอัตราขยายของสายอากาศพบว่าที่ความถี่ 800 MHz มีอัตราขยายเท่ากับ 2.268 dBi ความถี่ 900 MHz มีอัตราขยายเท่ากับ 2.633 dBi ความถี่ 1800 MHz มีอัตราขยายเท่ากับ 2.106 dBi ความถี่ 2100 MHz มีอัตราขยายเท่ากับ 3.279 dBi และ ความถี่ 2400 MHz มีอัตราขยายเท่ากับ 5.428 dBi

ตารางที่ 3.12 สรุปคุณลักษณะของสายอากาศ

คุณลักษณะของสายอากาศ		ค่าที่ได้จากการจำลองที่ความถี่ 800-900 MHz		ค่าที่ได้จากการจำลองที่ความถี่ 1800-2100 MHz		ค่าที่ได้จากการจำลองที่ความถี่ 2400 MHz
ช่วงกว้างความถี่		817 MHz ถึง 1037 MHz		1706 MHz ถึง 2300 MHz		2382 MHz ถึง 2503 MHz
แบนด์วิดธ์		220 MHz		594 MHz		121 MHz
อัตราขยาย		2.268 dBi	2.633 dBi	2.106 dBi	3.279 dBi	5.428 dBi
โพลาริซ		เชิงเส้น	เชิงเส้น	เชิงเส้น	เชิงเส้น	เชิงเส้น
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น		รอบตัว	รอบตัว	รอบตัว	รอบตัว	รอบตัว
HPBW (องศา)	xz	40	60	50	30	65
	xy	44.3	41.2	44.7	36.6	44.6
	yz	135.7	141.9	44.6	34.8	41.1

### 3.4 สรุป

ในบทนี้นำเสนอการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ จากการวิเคราะห์หาค่าสายนำสัญญาณแบบสตริปไลน์นั้นจะให้ความกว้างของสายนำสัญญาณเท่ากับ 2 mm บนแผ่นพิมพ์ซึ่งมีความหนา 0.8 mm และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.4 ในการจำลองนั้นทำการป้อนสัญญาณที่สายนำสัญญาณแบบไมโครสตริปและด้านกราวด์เชื่อมต่อกับระนาบกราวด์ของหน้าจอกอมพิวเตอร์พกพา

สายอากาศที่นำเสนอข้างต้นนี้จำลองโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio [20] โดยจากผลการจำลองข้างต้นทำให้ได้สายอากาศที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.12 และมีขนาดทางกายภาพของพารามิเตอร์ต่างๆดังตารางที่ 3.7 ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอนี้เป็นสายอากาศหลายย่านความถี่ซึ่งมีค่า  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -6 dB ที่ความถี่ 800 MHz (824-894 MHz) 900 MHz (897.5-960 MHz) 1800 MHz (1719-1880 MHz) 2100 MHz (1920-2170 MHz) และมีค่า  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ 2400 MHz (2400-2485 MHz) ซึ่งเป็นความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยสายอากาศที่นำเสนอนี้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางและมีอัตราขยาย

ที่ความถี่ 800 MHz 900MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz เท่ากับ 2.268 dBi 2.633 dBi 2.106 dBi 3.279 dBi และ 5.428 dBi ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการแสดงผลจากการทดสอบของสายอากาศหลายย่านความถี่สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ WiFi 2G และ 3G ซึ่งจะพิจารณาผล  $|S_{11}|$  แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ  $xz$  ระนาบ  $xy$  และระนาบ  $yz$  และอัตราขยายของสายอากาศ โดยทำการทดสอบในห้องปราศจากการสะท้อน (Anechoic Chamber) ที่ความถี่ 800 MHz 900 MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

#### 4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศต้นแบบหลายย่านความถี่สำหรับระบบ WiFi 2G และ 3G โดยสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอนี้สร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 มีความหนาของวัสดุฐานรอง 0.8 mm และมีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ ( $\epsilon_r$ ) เท่ากับ 4.4 มีขนาดโดยรวมความกว้างคูณความยาวเท่ากับ 20 mm x 110 mm ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.1 และค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศต้นแบบแสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายสายอากาศต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_1$	29
$W$	20	$l_2$	31
$T_{01}$	31.5	$r_0$	102
$T_{02}$	51	$r_1$	20
$T_{03}$	2	$A$	6
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_2$	1	$U_3$	5
$l_0$	4		

#### 4.3 การทดสอบและผลการทดสอบ

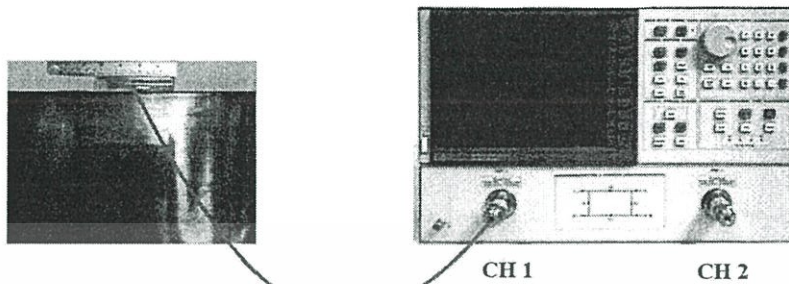
ในการทดสอบสายอากาศต้นแบบได้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ เช่น  $|S_{11}|$  แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศ เพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศหลายย่านความถี่สำหรับระบบ WiFi 2G และ 3G มีดังต่อไปนี้

1. ห้องไร้การสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Anechoic Chamber)
2. เครื่องวิเคราะห์เครือข่าย (Network Analyzer HP 8720C)
3. สายนำสัญญาณอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

##### 4.3.1 การทดสอบและผลการทดสอบ $|S_{11}|$

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศ โดยนำสายอากาศที่จะทำการทดสอบต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์เครือข่าย ซึ่งแสดงวิธีการทดสอบดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 การทดสอบ  $|S_{11}|$ 

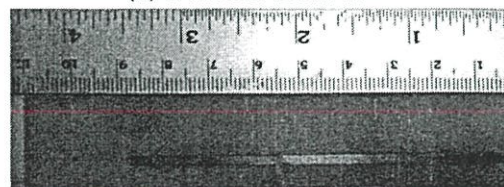
$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (4.1)$$

$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad (4.2)$$

การทดสอบ  $|S_{11}|$  จะเริ่มต้นทดสอบจากสายอากาศตัวที่ 1 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสายอากาศรูปตัวที (T-Shape) มีขนาดโดยรวมเท่ากับ 20 mm x 110 mm x 0.8 mm ดังรูปที่ 4.3 และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังตารางที่ 4.2

