

สายอากาศแบบระนาบสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย
PLANAR ANTENNA FOR WIRELESS WIDE AREA NETWORK

โดย
นายรัชพล ตั้งหลักชัย
นายรัชพล ปวราจารย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาโทรคมนาคม วิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

สายอากาศแบบระนาบสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย
PLANAR ANTENNA FOR WIRELESS WIDE AREA NETWORK

โดย
นาย รัชพล ตั้งหลักชัย
นาย รัชพล ปวรอาจารย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาโทรคมนาคม วิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

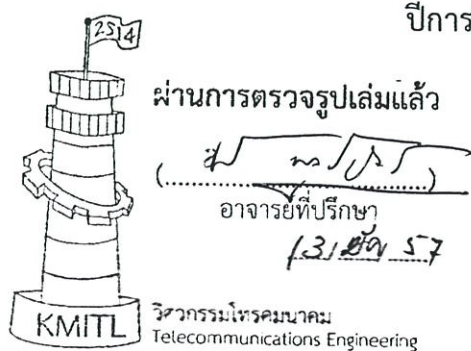
สายอากาศแบบระนาบสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย
PLANAR ANTENNA FOR WIRELESS WIDE AREA NETWORK

โดย

นายรัชพล ตั้งหลักชัย 53010723
นายรัชพล ปวรอาจารย์ 53010724

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556



โครงการปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

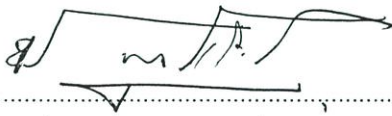
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศแบบระนาบสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย

PLANAR ANTENNA FOR WIRELESS WIDE AREA NETWORK

ผู้จัดทำ

1. นายรัชพล ตั้งหลักชัย 53010723
2. นายรัชพล ปวรอาจารย์ 53010724



(รศ.ดร.ชuwongk พงศ์เจริญพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากรองศาสตราจารย์ ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์และเป็นผู้ช่วยเหลือแนะนำทางการศึกษา รวมทั้งยังอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าอย่างดียิ่งตลอด ขอขอบคุณในความเมตตาจากห้องปฏิบัติการวิจัยสายอากาศ และประยุกต์แม่เหล็กไฟฟ้า (Antenna and Electromagnetics Applications Research Lab) ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์อันเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับงานของข้าพเจ้า ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ที่สนับสนุนทางการศึกษาของข้าพเจ้าที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณพี่ๆและสมาชิกในห้องปฏิบัติการวิจัยสายอากาศ และประยุกต์ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าทุกท่านสำหรับคำแนะนำ กำลังใจและข้อคิดดีๆตลอดช่วงเวลาที่ผ่านไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณคุณสิทธิชัย เค้นตรี และคุณบัญชา เหลืองแดงที่คอยแนะนำแนวทางตลอดจนแนวคิดในการทำงานรวมถึงการสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆด้าน และช่วยเหลือปริญญาานิพนธ์ของข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าทุกคน ที่มอบความปรารถนาดีอันเป็นกำลังใจที่สำคัญแก่ข้าพเจ้า อีกทั้งยังส่งเสริมทางการศึกษาของข้าพเจ้าอย่างดียิ่งรวมถึงให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่องของข้าพเจ้า จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงคุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย รัชพล ตั้งหลักชัย
นาย รัชพล ปวรอาจารย์
ผู้จัดทำ

สายอากาศแบบระนาบสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย
PLANAR ANTENNA FOR WIRELESS WIDE AREA
NETWORK

โดย นายอัชพล ตั้งหลักชัย 53010723
นายอัชพล ปวรจารย์ 53010724

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสายอากาศแบบระนาบสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย โดยสายอากาศที่นำเสนอในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ออกแบบสำหรับใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้งานในช่วงความถี่ที่ 850 900 1800 1900 และ 2100 MHz เพื่อให้ใช้งานได้ครอบคลุมทุกย่านความถี่โทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศ ตั้งแต่ความถี่ 824 MHz ถึง 960 MHz และ 1710 MHz ถึง 2170 MHz ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอนี้สร้างบนแผ่นพิมพ์ที่มีวัสดุไดอิเล็กตริกเป็น FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก เท่ากับ 4.3 และมีความหนา 0.8 mm ซึ่งเป็นขนาดที่หาง่ายและราคาถูก โดยที่ขนาดของสายอากาศที่นำเสนอthisมีความกว้าง 30 mm และยาว 115 mm โดยที่โครงสร้างของสายอากาศนี้มีโครงสร้างแบบหุกระต่าย และป้อนสัญญาณแบบดิสครีต 50 โอห์ม ซึ่งหลังจากการออกแบบได้จำลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และนำไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ เพื่อทำการทดสอบคุณลักษณะ และสุดท้ายเป็นการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอthisมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -6 dB ตั้งแต่ 814 MHz ถึง 989 MHz และ 1675 MHz ถึง 2172 MHz ส่วนอัตราขยายของสายอากาศที่นำเสนอthisมีอัตราขยายสูงสุด 4.28 dBi โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบรอบทิศทาง

ABSTRACT

This project presents a planar antenna operated for wireless wide area network and GSM mobile system at the frequency of 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz and 2100 MHz. The proposed antenna can operate for frequency from 824 MHz to 960 MHz and 1710 MHz to 2170 MHz. The antenna is printed on FR-4 substrate with thickness of 0.8 mm. The size of antenna is 30 mm x 115 mm. The antenna is formed to be Bow-Tie and fed by discrete port 50 ohms. The design is integrated into the antenna for simulated and measurement. Then characteristics of the proposed antenna is studied to validate. The $|S_{11}|$ of the proposed antenna is lower than -6 dB from 814 to 989 MHz and 1675 to 2172 MHz. The maximum gain of the antenna is 4.28 dBi and the radiation pattern is omnidirectional.

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	I
	บทคัดย่อ	II
	สารบัญ	IV
	สารบัญรูป	VII
	สารบัญตาราง	X
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1 บทนำ	3
	2.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	3
	2.2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เบื้องต้น	3
	2.2.2 เทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในยุคที่ 2 - 2.75	9
	2.2.3 เทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในยุคที่ 3	11
	2.2.4 เทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในยุคที่ 4	12
	2.2.5 คลื่นความถี่ใช้งานสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	13
	2.3 ทฤษฎีสายอากาศ	14
	2.3.1 สายอากาศไดโพล (Dipole)	14
	2.4 พารามิเตอร์สำคัญในการใช้งานสายอากาศ	15
	2.4.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)	15
	2.4.2 อัตราขยาย (Gain)	21
	2.4.3 การโพลาไรซ์	22
	2.4.4 ช่วงกว้างแถบความถี่ (Bandwidth)	25
	2.4.5 ฮาล์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ (Half-Power Beamwidth : HPBW)	26
	2.5 การส่งผ่านสัญญาณของฟรีส	26
	2.6 บทความวิจัยที่มีมาก่อน	28
	2.7 สรุป	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์	30
3.1 โครงสร้างสายอากาศ	30
3.2 การคำนวณและออกแบบสายอากาศ	31
3.2.1 การคำนวณค่าเริ่มต้นของสายอากาศ	31
3.2.2 การออกแบบสายอากาศ	33
3.3 การศึกษาค่าพารามิเตอร์	38
3.3.1 ความยาวของวัสดุฐานรอง	38
3.3.2 ความยาวของจุดป้อนสัญญาณ	39
3.3.3 ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ	40
3.3.4 ความกว้างของวัสดุฐานรอง	41
3.3.5 ความกว้างของจุดป้อนสัญญาณ	42
3.4 วงจรสมมูล	42
3.4.1 ปรับค่าความต้านทานของวงจรสมมูลของสายอากาศ	44
3.4.2 ปรับค่าความเหนี่ยวนำของวงจรสมมูลของสายอากาศ	45
3.4.3 ปรับค่าความจุของวงจรสมมูลของสายอากาศ	46
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	54
4.1 บทนำ	54
4.2 ผลการสร้างสายอากาศต้นแบบ	54
4.3 ผลการทดสอบ $ S_{11} $	55
4.4 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	56
4.5 ผลการทดสอบอัตราขยาย	59
4.6 ผลการทดสอบแมกนิจูด	59
4.7 ผลการทดสอบเฟส	60
4.8 อัตราขยายในการส่งผ่านโดยใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส	60
บทที่ 5	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผล	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	62

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม

หน้า

63

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สถานีเดียว	4
2.2	การจัดโครงสร้างของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์	5
2.3	การจัดแบ่งเซลล์	6
2.4	โครงสร้างของเครือข่าย GSM/DCS	8
2.5	การจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุสำหรับการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3	12
2.6	ขอบเขตการใช้งานร่วมกันของเทคโนโลยี 3G และ 4G	13
2.7	สายอากาศไดโพล	14
2.8	การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล	15
2.9	ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	16
2.10	รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบทิศทางรอบตัว	17
2.11	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร	18
2.12	ลำคลื่นต่างๆ และความกว้างลำสัญญาณของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	19
2.13	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในแบบเชิงเส้น	19
2.14	การแบ่งบริเวณสนามจากสายอากาศ	20
2.15	การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแนวระนาบที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในระนาบ $Z=0$	23
2.16	หน่วยเวกเตอร์โพลาไรเซชันของคลื่นและสายอากาศ	25
2.17	ตัวอย่างบีมิวิตซ์ของสายอากาศ ยากิอุดะ 3 อีลีเมนต์	26
2.18	มุมมองด้านหน้าสายอากาศต้นแบบ	28
2.19	มุมมองด้านหลังสายอากาศต้นแบบ	29
3.1	โครงสร้างของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย	30
3.2	โครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น	33
3.3	$ S_{11} $ จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น	34
3.4	โครงสร้างสายอากาศที่ทำการเพิ่มจุดป้อนสัญญาณ	35
3.5	$ S_{11} $ จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศที่ทำการเพิ่มจุดป้อนสัญญาณ	36
3.6	โครงสร้างสายอากาศที่ปรับลดขนาด	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.7	$ S_{11} $ จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศที่ปรับลดขนาด	37
3.8	$ S_{11} $ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความยาวของวัสดุฐานรอง	38
3.9	$ S_{11} $ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความยาวของจุดป้อนสัญญาณ	39
3.10	$ S_{11} $ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ	40
3.11	$ S_{11} $ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความกว้างของวัสดุฐานรอง	41
3.12	$ S_{11} $ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความกว้างของจุดป้อนสัญญาณ	42
3.13	การเปรียบเทียบโครงสร้าง และวงจรสมมูลของสายอากาศ	43
3.14	วงจรสมมูลของสายอากาศในโปรแกรมจำลอง	43
3.15	$ S_{11} $ ที่ได้จากการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศ	44
3.16	$ S_{11} $ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า $R1$	44
3.17	$ S_{11} $ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า $R2$	45
3.18	$ S_{11} $ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า $L1$	45
3.19	$ S_{11} $ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า $L2$	46
3.20	$ S_{11} $ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า Ca	47
3.21	$ S_{11} $ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า Cb	47
3.22	$ S_{11} $ ของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย	48
3.23	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 859 MHz	49
3.24	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 920 MHz	49
3.25	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 1795 MHz	50
3.26	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 1920 MHz	50
3.27	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2045 MHz	51
3.28	อัตราขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ 850 และ 900 MHz	51
3.29	อัตราขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ 1800 1900 และ 2100 MHz	52
4.1	ภาพถ่ายสายอากาศต้นแบบ	54
4.2	$ S_{11} $ ที่ได้จากการจำลองและการทดสอบ	55
4.3	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 859 MHz จากการจำลองและการทดสอบ	56
4.4	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 920 MHz จากการจำลองและการทดสอบ	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 1795 MHz จากการจำลองและการทดสอบ	57
4.6	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 1920 MHz จากการจำลองและการทดสอบ	58
4.7	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2045 MHz จากการจำลองและการทดสอบ	58
4.8	แมกนิจูดที่ได้จากการทดสอบ	59
4.9	เฟสที่ได้จากการทดสอบ	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	คลื่นความถี่สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM และ 3G (UMTS)	13
3.1	พารามิเตอร์ของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย	31
3.2	พารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้น	34
3.3	พารามิเตอร์ของสายอากาศที่เพิ่มจุดบ่อนสัญญาณ	35
3.4	พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ปรับลดขนาด	37
3.5	สรุปคุณลักษณะของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย	53
4.1	พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ	55
4.2	อัตราขยายที่ความถี่กลางในแต่ละย่านความถี่จากการจำลองและการทดสอบ	59
4.3	อัตราขยายที่ความถี่กลางในแต่ละย่านความถี่จากการคำนวณ	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตการติดต่อสื่อสารนั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างกลุ่มหรือภายในชุมชนเดียวกัน ต่อจากนั้นได้มีการพัฒนาการติดต่อสื่อสาร เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารข้ามกลุ่มหรือชุมชนเพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วขึ้น ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาการติดต่อสื่อสารได้ถูกพัฒนามาเป็นการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำให้เข้าถึงข้อมูลสื่อสารได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ซึ่งการติดต่อสื่อสารไร้สายถูกนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์พกพา เช่น คอมพิวเตอร์พกพา โทรศัพท์เคลื่อนที่ แท็บเล็ต เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์พกพาที่คนส่วนใหญ่นิยมพกพา คือ โทรศัพท์เคลื่อนที่ เพราะ มีขนาดเล็ก พกพาได้สะดวก และสามารถตอบสนองความต้องการต่อผู้ใช้งานใกล้เคียงคอมพิวเตอร์พกพาและแท็บเล็ต โดยการประยุกต์ใช้งานระบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้มีการพัฒนาในแต่ละยุคดังนี้

ยุคที่ 1 เป็นการสื่อสารระบบอนาล็อกโดยการสื่อสารในยุคนั้นมุ่งเน้นเพื่อการรับส่งสัญญาณเสียงและการสื่อสารดิจิทัลในการรับส่งสัญญาณควบคุม โดยสัญญาณเสียงจะถูกทำการผสมสัญญาณกับคลื่นพาห์และส่งออกอากาศ

ยุคที่ 2 นอกจากการสื่อสารด้วยเสียงเพียงอย่างเดียวในยุคนั้นในยุคนั้นยังให้บริการส่งข้อความสั้น (Short Message Server: SMS) และ บริการการสื่อสารข้อมูลดิจิทัล ซึ่งสามารถส่งข้อมูลดิจิทัลหลายประเภทเช่น ข้อมูลดิจิทัลจากคอมพิวเตอร์ ข้อมูลภาพนิ่ง เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่พัฒนาต่อจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 คือ GPRS (General Packet Radio Service) และ EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามมาตรฐาน GSM การให้บริการของระบบ GPRS และ EDGE ที่เพิ่มเติมจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM คือ การให้บริการโปรแกรมประยุกต์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

ยุคที่ 3 ให้บริการสื่อสารข้อมูลเสียงโดยการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและได้เพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลดิจิทัลสูงถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 นี้สามารถให้บริการสื่อสารมัลติมีเดียซึ่งรวมถึงข้อมูลเสียงและภาพเคลื่อนไหวด้วย เทคโนโลยีที่ใช้เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ได้แก่ เทคโนโลยี WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) และ เทคโนโลยี CDMA2000 (3xRTT)