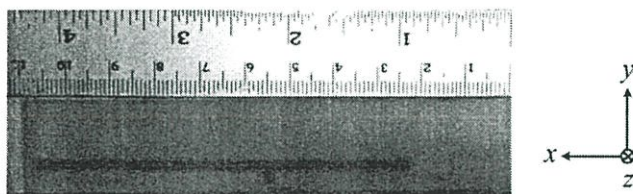


(ก) ภาพรวมสายอากาศ



(ข) ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

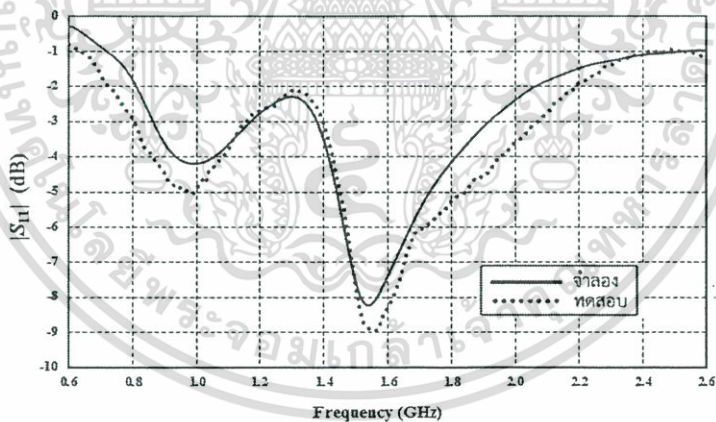


(ค) ด้านหลัง

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 1

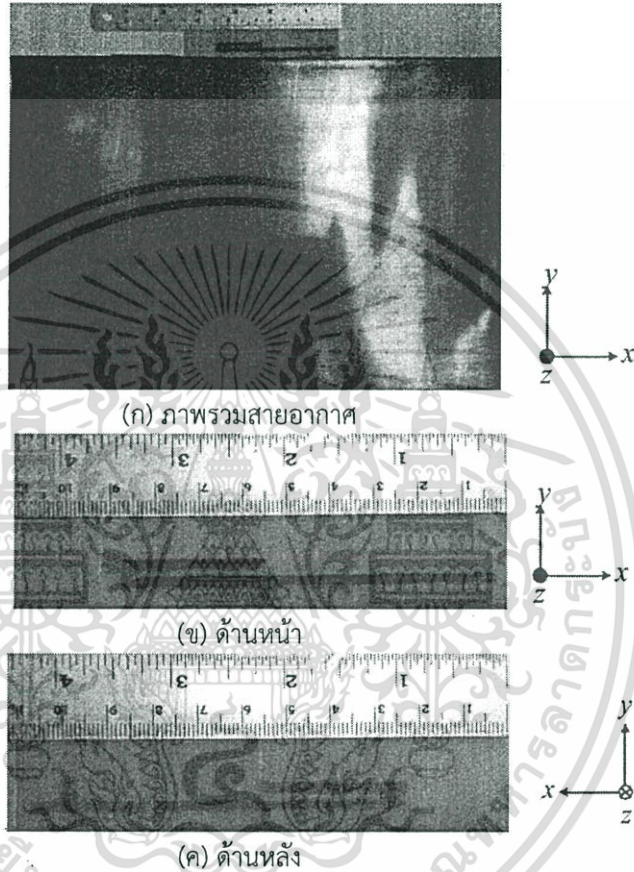
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 1

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110
$W$	20
$T_{01}$	31.5
$T_{02}$	51
$T_{03}$	2
$T_1$	54

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 1

จากการออกแบบสายอากาศตัวที่ 1 เป็นสายอากาศรูปตัวที (T-Shape) ซึ่งส่งผลต่อการเกิดความถี่ต่ำ จากรูปที่ 4.4 ผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศพบว่าที่ระดับต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $-6$  dB ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 1500-1700 MHz ซึ่งยังไม่ใช้ความถี่ที่ต้องการใช้งานและมีแนวโน้มที่จะเกิดย่านความถี่ 800-900 MHz แต่พบว่า  $|S_{11}|$  ยังมีค่าไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $-6$  dB จึงต้องทำการปรับปรุงสายอากาศ โดยการเพิ่มความยาวของแขนด้านซ้ายของสายอากาศรูป

ตัวที่ เนื่องจากความยาวของแกนด้านซ้ายนั้นส่งผลต่อการเกิดย่านความถี่ต่ำ จึงทำการเพิ่มความยาวและหักงอเป็นสายอากาศรูปตัวเจ (J-Shape) เพื่อไม่ให้สายอากาศมีขนาดใหญ่เกินไป ดังรูปที่ 4.5

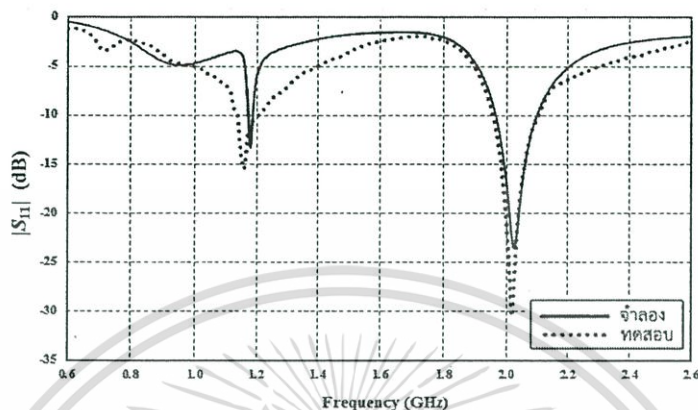


รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 2

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 2

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$T_1$	54
$W$	20	$h_0$	5
$T_{01}$	31.5	$h_2$	2
$T_{02}$	51	$l_0$	1
$T_{03}$	2	$l_1$	29

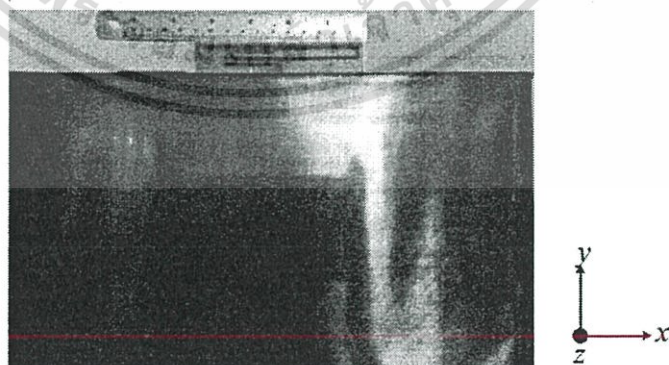
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 2

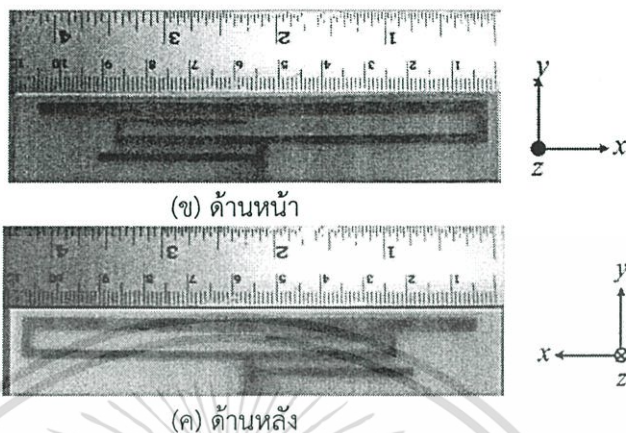
จากรูปที่ 4.6 ผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 2 พบว่าที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $-6$  dB มีแนวโน้มที่จะเกิดความถี่ 1200 MHz และ 2100 MHz ซึ่งความถี่ 2100 MHz เป็นความถี่ที่ต้องการใช้งานและที่ความถี่ 800-900 MHz พบว่า  $|S_{11}|$  ยังมีค่าไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $-6$  dB จึงต้องทำการปรับปรุงสายอากาศต่อไป