ยุคที่ 4 ให้บริการการสื่อสารมัลติมีเดียเช่น ข้อมูลภาพเคลื่อนไหว การให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง เป็นต้น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่พัฒนาในด้านของความเร็วการส่งข้อมูลและการรวมเชื่อมต่อเครือข่ายด้วยโปรโตคอลไอพีเพื่อให้เป็นเทคโนโลยี แบบหนึ่งเดียว การให้บริการหลักของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 จะเป็นการ

ให้บริการโปรแกรมประยุกต์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นหลัก ซึ่งสามารถให้บริการข้อมูลมัลติมีเดีย เทคโนโลยีที่จะเป็นทางเลือกสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 คือ LTE (Long Term Evolution) และ WiMAX

สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันสามารถรองรับเทคโนโลยี 2G 3G และ LTE ซึ่งมีการทำงานในย่านความถี่ 850 900 1800 1900 และ 2100 MHz โดยอุปกรณ์ที่สำคัญในการรับสัญญาณดังกล่าว คือ สายอากาศ สำหรับสายอากาศที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยมากจะเป็นสายอากาศขนาดเล็กไมโครสตริป สายอากาศไดโพลแบบระนาบ เนื่องจากสายอากาศเหล่านี้มีข้อดีที่ สัมฐานต่ำ ขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ และง่ายต่อการนำไปติดตั้งในอุปกรณ์ที่ต้องการประยุกต์ใช้งาน นอกจากนี้คุณสมบัติของสายอากาศระนาบแผ่นพิมพ์นั้น สายอากาศสามารถทำงานในย่านความถี่กว้าง และสามารถให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ซึ่งในปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเอาข้อดีของสายอากาศไดโพลแบบระนาบมาใช้ในการออกแบบสายอากาศสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ย่านความถี่ 850 900 1800 1900 และ 2100 MHz รองรับเทคโนโลยี 2G 3G และ LTE

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาและออกแบบสายอากาศในย่านความถี่ 850 900 1800 1900 และ 2100 MHz
- 2) เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม CST Microwave Studio สำหรับการจำลองสายอากาศ
- 3) เพื่อทำการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยาย และ $|S_{11}|$
- 4) เพื่อประยุกต์ใช้งานสายอากาศกับเทคโนโลยี 2G 3G และ LTE

1.3 ขอบเขตของปฏิญานีพนธ์

สายอากาศที่ออกแบบสามารถตอบสนองการใช้งานได้ในย่านความถี่ 850 900 1800 1900 และ 2100 MHz โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio สำหรับทำการจำลองสายอากาศ จากนั้นสร้างสายอากาศต้นแบบ และทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยาย และ $|S_{11}|$ ให้มีผลการทดลองเป็นไปตามโปรแกรมดังกล่าว เพื่อสามารถประยุกต์ใช้งานสายอากาศกับเทคโนโลยี 2G 3G และ LTE ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

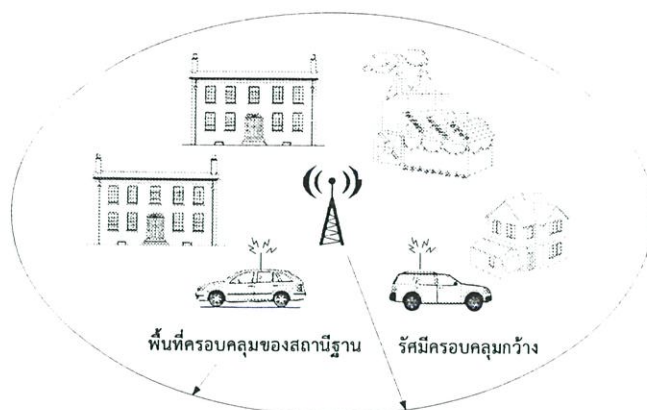
2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงความเป็นมา ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการทั่วไปของระบบการติดต่อสื่อสารในระบบ 2G 3G และ LTE โดยนำเสนอทฤษฎีของสายอากาศที่เกี่ยวข้อง พารามิเตอร์สำคัญในการใช้งานสายอากาศ บทความวิจัยที่มีมาก่อน และทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบ 2G 3G และ LTE

2.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เบื้องต้น

มาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีออกมามากมายไม่ว่าจะเป็น ระบบ GSM ซึ่งใช้คลื่นความถี่ย่าน 900 MHz หรือระบบ PCN นั้นมีชื่อเรียกว่า DCS (Digital Cellular System) ที่มีทั้งชนิดที่ใช้ความถี่ย่าน 1800 MHz และ 1900 MHz ซึ่งในความเป็นจริงแล้วมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้ง 3 ชนิด ต่างก็เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยมาตรฐาน DCS ได้ถูกกำหนดขึ้นหลังจากที่พบว่า ในย่านความถี่ 900 MHz ที่มีการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุโรป ช่องสัญญาณเริ่มไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นผู้ให้บริการโทรศัพท์จึงรวมตัวกันเสนอให้ ETSI หรือ European Telecommunications Standards Institute ซึ่งเป็นผู้ออกแบบมาตรฐานเครือข่าย GSM กำหนดมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ในย่านความถี่เพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้เกิดมาตรฐาน DCS-1800 ขึ้น และหลังจากนั้นไม่นานได้เกิดเหตุการณ์เดียวกันนี้ขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำให้เกิดอีกหนึ่งมาตรฐานขึ้นคือ มาตรฐาน DCS-1900 หรือนิยมเรียกว่า PCN-1900 สำหรับทั้ง 3 มาตรฐานที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ทั้งสามมาตรฐานใช้มาตรฐานของระบบสัญญาณสัญญาณและการเชื่อมต่อสัญญาณเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย



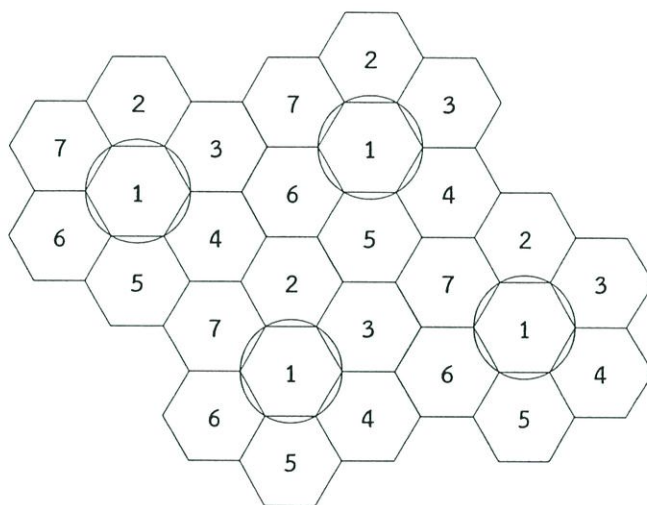
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สถานีเดียว [1]

โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคแรกนั้นแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งใช้สถานีฐานเพียงสถานีเดียวส่งกำลังส่งที่สูง เพื่อครอบคลุมเมืองทั้งเมือง สถานีฐานอาจจะส่งความถี่ออกไปได้หลายความถี่ เครื่องลูกข่ายในระยะแรกเป็นเครื่องลูกข่ายประเภทติดตั้งในรถยนต์มีกำลังส่งสูง

เช่นเดียวกัน มีการออกแบบระบบในลักษณะดังกล่าวมีผลเสียหลายประการ เช่น สิ้นเปลืองพลังงานมากทั้งสำหรับจ่ายให้สถานีฐานและสำหรับเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง นอกจากนี้ สถานีฐานที่มีการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งสูง บางครั้งทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณกับสถานีฐานของเมืองที่อยู่ข้างเคียง นอกจากนั้นในกรณีที่เครื่องลูกข่ายมีเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่ให้บริการไปยังพื้นที่ของสถานีฐานต่างเมืองก็ไม่สามารถที่จะติดต่อสื่อสารได้ เนื่องจากไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานต่างเมืองกันปัญหาอีกประการหนึ่ง คือ สถานีฐานแต่ละสถานีรองรับผู้ใช้บริการได้จำนวนจำกัด

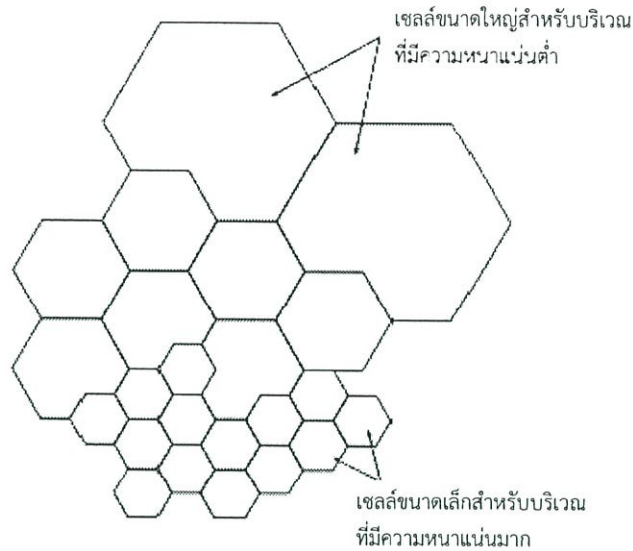
เมื่อความต้องการใช้งานโทรศัพท์มีมากขึ้นความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการมีไม่เพียงพอทำให้เกิดแรงผลักดันให้มีการออกแบบโครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นใหม่ ส่งผลให้เกิดระบบเคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ขึ้น โดยมีการแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ และควบคุมด้วยสถานีฐานที่กำลังส่งไม่สูงนัก เรียกพื้นที่ดังกล่าวว่า เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์ที่อยู่ติดกันถูกกำหนดให้ใช้ความถี่ต่างๆกันไป โดยเซลล์ที่อยู่ห่างกันในระยะหนึ่งสามารถใช้ความถี่ซ้ำกันได้ และนอกจากนี้เครื่องลูกข่ายยังสามารถเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ต่างๆดังรูปที่ 2.15 ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมให้การติดต่อสื่อสารบนพื้นฐานของระบบเซลลูลาร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นจะต้องเป็นไปตามกฎข้อบังคับต่อไปนี้

1. สามารถใช้ความถี่ซ้ำได้เฉพาะบางรูปแบบเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรบกวนกันระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่งเซลล์ที่อยู่ติดกันจะใช้ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกันมากไม่ได้
2. กำลังส่งของสถานีฐานภายในแต่ละเซลล์จะต้องได้รับการควบคุมไม่ให้ความแรงมากเกินไปเพราะอาจจะส่งผลให้รบกวนเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันซึ่งอยู่ห่างออกไปได้
3. วงจรกรองความถี่สัญญาณทั้งของเครื่องลูกข่ายและสถานีฐานจะต้องมีความคมมาก ๆ



รูปที่ 2.2 การจัดโครงสร้างของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ [1]

สำหรับรูปแบบการจัดวางความถี่ซ้ำของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์นั้นจะเป็นแบบซ้ำทุก 7 เซลล์ (seven - cell reuse pattern) ซึ่งจำกัดระดับของสัญญาณรบกวนระหว่างเซลล์ไว้ที่ระดับหนึ่ง ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพเสียงการสนทนา โดยทั่วไประยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันจะมีค่าประมาณเท่ากับ 2.5 ถึง 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์นั้นๆ



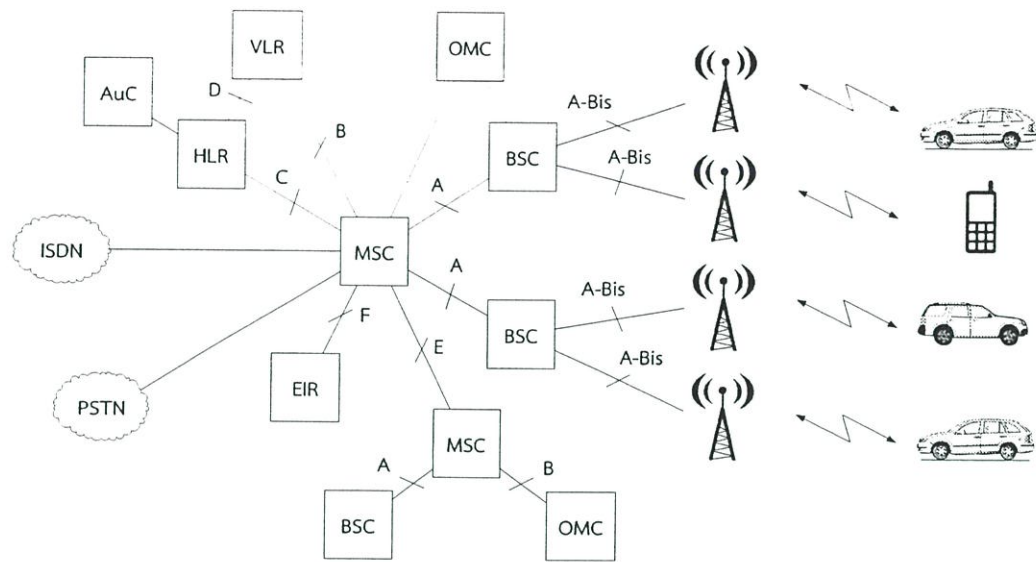
รูปที่ 2.3 การจัดแบ่งเซลล์ [1]

หากจะพิจารณาความหนาแน่นของประชากรในแต่ละพื้นที่จะพบว่ามีความหนาแน่นไม่เท่ากัน การออกแบบเซลล์แต่ละเซลล์จึงไม่จำเป็นต้องให้มีขนาดเท่ากันในทุกพื้นที่ พื้นที่ที่มีประชากรอยู่หนาแน่นควรจะออกแบบให้เซลล์มีขนาดเล็ก จะได้ทำให้มีเซลล์จำนวนมากครอบคลุมพื้นที่นั้นอันเป็นการเพิ่มความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการโดยทางอ้อม สำหรับพื้นที่ที่ประชากรไม่หนาแน่นมากนักก็อาจออกแบบให้เซลล์ในบริเวณนั้นมีขนาดใหญ่เพื่อจะได้ไม่เกิดความสิ้นเปลืองในการติดตั้งสถานีฐานมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ในกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้น ความหนาแน่นของผู้ใช้บริการภายในเครือข่ายก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วยโดยปริยาย ทำให้ผู้ออกแบบระบบจำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มความสามารถในการรองรับซึ่งจะขอเรียกว่า ความจุของระบบ วิธีการที่ง่ายที่สุดก็คือการแบ่งย่อยขนาดของพื้นที่เซลล์ให้กลายเป็นเซลล์ย่อยจำนวนหลายๆ เซลล์ ส่งผลให้เพิ่มความจุของระบบให้มากขึ้น(จำนวนเซลล์มากขึ้นในขณะที่ความจุต่อเซลล์เท่าเดิม) เรียกเทคนิคดังกล่าวว่าการแบ่งเซลล์ (Cell Splitting) แสดงดังรูปที่ 2.16 ผลที่เกิดขึ้นจากการแบ่งเซลล์ คือ สามารถลดกำลังส่งของสถานีฐานลง ซึ่งช่วยให้ประหยัดกำลังงานและในส่วนของผู้ใช้บริการก็สามารถใช้เครื่องลูกข่ายที่มีแบตเตอรี่ขนาดเล็กได้ ขนาดของเครื่องลูกข่ายก็สามารถถูกออกแบบให้เล็กลงได้ หรือในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่เท่าเดิมก็จะเป็นผลในแง่ของอายุการใช้งานที่มากขึ้น ทั้งสองข้อต่างก็เป็นจุดดึงดูดความสนใจให้มีการใช้เครือข่ายมากขึ้น