ต่อมาทำการปรับปรุงสายอากาศโดยลดความกว้างของพารามิเตอร์  $h_2$  ซึ่งส่งผลให้มีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 800-900 MHz และเพิ่มความยาวแขนด้านขวาของสายอากาศรูปตัวที ซึ่งความยาวของแขนด้านขวานั้นส่งผลต่อการเกิดความถี่ 2400 MHz เนื่องจากไม่ต้องการให้สายอากาศมีขนาดใหญ่เกินไปจึงทำการหักงอแขนด้านขวาของสายอากาศรูปตัวที จากนั้นทำการเพิ่มพารามิเตอร์  $l_2$  ซึ่งทำให้เกิดการเลื่อนความถี่ ดังรูปที่ 4.7



(ก) ภาพรวมสายอากาศ

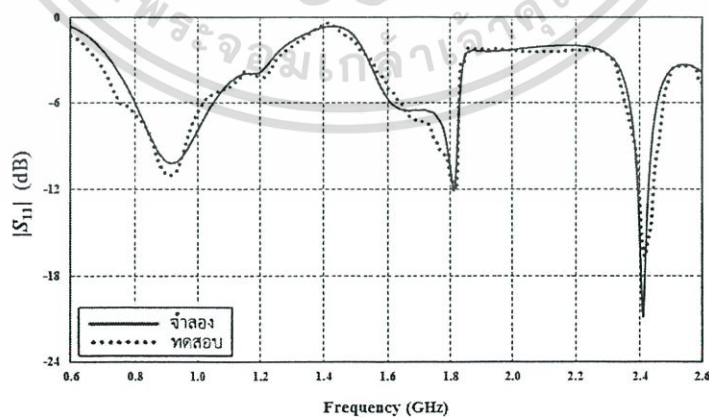
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 3

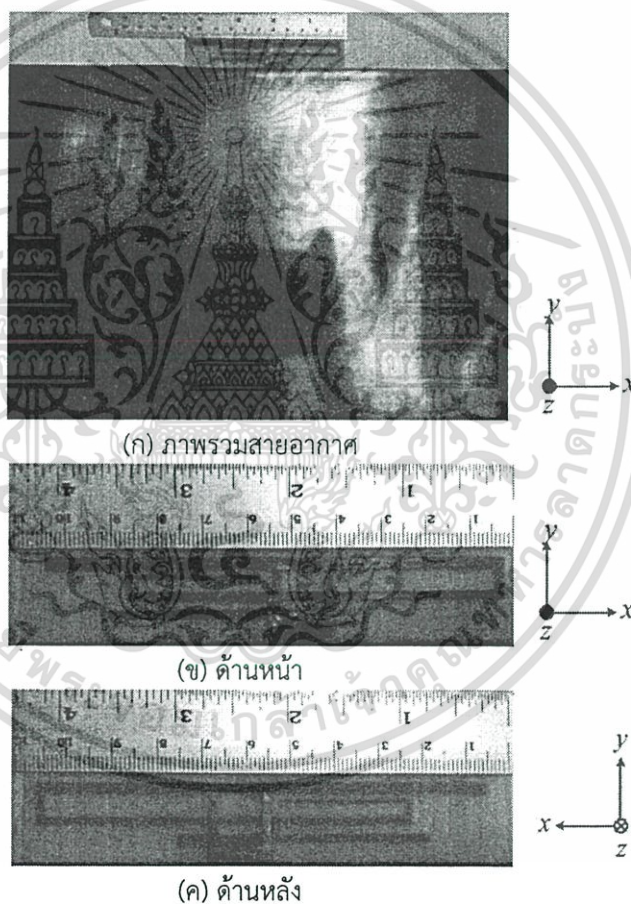
ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 3

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$h_0$	5
$W$	20	$h_1$	10
$T_{01}$	31.5	$h_3$	2
$T_{02}$	51	$l_0$	1
$T_{03}$	2	$l_1$	29
$T_1$	54	$l_2$	34.5
$r_0$	102		

รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 ผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 3 พบว่าสายอากาศมีแนวโน้มในการทำงานที่ความถี่ 1800 MHz มีการเลื่อนความถี่มาอยู่ที่ความถี่ 2400 MHz และมีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 800-900 MHz แต่สายอากาศที่ได้นั้นยังไม่ครอบคลุมความถี่ทั้งหมดที่ต้องการใช้งาน จึงต้องทำการปรับปรุงสายอากาศเพิ่มเติม โดยการเพิ่มพารามิเตอร์  $r_1$  ขนาดความกว้างคูณความยาวเท่ากับ 3 mm x 20 mm ส่งผลให้มีแนวโน้มที่จะเกิดย่านความถี่สูงและเพิ่มสายอากาศรูปตัว U (U-Shape) เข้าไปที่ด้านหลังของสายอากาศ ซึ่งส่งผลให้เกิดการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้น ดังรูปที่ 4.9

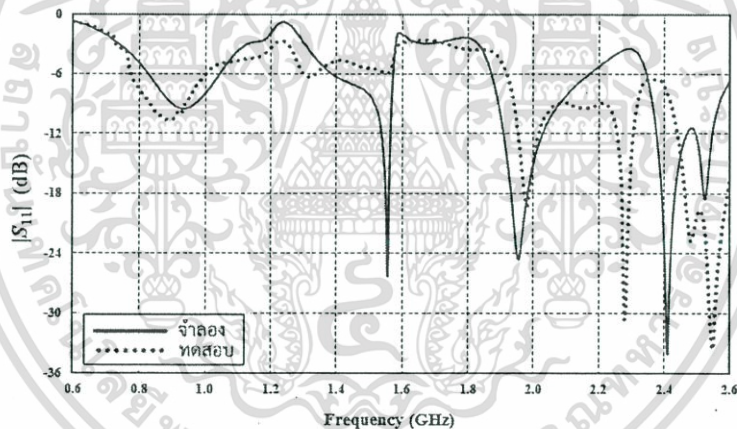


รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

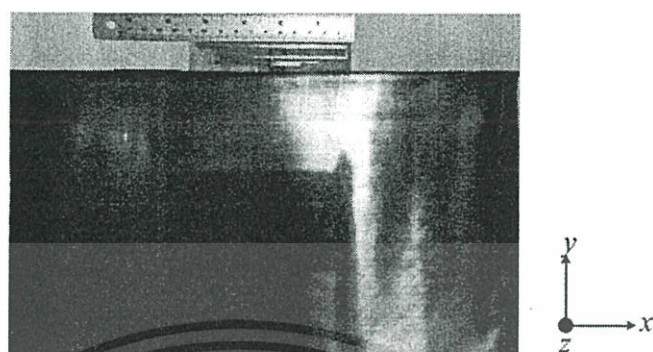
ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 4

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_0$	1
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	34.5
$T_{02}$	51	$r_0$	102
$T_{03}$	2	$r_1$	20
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_3$	2	$U_3$	5