2.2.1.1 โครงสร้างเครือข่าย GSM

หลักการประการสำคัญของการออกแบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็คือ การทำให้ผู้ใช้บริการสามารถโทรศัพท์ออกไปยังเลขหมายอื่นได้ ไม่ว่าจะเป็นเลขหมายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน ทำให้ต้องเกิดมีการเชื่อมต่อกันระหว่างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละระบบเข้าด้วยกัน และระหว่างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ากับเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM ยังได้รับการออกแบบให้สนับสนุนการโรมมิ่งระหว่างประเทศ (International Roaming) หรือการนำเครื่องลูกข่ายไปใช้งานในเครือข่ายอื่น ณ ต่างประเทศ สิ่งสำคัญก็คือ ผู้ใช้บริการจะต้องสามารถโทรออกได้และรับสายเรียกเข้าได้ ไม่ว่าตนหรือคู่สนทนาจะอยู่ที่ใดก็ตาม

ความต้องการอันหลากหลายดังกล่าว ทำให้เครือข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ GSM ถูกออกแบบขึ้น โดยประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ หลายประเภท อุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบอนาล็อก อุปกรณ์บางชนิดได้รับการออกแบบขึ้นใหม่ นอกจากนี้ยังมีการออกแบบมาตรการรักษาความปลอดภัยให้กับผู้ใช้บริการขึ้น เริ่มตั้งแต่ การป้องกันการลักลอบใช้โทรศัพท์ การดักฟังการสนทนาทางคลื่นวิทยุ การลักลอบสำเนาเลขหมายเครื่อง เป็นต้น ในแง่ของการรองรับบริการพิเศษและบริการเสริมต่างๆ เครือข่าย GSM ก็ได้รับการออกแบบให้ใช้มาตรฐานสัญญาณเชื่อมต่อที่สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ต่อพ่วงพิเศษอื่นๆ เช่น ระบบไปรษณีย์เสียง (Voice Mail System) ศูนย์รับส่งข้อความ (Short Message Service Center) ระบบเครือข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network) ไปจนถึงการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครือข่าย ISDN สำหรับส่วนประกอบพื้นฐานของเครือข่าย GSM และ DCS ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเครือข่าย GSM/DCS [1]

2.2.1.2 ส่วนประกอบของเครือข่าย GSM

1) ระบบการสวิตช์ (Switching System : SS)

- Mobile service Switching Center (MSC) คือ ชุมสายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM มีหน้าที่ควบคุมระบบและคิดเงินค่าใช้บริการ
- Home Location Register (HLR) คือ ฐานข้อมูลใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับชื่อ และที่อยู่ของเจ้าของโทรศัพท์เพื่อใช้ในการเก็บเงินค่าบริการ นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ MSC ไหน การติดตั้ง HLR อาจติดตั้งอยู่ร่วมกับ MSC หรือแยกกันก็ได้
- Visitor Location Register (VLR) เป็นฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เข้ามาอยู่ในชุมสายนี้ ในการติดตั้ง VLR ส่วนใหญ่จะติดตั้งร่วมกับ MSC
- Authentication Center (AUC) ใช้สำหรับเก็บ Authentication เพื่อตรวจสอบว่าผู้ใช้โทรศัพท์ได้ลงทะเบียนอย่างถูกต้องหรือไม่ และ encryption parameter ซึ่งใช้สำหรับระบบการป้องกันการดักฟัง
- Equipment Identity Register (EIR) คือ ฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลระบุตัวตนของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อป้องกันไม่ให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่ลงทะเบียน หรือได้มาอย่างไม่ถูกต้องตาม

กฎหมายเข้ามาใช้งานในระบบได้ การติดตั้ง EIR ส่วนใหญ่จะอยู่รวมกับ AUC

2) ระบบสถานีฐาน (Base station System : BSS)

- Base Station Controller (BSC) ทำหน้าที่ ตรวจสอบและควบคุมการทำงานของ BTS อีกที โดย BSC1 /1 ตัวสามารถที่จะดูแล BTS ได้หลายๆตัว
- Base Transceiver station (BTS) โดย MSC แต่ละ MSC จะควบคุม BSC 1 BSC หรือมากกว่า และในแต่ละ BSC จะควบคุม BTS หลายๆ BTS ส่วน BSC นั้นคือชุมสายหนึ่งที่ทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับคลื่นวิทยุในระบบ เช่นควบคุมการ Handover จัดการเกี่ยวกับช่องสัญญาณวิทยุต่างๆ และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์ นอกจากนี้ยังควบคุมกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่

3) ระบบการทำงานและระบบการสนับสนุน (Operation and Support System : OSS)

- มีหน้าที่ในการควบคุมและรายงานสถานะภาพของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ เช่นตรวจเช็คความผิดปกติอะไรที่เกิดขึ้น และความรุนแรงมากแค่ไหน จากนั้นจะส่ง Alarm ไปยัง OMC (Operation and Maintenance Center)

2.2.2 เทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในยุคที่ 2 - 2.75

เมื่อก้าวเข้าสู่ยุคที่ 2.5 ของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วโลก เกิดความตื่นตัวในองค์กรธุรกิจต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต บรรดานักพัฒนาเว็บไซต์ รวมไปถึงผู้ประกอบการบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากแรงผลักดันทางการตลาด ผสมกับความคลาดหวังของผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยทั่วไป ถึงขีดความสามารถของเทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการให้บริการสื่อสารข้อมูลอัตราเร็วสูงที่มีเพิ่มขึ้นนอกเหนือไปจากบริการเชื่อมต่อเพื่อการสนทนาตามปกติ เทคโนโลยี GPRS ถือเป็นวิวัฒนาการอีกขั้นหนึ่งของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ในการนำเสนอรูปแบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความลงตัวทั้งทางด้านเทคนิคและด้านการประยุกต์ใช้งานโดยผู้ให้บริการทั่วไป ซึ่งนิยมในการอ้างอิงนั้นกำหนดโดยใช้ช่วงเวลาที่ใช้เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 2 อันได้แก่ มาตรฐาน GSM CDMA และ IS-136 ได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมขีดความสามารถในการให้บริการมากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงมาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (900 / 1800 / 1900) ก็พบว่าในยุคที่ 2.5 นั้นได้มีการนำเสนอรูปแบบใหม่ของการบริการ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานให้กับ

ผู้ใช้บริการมากขึ้นบริการและขีดความสามารถใหม่ๆ เฉพาะของเครือข่าย GSM ที่มีใช้งานในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้

- Enhance Full Rate เป็นเทคโนโลยีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงพูด ซึ่งเพิ่มระดับคุณภาพความคมชัดของการรับฟังสัญญาณเสียงพูดผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM โดยทำให้มีคุณภาพทัดเทียมกับในมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA
- Multi - mode Terminal Equipment เป็นการนำเสนอเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ที่สามารถนำไปใช้งานกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดอื่นๆ เช่น CDMA IS - 136 หรือแม้กระทั่งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านดาวเทียมได้ ส่งผลให้ผู้ใช้บริการสามารถนำเครื่องลูกข่ายไปใช้งานที่ใดในโลกก็ได้
- ASCI (Advanced Speech Call Item) และ CAMEL (Customized Applications for Mobile Network Enhanced Logic) เป็นขีดความสามารถใหม่ๆ ที่ได้รับการเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มศักยภาพในการให้บริการแก่ผู้ใช้บริการทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นสำหรับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM สำหรับรถไฟความเร็วสูง หรือการเสริมความสามารถให้กับเทคโนโลยีเครือข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network)
- Mobile Computing / Internet Access เป็นการเสริมความสามารถในการรับส่งข้อมูล โดยพุ่งประเด็นไปที่การออกแบบพัฒนาระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครื่องลูกข่าย ให้มีความพร้อมในการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานและสามารถคิดค่าใช้จ่ายได้ตามปริมาณข้อมูลจริง ทั้งนี้มีการกำหนดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลชนิดใหม่ๆ ขึ้นบนมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีล้วนมีจุดหมายปลายทางเดียวกัน คือ การเพิ่มอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM