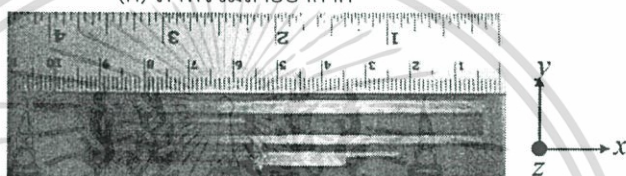
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 4

จากรูปที่ 4.10 ผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 4 พบว่าสายอากาศสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 800-900 MHz มีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 2400 MHz และมีแนวโน้มการทำงานที่ความถี่ 2400 MHz แต่ยังไม่ครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการจึงทำการปรับปรุงสายอากาศต่อไป

จากนั้นเพิ่มพารามิเตอร์  $A$  ขนาดความกว้างคูณความยาวเท่ากับ  $1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  เข้าไปที่แขนด้านขวาของสายอากาศรูปตัวที่ 4 เพื่อให้สายอากาศสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 2100 MHz ดังรูปที่ 4.11



(ก) ภาพรวมสายอากาศ



(ข) ด้านหน้า



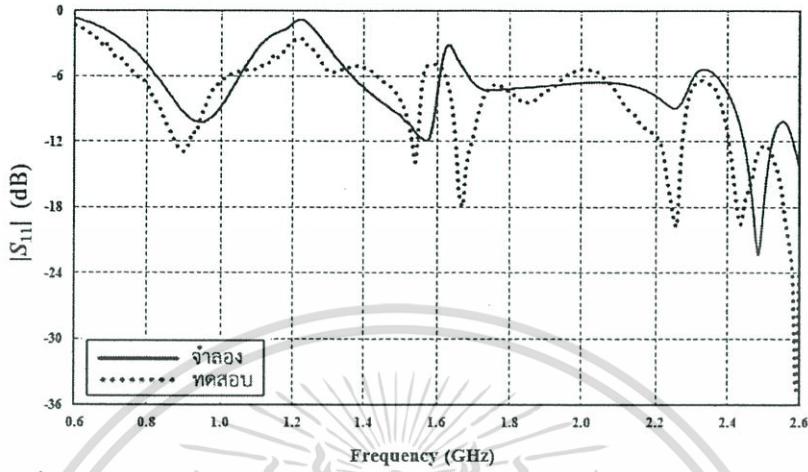
(ค) ด้านหลัง

รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 5

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 5

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_0$	1
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	34.5
$T_{02}$	51	$r_0$	102
$T_{03}$	2	$r_1$	20
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_3$	2	$U_3$	5
$A$	6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 5

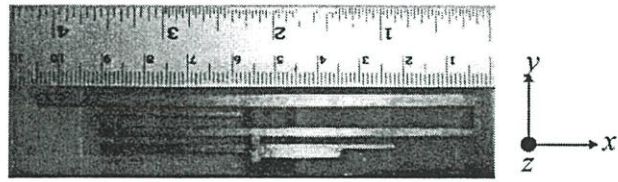
จากรูปที่ 4.12 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 5 พบว่าสายอากาศครอบคลุมย่านความถี่ 800-900 MHz ที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่า -6 dB และ 2400 MHz ที่ระดับอ้างอิงต่ำกว่า -10 dB หลังจากเพิ่มพารามิเตอร์ A เข้าไปส่งผลให้สายอากาศสามารถใช้งานได้ที่ย่านความถี่ 1800-2100 MHz

เนื่องจากสายอากาศที่ได้นั้นมีแบนด์วิดท์ที่ความถี่ 800 MHz มีค่าใกล้เคียงกับค่าแบนด์วิดท์ที่กำหนด จึงทำการเพิ่มแบนด์วิดท์โดยเพิ่มความกว้างของพารามิเตอร์  $l_0$  และลดความยาวของพารามิเตอร์  $l_2$  ซึ่งส่งผลให้มีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 1800-2100 MHz

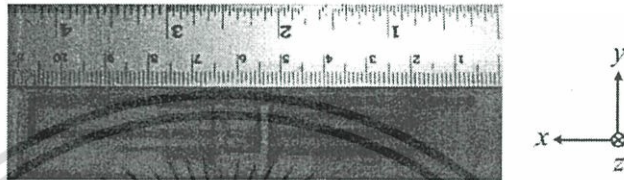


(ก) ภาพรวมสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ด้านหน้า



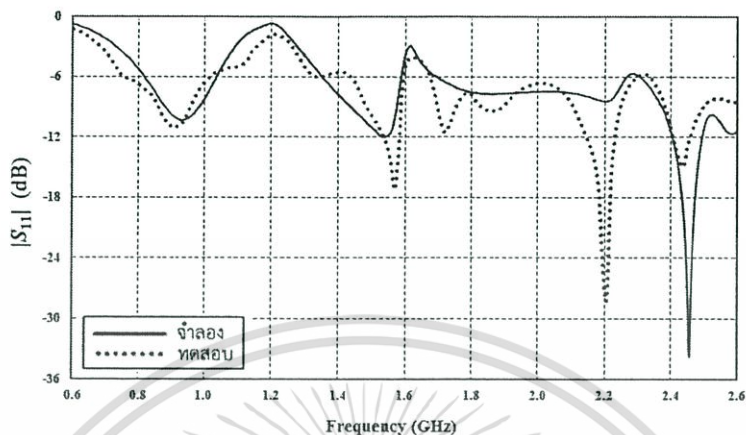
(ค) ด้านหลัง

รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายสายอากาศตัวที่ 6

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศตัวที่ 6

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_0$	4
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	31.5
$T_{02}$	51	$r_0$	102
$T_{03}$	2	$r_1$	20
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_3$	2	$U_3$	5
$A$	6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 6

จากรูปที่ 4.4 ผลการจำลองและการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศตัวที่ 6 พบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้นที่ความถี่ 800 MHz และมีการแมตชิงอิมพีแดนซ์ดีขึ้นที่ความถี่ 1800-2100 MHz สายอากาศสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 800 MHz (824-894 MHz) 900 MHz (897.5-960 MHz) 1800 MHz (1719-1880 MHz) 2100 MHz (1920-2170 MHz) และ 2400 MHz (2400-2485 MHz) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับคอมพิวเตอร์พกพาสำหรับระบบ WiFi 2G และ 3G

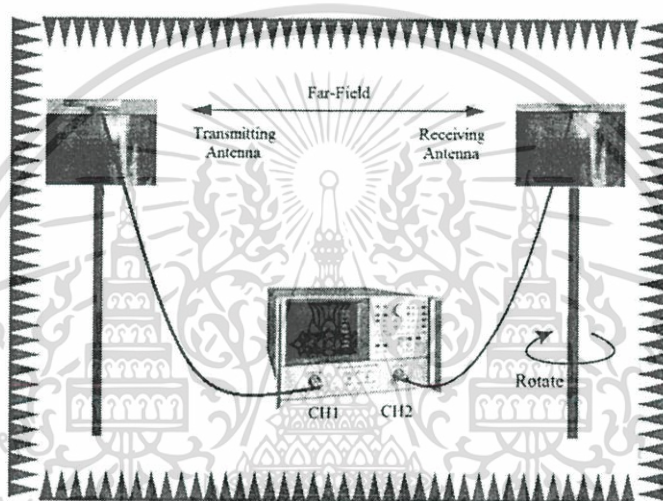
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบ  $|S_{11}|$  จากการจำลองและการทดสอบ