เมื่อพิจารณาเฉพาะประเด็นของการสื่อสารข้อมูลอัตราเร็วสูง ทั้งที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM และมาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่อื่นๆ ที่อยู่ในยุคที่ 2 จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันมีมาตรฐานหลายมาตรฐานให้กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วโลก เบื้องต้นจะขอกล่าวถึงเทคโนโลยีที่ถูกใช้งานในประเทศเป็นหลัก 2 เทคโนโลยีดังนี้

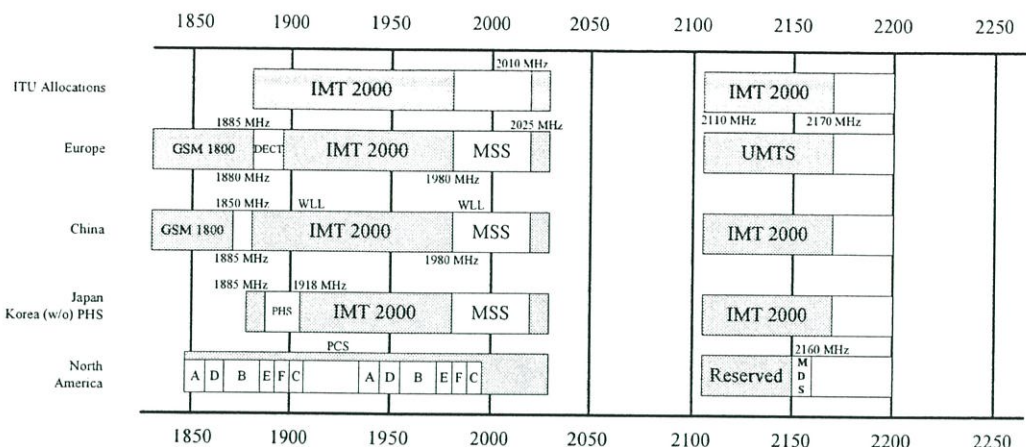
- เทคโนโลยี GPRS (Generic Packer Radio Service) เนื่องจากเทคโนโลยี HSCSD นั้นถือเป็นเพียงทางออกชั่วคราว อันเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับเปิดให้บริการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ด้วยอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล 14.4 กิโลบิตต่อวินาที ผ่านเครือข่าย GSM ซึ่งถือว่าเป็นอัตราเร็วที่ไม่สูงมากนัก ประกอบกับทั้งรูปแบบในการบันทึกและคิดค่าใช้จ่ายการเชื่อมต่อวงจรเพื่อรับส่งข้อมูล ซึ่งยังคงเป็นแบบสวิตซ์วงจร (Circuit Switched) ที่ไม่เป็นธรรมต่อผู้ใช้บริการ GPRS ถือเป็นผลงานของ ETSI (European Telecommunication Standard Institute) ซึ่งเป็นองค์กรทางโทรคมนาคมในยุโรปที่ให้กำเนิดมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM

โดย GPRS เป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมที่ถูกสร้างขึ้นสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เพื่อการรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดถึง 171.2 กิโลบิตต่อวินาที หัวใจสำคัญของเทคโนโลยี GPRS ก็คือการนำเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเกต (Packet Switched) มาผสมผสานกับการทำงานแบบสวิตซ์วงจรบนเครือข่าย GSM ทั้งนี้มีการปรับปรุงมาตรฐานการสื่อสารทางคลื่นวิทยุระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM โดยเน้นว่าสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วจะต้องสามารถรองรับบริการทั้งกับเครื่องลูกข่ายแบบ GSM ทั่วไปและเครื่องลูกข่ายที่สนับสนุนเทคโนโลยี GPRS ได้พร้อมๆกัน

- เทคโนโลยี EDGE (Enhance Data Rates for Global Evolution) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาจากหน่วยงาน ETSI โดยมีการกำหนดเป้าหมายให้เป็นก้าวต่อไปของพัฒนาการทางเทคนิคสำหรับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เพื่อรองรับการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงขึ้นถึง 473 กิโลบิตต่อวินาที อย่างไรก็ตามในการพัฒนาเครือข่าย GSM หรือ GPRS ให้รองรับเทคโนโลยี EDGE จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนที่สูงมาก

2.2.3 เทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในยุคที่ 3

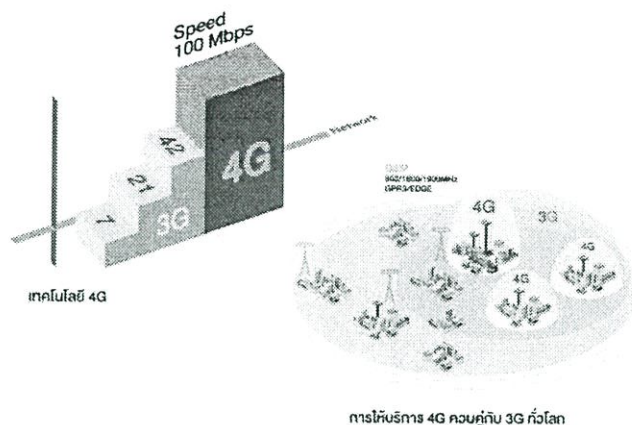
หลังจากที่ผ่านเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 2 มาแล้วจะพบว่าความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นนั้นคือการใช้งานกับระบบที่ตอบสนองความรวดเร็วในการรับส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานกับอุปกรณ์สมัยใหม่ที่สามารถรับส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียงในระบบไร้สายความเร็วสูงที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นการดูหนัง ฟังเพลง หรือแม้แต่การสนทนาในรูปแบบวิดีโอ ในยุคที่ 3 นี้ได้เกิดเทคโนโลยีที่ชื่อว่า UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนามาจาก ระบบมาตรฐานคลื่นความถี่ GSM ที่มีเทคโนโลยี W-CDMA ซึ่งต่อมาได้พัฒนาไปเป็น HAPDA+ จากรูปที่ 2.20 ได้แสดงถึงการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ของแต่ละประเทศ ซึ่งในแต่ละประเทศมีการใช้งานในแต่ละย่านความถี่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่มีการใช้งานในย่าน 1900 MHz และ 2100 MHz ซึ่งเป็นความถี่วิทยุในย่านเดียวกันกับระบบ 3G ที่ได้เกิดขึ้นแล้วในประเทศไทยเมื่อต้นปี พ.ศ. 2556



รูปที่ 2.5 การจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุสำหรับการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 [2]

2.2.4 เทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในยุคที่ 4

การสื่อสารไร้สายความเร็วสูงในยุคที่ 4 นี้ ได้กำเนิดเทคโนโลยีที่เรียกว่า LTE (Long Term Evolution) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดข้อจำกัดการรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีที่ GSM GPRS และ EGDE ที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน โดยได้เกิดจากความร่วมมือของ 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ซึ่งเทคโนโลยี LTE นี้จะเพิ่มความสามารถในการรับส่งข้อมูลมากกว่ายุคที่ 3 ถึง 10 เท่าด้วยความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้นถึง 100 Mbps จะเห็นได้ว่าความเร็วที่มากขึ้นนี้เองที่ช่วยตอบสนองผู้ใช้ได้อย่างดี สำหรับในประเทศไทยนั้นได้มีผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ทดสอบการใช้งานเทคโนโลยี LTE ที่ย่านความถี่ 1800 MHz และ 2300 MHz ในปี พ.ศ. 2555 และในปี พ.ศ. 2556 ได้มีผู้ให้บริการบางรายได้ให้บริการเทคโนโลยี LTE บนคลื่นความถี่ 2100 MHz ในบางพื้นที่แล้วแต่ก็ยังไม่แพร่หลาย ซึ่งในปัจจุบันนี้ประเทศไทยก็ยังใช้เทคโนโลยีในยุค ที่ 2 3 และ 4 ดังแสดงให้เห็นตัวอย่างดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขอบเขตการใช้งานร่วมกันของเทคโนโลยี 3G และ 4G [3]