ความถี่ (MHz)	ผล	ความถี่ที่ $ S_{11}  < -6$ dB	แบนด์วิดท์
800-900	การจำลอง	817-1037 MHz	220 MHz
	การทดสอบ	790-1010 MHz	220 MHz
1800-2100	การจำลอง	1706-2300 MHz	594 MHz
	การทดสอบ	1678-2283 MHz	605 MHz
ความถี่ (MHz)	ผล	ความถี่ที่ $ S_{11}  < -10$ dB	แบนด์วิดท์
2400	การจำลอง	2382-2503 MHz	121 MHz
	การทดสอบ	2390-2492 MHz	102 MHz

จากตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและการทดสอบสายอากาศพบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มของผลการทดสอบยังคงสอดคล้องกับผลการจำลองและสามารถครอบคลุมย่านความถี่จะนำไปใช้งานคือ 800 MHz (824-

894 MHz) 900 MHz (897.5-960 MHz) 1800 MHz (1719-1880 MHz) 2100 MHz (1920-2170 MHz) และ 2400 MHz (2400-2485 MHz) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้และครอบคลุมย่านความถี่ของระบบอยู่ในหัวข้อต่อไปจะแสดงการทดสอบและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

#### 4.3.2 การทดสอบและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 4.15 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นซึ่งทำการทดสอบในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave anechoic chamber) ทดสอบโดยการส่งสัญญาณด้วยสายอากาศคู่เหมือนเป็นตัวรับและตัวส่งสัญญาณ โดยที่สายอากาศตัวส่งสัญญาณจะต่อเข้ากับ CH.1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายและสายอากาศตัวรับสัญญาณจะต่อเข้ากับ CH.2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย การทดสอบสายอากาศจะมีการทำงานในสนามระยะไกล (far-field) ซึ่งมีวิธีการหาสนามระยะไกลดังนี้

หาขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศ ( $D$ ) แต่ถ้ากรณีที่พิจารณาการทดสอบสายอากาศส่งและรับพร้อมกัน

$$D = D_T + D_R \quad (1)$$

$$D = 0.4 + 0.4$$

$$D = 0.8 \text{ m}$$

โดยที่  $D_T$  คือ ขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศส่ง

$D_R$  คือ ขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศรับ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาสนามระยะไกล (far-field) จาก

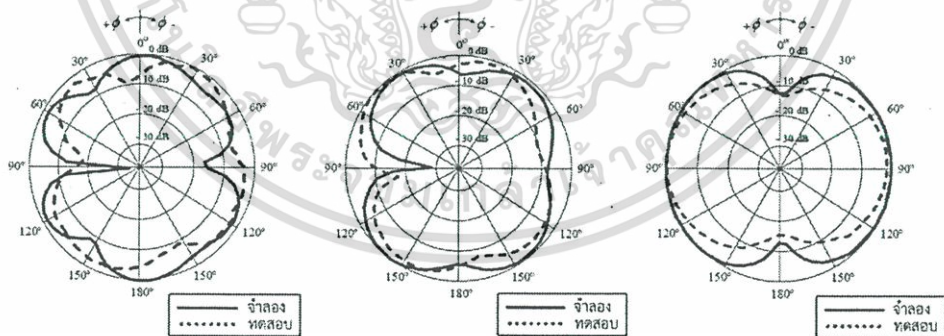
$$R \geq \frac{2(D^2)}{\lambda} \quad (2)$$

$$R \geq \frac{2(0.8^2)}{3 \times 10^8 / 2400 \times 10^6}$$

$$R \geq 10.24 \text{ m}$$

จากนั้นทำการติดตั้งสายอากาศตัวส่งให้อยู่กับที่และหมุนสายอากาศตัวรับที่ต้องการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโดยจะหมุนครั้งละ 5 องศาที่มุมต่างๆจนครบ 360 องศา ซึ่งระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับต้องมากกว่าหรือเท่ากับระยะของสนามระยะไกล (far-field) และบันทึกค่าระดับสัญญาณผ่านพารามิเตอร์  $S_{21}$  ที่มุมต่างๆ

จากการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวสามารถให้ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหลายย่านความถี่ในระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz ซึ่งผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในแต่ละระนาบนั้นได้วิเคราะห์ความถี่กลางของแต่ละความถี่ คือ 859 MHz 928.5 MHz 1795 MHz 2045 MHz และ 2442 MHz โดยแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองดังรูปที่ 4.16 ถึง 4.20

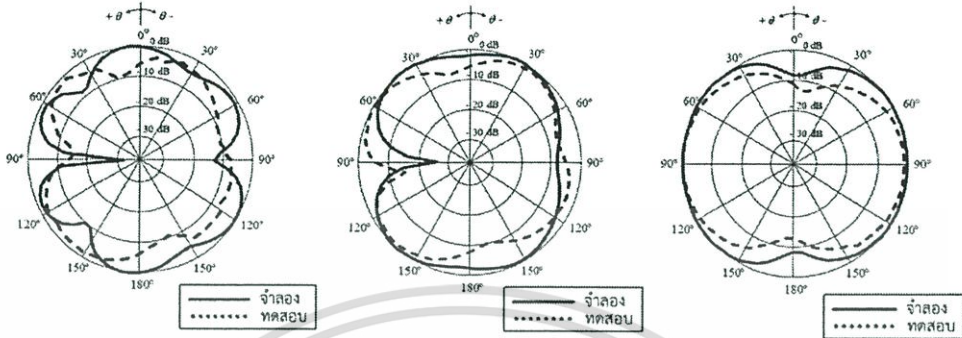


(ก) ระนาบ xy

(ข) ระนาบ xz

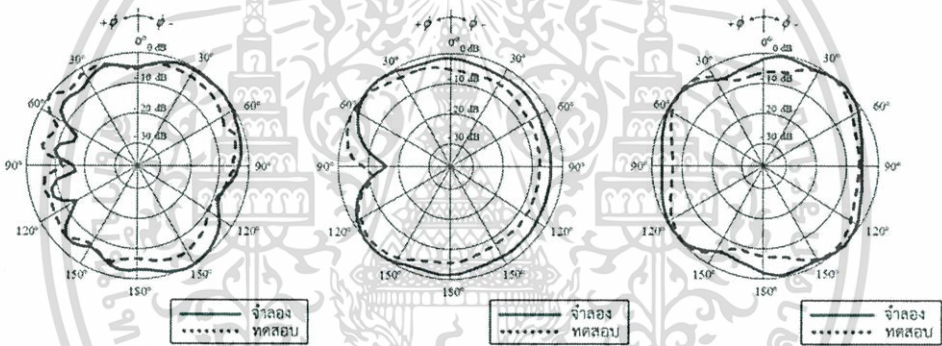
(ค) ระนาบ yz

รูปที่ 4.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 800 MHz



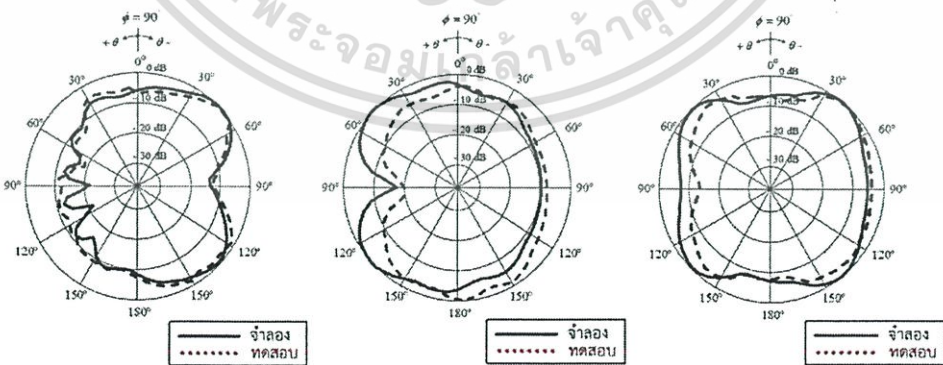
(ก) ระนาบ xy                      (ข) ระนาบ xz                      (ค) ระนาบ yz

รูปที่ 4.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 900 MHz



(ก) ระนาบ xy                      (ข) ระนาบ xz                      (ค) ระนาบ yz

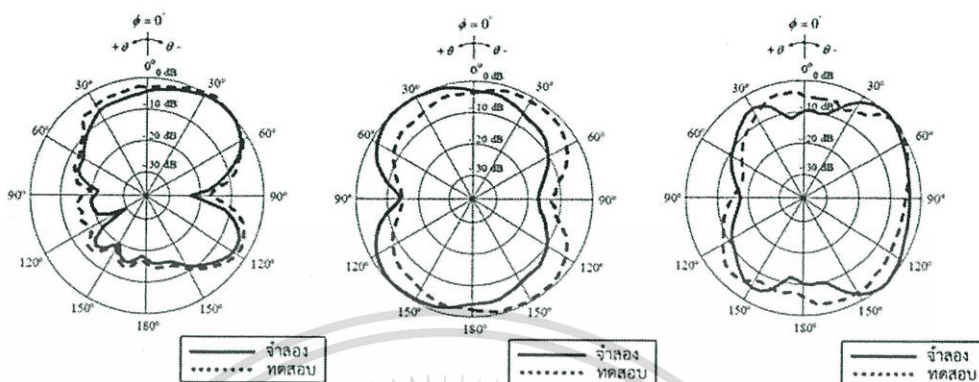
รูปที่ 4.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 1800 MHz



(ก) ระนาบ xy                      (ข) ระนาบ xz                      (ค) ระนาบ yz

รูปที่ 4.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2100 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ระนาบ  $xy$                       (ข) ระนาบ  $xz$                       (ค) ระนาบ  $yz$   
รูปที่ 4.20 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2400 MHz

จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.20 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบ  $xy$  ระนาบ  $xz$  และระนาบ  $yz$  ซึ่งสายอากาศหลายย่านความถี่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงแบบรอบทิศทาง โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบมีความสอดคล้องกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลอง แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ  $xy$  ระนาบ  $xz$  และระนาบ  $yz$  ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า

1. เกิดจากความผิดพลาดของความถี่เริ่มต้นที่สามารถใช้งานได้ในการสร้างมีความถี่ที่เลื่อนเข้ามาหาในความถี่ที่สูงขึ้นกว่าเดิม เนื่องมาจากการจำลองผลไม่ได้ทำการจำลองพร้อมคอนเนคเตอร์เข้าไปด้วย

2. จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีการบ่อนสัญญาณด้วย SMA เข้าไปพร้อมกับสายนำสัญญาณซึ่งมีการสูญเสียและในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ  $xz$  นั้นลักษณะการวางตัวของสายอากาศถูกหมุนไปพร้อมกับสายนำสัญญาณ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสนามในแนวระนาบสนามไฟฟ้าทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีความคลาดเคลื่อนไป

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบ HPBW จากการจำลองและการทดสอบ

ความถี่ (MHz)	ระนาบ	HPBW (องศา)		ความถี่ (MHz)	ระนาบ	HPBW (องศา)	
		การจำลอง	การทดสอบ			การจำลอง	การทดสอบ
800	xz	40	41	2100	xz	30	38.8
	xy	44.3	30		xy	36.6	25
	yz	135.7	85		yz	34.8	35
900	xz	60	121.3	2400	xz	65	59
	xy	41.2	35		xy	44.6	45
	yz	141.9	110		yz	41.1	30
1800	xz	50	80.1				
	xy	44.7	45				
	yz	44.6	35				

จากตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบ HPBW จากการจำลองและการทดสอบพบว่าที่ความถี่ 800 MHz ระนาบ xz xy และ yz มี HPBW จากการจำลองเท่ากับ 40 องศา 44.3 องศาและ 135.7 องศาตามลำดับ HPBW จากการทดสอบเท่ากับ 41 องศา 30 องศาและ 85 องศาตามลำดับ ที่ความถี่ 900 MHz ระนาบ xz xy และ yz มี HPBW จากการจำลองเท่ากับ 60 องศา 41.2 องศา และ 141.9 องศาตามลำดับ HPBW จากการทดสอบเท่ากับ 121.3 องศา 35 องศาและ 110 องศาตามลำดับ ที่ความถี่ 1800 MHz ระนาบ xz xy และ yz มี HPBW จากการจำลองเท่ากับ 50 องศา 44.7 องศาและ 44.6 องศาตามลำดับ HPBW จากการทดสอบเท่ากับ 80.1 องศา 45 องศาและ 35 องศาตามลำดับ ที่ความถี่ 2100 MHz ระนาบ xz xy และ yz มี HPBW จากการจำลองเท่ากับ 30 องศา 36.6 องศาและ 34.8 องศาตามลำดับ HPBW จากการทดสอบเท่ากับ 38.8 องศา 25 องศา และ 35 องศาตามลำดับ และที่ความถี่ 2400 MHz ระนาบ xz xy และ yz มี HPBW จากการจำลองเท่ากับ 65 องศา 44.6 องศาและ 41.1 องศาตามลำดับ HPBW จากการทดสอบเท่ากับ 59 องศา 45 องศาและ 30 องศาตามลำดับ

#### 4.3.3 การทดสอบและผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ

ในการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศจะทำการทดสอบอัตราขยายสมบูรณ์ของสายอากาศโดยใช้สายอากาศคู่เหมือนในการทดสอบเพื่อหาหาอัตราขยายที่แท้จริงจากนั้นทำการคำนวณหาค่าอัตราขยายสมบูรณ์ได้จากสมการของฟรีส ในหน่วย dB ดังสมการดังต่อไปนี้

$$(G_{or})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{Pr}{Pt} \right) \quad (4.3)$$