2.2.5 คลื่นความถี่ใช้งานสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

เทคโนโลยีสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละยุค ตั้งแต่ 1G 2G 3G และ 4G ที่กำลังมาถึงในอนาคตนี้ต่างต้องพึ่งพาคลื่นความถี่สำหรับการ รับส่งข้อมูลไม่ว่าจะเป็น เสียง ข้อความ หรือข้อมูลต่างๆ สำหรับในประเทศไทยนั้นได้มีการกำหนดให้ใช้คลื่นความถี่สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ไว้ตามมาตรฐานของ ITU (International Telecommunication Union) หรือสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศซึ่งได้กำหนดการใช้งานคลื่นความถี่ไว้ดังสรุปในตารางที่ 2.1 [4]

ตารางที่ 2.1 คลื่นความถี่สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM และ 3G (UMTS) [3]

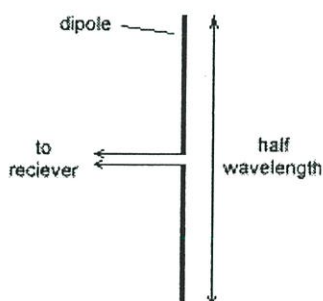
System	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Region
GSM 850	824-849	869-894	สหรัฐอเมริกา
(E)-GSM900	880-914.8	925-959.8	ยุโรป เอเชีย โอเชียเนีย
GSM 1800	1710.2-1784.8	1805.2-1879.8	ยุโรป เอเชีย โอเชียเนีย
GSM 1900	1850-1910	1930-1990	สหรัฐอเมริกา

UMTS Band 1	1920-1980	2110-2170	ยุโรป เอเชีย แอฟริกา บราซิล โอเชียเนีย
UMTS Band 2	1850-1910	1930-1990	สหรัฐอเมริกา
UMTS Band 5	824-849	869-894	สหรัฐอเมริกา โอเชียเนีย

2.3 ทฤษฎีสายอากาศ

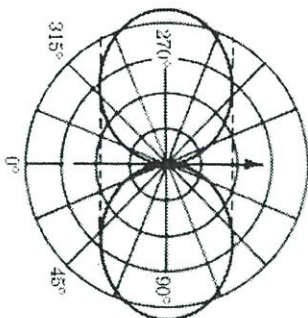
2.3.1 สายอากาศไดโพล (Dipole)

สายอากาศไดโพลบางครั้งเราจะเรียกว่า สายอากาศแบบ Hertz หรือ Hertzian เพราะว่าสายอากาศแบบนี้ถูก ค้นพบโดย Heinrich Rudolph Hertz เมื่อประมาณปี 1886 สายอากาศแบบ half-wavelength dipole เป็นสายอากาศแบบ สมดุล (balanced) ประกอบด้วย ส่วนที่แพร่กระจายคลื่น 2 ส่วน แต่ละส่วนจะมีความยาว $1/4$ ของความยาวคลื่น (quarter-wavelength) เมื่อรวมทั้งสองข้างก็จะเท่ากับ $1/2$ ความยาวคลื่น (half-wavelength) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สายอากาศไดโพล

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ไดโพล แบบ half-wavelength เมื่อวางสายอากาศในแนวนอน จะเห็นว่าสายอากาศไดโพล แบบ half-wavelength จะมีการแพร่กระจายคลื่นออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ คลื่นจะแพร่ออกทางด้านข้างของตัวนำ ส่วนหัวและท้าย จะไม่มีการแพร่ออกมาหรือออกมาน้อยมาก ดังรูปที่ 2.8

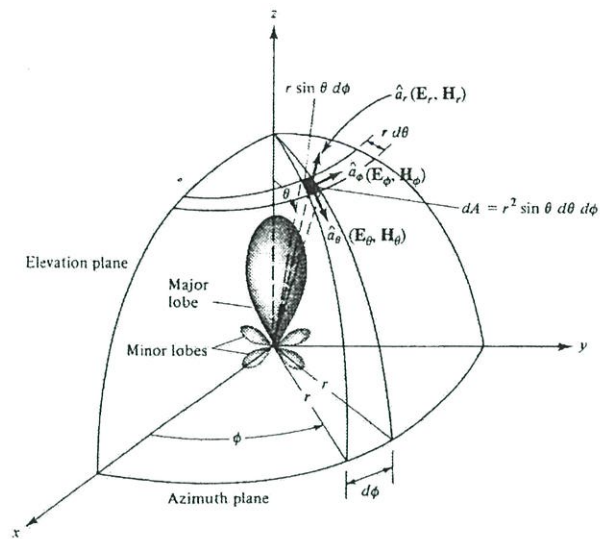


รูปที่ 2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล [4]

2.4 พารามิเตอร์สำคัญในการใช้งานสายอากาศ

2.4.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศ คือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ หรือ แสดงโดยเส้นที่สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการแพร่กระจายของสายอากาศตามฟังก์ชันของสเปซโคออร์ดิเนต (Space Coordinates) ส่วนมากในกรณีของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้จะกำหนดการคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far-Field) และแสดงให้เห็นเช่นเดียวกับฟังก์ชันตามทิศทางของโคออร์ดิเนต คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยกำลังความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็ก (Flux) ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือการโพลาริซ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่

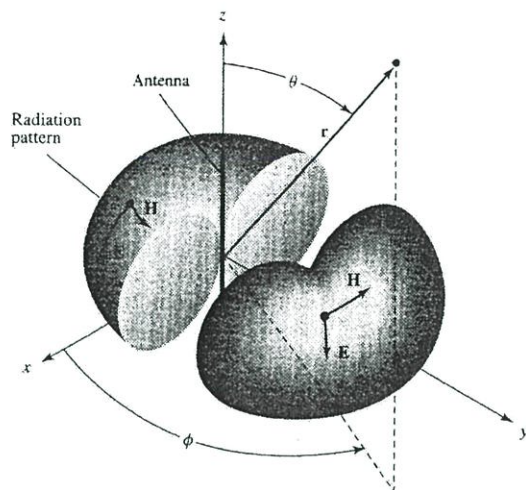


รูปที่ 2.9 ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ [4]

จากรูปจะเป็นการแสดงระบบโคออร์ดิเนตที่ใช้ในการแสดงคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่มีชื่อเรียกว่าแบบรูปกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่เรียกว่า สนามการแพร่กระจายคลื่น (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

2.4.1.1 แบบรูปการแพร่กระจายแบบไอโซทรอปิกแบบชี้ทิศทางและแบบทิศทางรอบตัว (Isotropic Directional and Omnidirectional Pattern)

ตัวแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิก (Isotropic Radiation) คือ สายอากาศที่ถูกสมมติขึ้นให้มีการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง แม้ว่ามันจะเป็นแค่แนวความคิดและสามารถที่จะเป็นจริงได้ในทางกายภาพ แต่ก็มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติและทิศทางของสายอากาศ



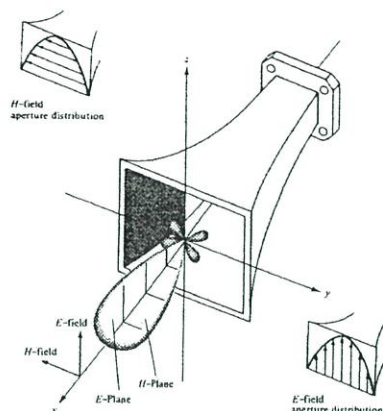
รูปที่ 2.10 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบทิศทางรอบตัว [4]

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นหรือรองรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง (Omni directional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.10