เมื่อ  $R$  คือระยะสนามระยะไกล

$$R \geq \frac{2(D^2)}{\lambda} \quad (4.4)$$

และ  $D$  คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศแต่ถ้ากรณีที่พิจารณาการทดสอบสายอากาศส่งและรับพร้อมกัน

$$D = D_T + D_R \quad (4.5)$$

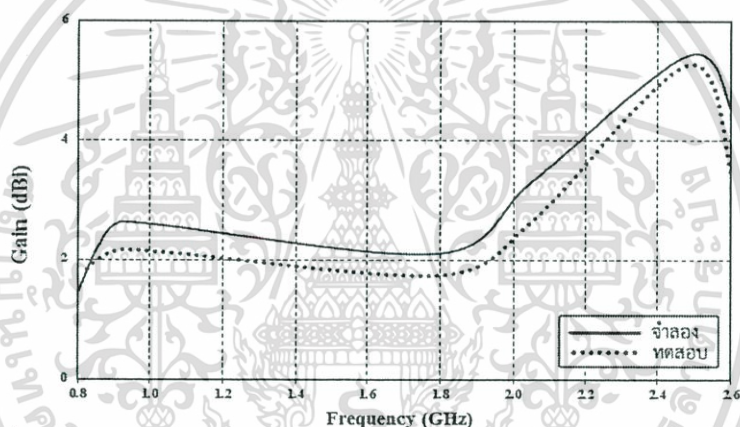
โดยที่  $D_T$  คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศส่ง

$D_R$  คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศรับ

ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายผ่านทางพารามิเตอร์การส่งผ่าน  $S_{21}$  โดยที่พารามิเตอร์  $S_{21}$  คือพารามิเตอร์ในรูปของฟังก์ชันคลื่นคืออัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ของคลื่นที่ส่งผ่านเครือข่ายไปยังโหลดต่อสัมประสิทธิ์ของคลื่นที่ส่งเข้าไปในเครือข่าย พิจารณาได้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังทางด้านรับที่ช่อง 2 ( $P_r$ ) ต่อกำลังส่งที่ช่องที่ 1 ( $P_t$ ) ภายใต้เงื่อนไขแมตซ์โพลาริซ์และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศที่มีระยะมากกว่าหรือเท่ากับขอบเขตของสนามระยะไกล ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศดังรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.10 อัตราขยายจากการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลอง

ความถี่ (MHz)	อัตราขยายสูงสุด (dBi)	
	จำลอง	ทดสอบ
800	2.268	1.834
900	2.633	2.169
1800	2.106	1.738
2100	3.279	2.614
2400	5.428	5.267



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ พบว่าที่ความถี่ 800 MHz อัตราขยายจากการจำลองและการทดสอบเท่ากับ 2.268 dBi และ 1.834 dBi ตามลำดับ ความถี่ 900 MHz อัตราขยายจากการจำลองและการทดสอบเท่ากับ 2.633 dBi และ 2.169 dBi ตามลำดับ ความถี่ 1800 MHz อัตราขยายจากการจำลองและการทดสอบเท่ากับ 2.106 dBi และ 1.738 dBi ตามลำดับ ความถี่ 2100 MHz อัตราขยายจากการจำลองและการทดสอบเท่ากับ 3.279 dBi และ 2.614 dBi ตามลำดับ และความถี่ 2400 MHz อัตราขยายจากการจำลองและการทดสอบเท่ากับ 5.428 dBi และ 5.267 dBi ตามลำดับ ซึ่งผลของอัตราขยายจากการจำลองและการทดสอบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่อัตราขยายที่ได้จากการทดสอบนั้นมีค่าน้อยกว่าอัตราขยายที่ได้จากการจำลอง

#### 4.4 สรุป

ตารางที่ 4.11 สรุปผลการทดสอบสายอากาศ

ความถี่	800 MHz	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz	2400 MHz	
$ S_{11}  < -6$ dB	790 MHz ถึง 1010 MHz		1678 MHz ถึง 2283 MHz		-	
$ S_{11}  < -10$ dB	-		-		2390 MHz ถึง 2492 MHz	
แบนด์วิดท์	220 MHz		605 MHz		102 MHz	
% BW	21.78		26.50		4.09	
อัตราขยาย	1.834 dBi	2.169 dBi	1.738 dBi	2.614 dBi	5.267 dBi	
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	รอบตัว	รอบตัว	รอบตัว	รอบตัว	รอบตัว	
HPBW (องศา)	xz	41	121.3	80.1	38.8	59
	xy	30	35	45	25	45
	yz	85	110	35	35	30

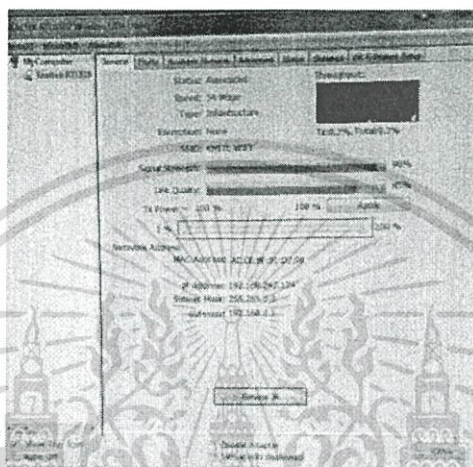
ในบทนี้นำเสนอโครงสร้างของสายอากาศ การสร้างสายอากาศ ขั้นตอนการทดสอบรวมถึงผลการทดสอบ  $|S_{11}|$  แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งในระนาบ xz ระนาบ yz และระนาบ xy อัตราขยายและทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างผลจากการจำลองที่ได้ทำการวิเคราะห์การสร้างจากบทที่ 3 กับผลในทางปฏิบัติ รวมทั้งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างพร้อมทั้งสรุปคุณสมบัติต่างๆที่ได้ทำการทดสอบเปรียบกับผลของการจำลองซึ่งสรุปไว้เป็นตารางที่ 4.11 โดยมีผลสรุปที่ได้ดังนี้

ผลการทดสอบค่า  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่นำเสนอมีค่าต่ำกว่า  $-6$  dB ที่ย่านความถี่ 800 MHz (824-894 MHz) 900 MHz (897.5-960 MHz) 1800 MHz (1719-1880 MHz) 2100 MHz (1920-2170 MHz) และมีค่าต่ำกว่า  $-10$  dB ที่ย่านความถี่ 2400 MHz (2400-2485 MHz) ซึ่งสามารถครอบคลุมความถี่ที่ต้องการใช้งานคือ 800 MHz 900 MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz

ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอพบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นไปในแนวทางเดียวกับผลการจำลอง แต่อาจจะมีการคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสายนำสัญญาณที่มีความยาวและมาจากการสูญเสียเนื่องจากคอนเนคเตอร์

ผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศที่นำเสนอที่ความถี่ 800 MHz 900 MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz มีค่าเท่ากับ 1.834 dBi 2.169 dBi 1.738 dBi 2.614 dBi และ 5.267 dBi ตามลำดับ

จากการทดสอบสายอากาศโดยให้สายอากาศเป็นตัวรับสัญญาณ พบว่าสายอากาศหลายย่านความถี่สามารถรับสัญญาณ WiFi ได้ โดยมีค่า Signal Strength เท่ากับ 96% และค่า Link Quality เท่ากับ 85% ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบการรับสัญญาณ WiFi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอสายอากาศหลายย่านความถี่สำหรับคอมพิวเตอร์พกพาซึ่งออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อใช้งานสำหรับระบบ WiFi 2G และ 3G ที่ความถี่ 800 MHz (824-894 MHz) 900 MHz (897.5-960 MHz) 1800 MHz (1710-1880 MHz) 2100 MHz (1920-2170 MHz) และ 2400 MHz (2400-2485 MHz) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อออกแบบสายอากาศขนาดเล็กเพื่อติดตั้งภายในคอมพิวเตอร์พกพา โดยทำการหาขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สายอากาศที่มี  $|S_{11}|$  ที่ต่ำกว่า  $-6$  dB ที่ความถี่ตั้งแต่ 824-894 MHz ตั้งแต่ 897-960 MHz ตั้งแต่ 1710-1880 MHz ตั้งแต่ 1920-2170 MHz และ  $|S_{11}|$  ที่ต่ำกว่า  $-10$  dB ตั้งแต่ 2400-2485 MHz ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง

#### 5.2 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบ WiFi 2G และ 3G สายอากาศไมโครสตริป เพื่อนำไปสู่การหาขนาดของพารามิเตอร์ของสายอากาศหลายย่านความถี่ ที่ลักษณะเป็นสายอากาศรูปตัวที (T-Shape) และมีตัวปรับจูนรูปตัวยู (U-Shape) จากนั้นนำพารามิเตอร์ต่างๆไปจำลองผลหาขนาดที่เหมาะสมจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO [20] และเมื่อได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดแล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและทดสอบสายอากาศเพื่อยืนยันผลการจำลองและทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอในย่านความถี่ที่ใช้งานคือ 800 MHz 900 MHz 1800 MHz 2100 MHz และ 2400 MHz โดยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแสดงตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศที่นำเสนอ

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$L$	110	$l_0$	4
$W$	20	$l_1$	29
$T_{01}$	31.5	$l_2$	34.5
$T_{02}$	51	$r_0$	102
$T_{03}$	2	$r_1$	20

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศที่นำเสนอ (ต่อ)

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (mm)
$T_1$	54	$U_0$	55
$h_0$	5	$U_1$	16
$h_1$	10	$U_2$	2
$h_2$	1	$U_3$	5
$A$	6		

จากตารางที่ 6.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบที่ถูกสร้างและทดสอบ พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบสายอากาศหลายย่านความถี่ มี  $|S_{11}|$  ที่ต่ำกว่า -6 dB ที่ย่านความถี่ 800 MHz (824-894 MHz) 900 MHz (897.5-960 MHz) 1800 MHz (1710-1880 MHz) 2100 MHz (1920-2170 MHz) และ  $|S_{11}|$  ที่ต่ำกว่า -10 dB ที่ย่านความถี่ 2400 MHz (2400-2485 MHz) มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางและสอดคล้องกับผลการจำลอง

อัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 800 MHz เท่ากับ 1.834 dBi ความถี่ 900 MHz เท่ากับ 2.169 dBi ความถี่ 1800 MHz เท่ากับ 1.738 dBi ความถี่ 2100 MHz เท่ากับ 2.614 dBi และความถี่ 2400 MHz เท่ากับ 5.267 dBi

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากผลการวิเคราะห์และทดสอบสายอากาศหลายย่านความถี่สำหรับคอมพิวเตอร์พกพาเพื่อใช้งานในระบบ WiFi 2G และ 3G จะเห็นได้ว่าสามารถออกแบบเป็นสายอากาศย่านความถี่กว้างโดยใช้หลักการ  $\lambda$  ในปริภูมิพหุคูณฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบและทดสอบสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สนใจในการออกแบบสายอากาศเพื่อให้มีโครงสร้างที่ง่ายขึ้นและนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

## บรรณานุกรม

- [1] การติดต่อสื่อสาร, [online]. Available:  
<http://www.tice.ac.th/Online/Online2-2548/bussiness/nantapon/b5.htm>
- [2] รูปแบบการติดตั้งตามเทคโนโลยีเพื่อใช้งานเครือข่ายไร้สาย, [online]. Available:  
[http://www.rtafa.ac.th/cs/af\\_antenna/data/chapter%202.pdf](http://www.rtafa.ac.th/cs/af_antenna/data/chapter%202.pdf)
- [3] peer to peer, [online]. Available:  
<http://www.its.hku.hk/news/ccnews125/p2p.htm>
- [4] ระบบเครือข่ายไร้สาย, [online]. Available:  
[http://www.dol.go.th/it/index.php?option=com\\_content&task=view&id=115](http://www.dol.go.th/it/index.php?option=com_content&task=view&id=115)
- [5] ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN), [online]. Available:  
<http://www.cc.kmutt.ac.th/wireless/about.html>
- [6] มาตรฐานของ WLAN, [online]. Available:  
<http://www.phrae.mju.ac.th/ITS/page4.asp>
- [7] เทคโนโลยี 2G, [online]. Available:  
<http://www.thaibsd.com/webboard/show.php?Category=thaibsd&No=>
- [8] เทคโนโลยี 3G, [online]. Available:  
<http://www.chandra.ac.th/office/ict/project/3g%20technology/Content.php?node=1>
- [9] สายอากาศ, [online]. Available:  
[http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc\\_upload/20120306125657.pdf](http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/20120306125657.pdf)
- [10] สายอากาศไมโครสตริป, [online]. Available:  
<http://ir.rmuti.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/341/Chapter%202.pdf?sequence=5>
- [11] Omni polarization, [online]. Available:  
[http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc\\_upload/20120306125657.pdf](http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/20120306125657.pdf)
- [12] แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว, [online]. Available:  
[http://thaitelcomkm.org/TTE/topic/attach/Fundamental\\_of\\_Radio\\_Antenna/index.php](http://thaitelcomkm.org/TTE/topic/attach/Fundamental_of_Radio_Antenna/index.php)
- [13] โพลาริเซชัน, [online]. Available:  
[http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc\\_upload/20101008124858.pdf](http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/20101008124858.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] linear polarization, [online]. Available:  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html>
- [15] Chien-Wen Chiu and Yu-Jen Chi, " Printed Loop Antenna With a U-Shaped Tuning Element for Hepta-Band Laptop Applications," *IEEE Transaction on antennas and propagation*, Vol.58, No.11, 3464-3470, 2010.
- [16] Kin-Lu Wong and Li-Chun Lee, " Multiband Printed Monopole Slot Antenna for WWAN Operation in the Laptop Computer," *IEEE Transaction on antennas and propagation*, Vol.57, No.2, 324-330, 2009.
- [17] Shin-Hsun Chang and Wen-Jiao Liao, " A Broadband LTE/WWAN Antenna Design for Tablet PC," *IEEE Transaction on antennas and propagation*, Vol.60, No.9, 4354-4359, 2012.
- [18] Cheng-Chi Yu, Jiin-Hwa Yang, Chang-Chin Chen and Wen-Chao Hsieh, " A Compact Printed Multi-band Antenna for Laptop Applications," *PIERS Online*, Vol.7, No.7, 605-608, 2011.
- [19] H.-W. Liu, C.-M. Chiang and C.-F. Yang, " PLANAR MONOPOLE ANTENNA WITH TWO COUPLED STRIPS FOR INTERNAL EIGHT-BAND LTE/WWAN LAPTOP COMPUTER APPLICATION," *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol.29, 123-133, 2012.
- [20] CST-Microwave Studio, User's Manual, 2014.