จากรูปจะเห็นได้ว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ ไม่มีทิศทางในระนาบมุมกวาด (Azimuth Plane) $[f(\phi), \theta = \pi/2]$ แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบมุมยก (Elevation Plane) $[g(\theta), \phi = \text{ค่าคงที่}]$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวนี้เป็นกรณีพิเศษของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทาง

2.4.1.2 แบบรูปการกระจายคลื่นหลัก (Principal Pattern)

เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศ ในเทอมของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นหลักของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การโพลาริซ์เชิงเส้น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าจะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด



รูปที่ 2.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก
ของสายอากาศปากแตร [4]

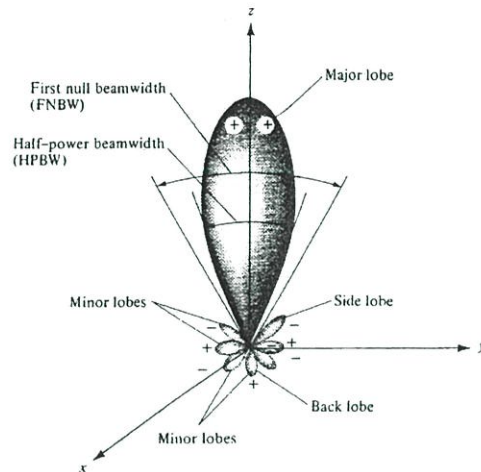
จากรูปเป็นการแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นหลัก โดยมีระนาบ XZ (ระนาบมุมยก ; $\phi = 0$) เป็นระนาบสนามไฟฟ้าหลัก และมีระนาบ XY (ระนาบมุมกวาด ; $\theta = \pi/2$) เป็นระนาบสนามแม่เหล็กหลัก

2.4.1.3 ลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)

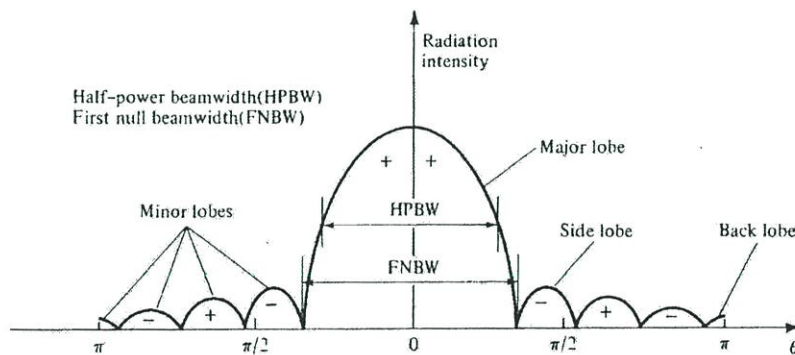
ลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่นเป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณโดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ ซึ่งสามารถแบ่งลำคลื่นเป็นแบบต่างๆ ดังนี้

ลำคลื่นหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่นที่อยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีลำคลื่นหลักมากกว่าหนึ่งลำคลื่น เช่น สายอากาศแยกลำคลื่น ลำคลื่นย่อย คือลำคลื่นอื่นที่นอกเหนือจากลำคลื่นหลัก ลำคลื่นข้าง (Side Lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่ติดอยู่กับลำคลื่นหลักและอยู่ในทิศทางของครึ่งวงกลมซีกเดียวกับลำคลื่นหลัก ลำคลื่นหลัง (Back Lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับลำคลื่นหลัก ปกติแล้วลำคลื่นย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสายอากาศที่ดีจึงต้องกำจัดลำคลื่นเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุด ระดับของคลื่นย่อยมักจะแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นพลังงานในลำคลื่นที่กำลังคิดต่อความ

หนาแน่นพลังงานในลำคลื่นหลัก ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนของลำคลื่นข้าง (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของลำคลื่นคลื่นน้อยกว่า -20 dB



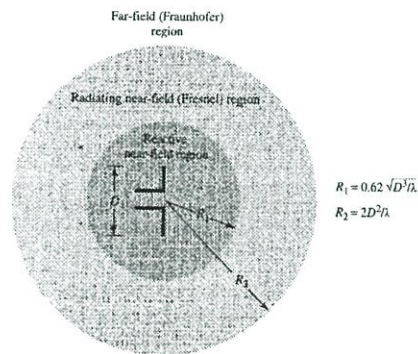
รูปที่ 2.12 ลำคลื่นต่างๆ และความกว้างลำสัญญาณของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ [4]



รูปที่ 2.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในแบบเชิงเส้น [4]

2.4.1.4 บริเวณต่างๆ ของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะเป็นบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating – Near Field) และสนามกระจายระยะไกล



รูปที่ 2.14 การแบ่งบริเวณสนามจากสายอากาศ [4]

บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุดและมีสนามเป็นชนิดแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ จากผิวของสายอากาศเมื่อ λ เป็นความยาวคลื่นและ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ บริเวณสนามกระจายระยะใกล้เป็นบริเวณของสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่แพร่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่

การกระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ นั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R \leq 2D^2/\lambda$

บริเวณสนามระยะไกลเป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศถ้าสายอากาศมีมิติที่ใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2/\lambda$ จากสายอากาศ ในบริเวณนี้สามารถมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนาม

ตามมุมต่างๆไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2/\lambda$ และขอบนอกมีค่าเป็นอนันต์

2.4.2 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยายเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทางโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วยในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

อัตราการขยายกำลัง (Power Gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อทิศทางกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากหัวต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วจะคิดค่ากำลังขยายในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

$$\text{อัตราขยาย} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.1)$$

เมื่อ $U(\theta, \phi)$ = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

P_{in} = กำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ

โดยทั่วไปแล้วมักจะพูดถึงอัตราขยายสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของอัตราการขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ต่ออัตราการขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศนั้นต้องเท่ากับสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร แต่โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.2)$$

กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด P_{rad} สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ P_{in} ดังนั้น

$$P_{rad} = e_r P_{in} \quad (2.3)$$

เมื่อ e_i เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ดังนั้น

$$G_g(\theta, \phi) = e_i \left[\frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad (2.4)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการชี้ทิศทางดังนี้

$$G_g(\theta, \phi) = e_i D_g(\theta, \phi) \quad (2.5)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของอัตราขยายจะสัมพันธ์กับค่าการชี้ทิศทางสูงสุดโดย

$$G_0 = D_g(\theta, \phi)_{max} = e_i D_g(\theta, \phi)_{max} \quad (2.6)$$

ดังนั้นค่าประมาณของอัตราขยายจะได้

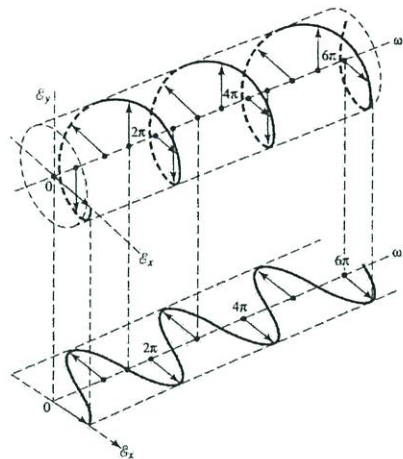
$$G_0 = \frac{30000}{\Theta_{1r} \Theta_{2r}} \quad (2.7)$$

เมื่อ Θ_{1r} = HPBW ในระนาบใดๆ (องศา)

Θ_{2r} = HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก (องศา)

2.4.3 การโพลาริซ

โพลาริเซชันของลำคลื่นที่แพร่กระจายนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป ที่อธิบายทิศทางและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา โพลาริเซชันจะแสดงการกวาดของยอดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่และการสังเกตนี้จะทำโดยมองตามหลังคลื่นที่เดินทางไป แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแนวระนาบที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในระนาบ $Z=0$ [4]

สำหรับโพลาไรเซชันของสายอากาศในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จะเป็นโพลาไรเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบบสายอากาศนั้นจากทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเมื่อสายอากาศรับคลื่นแล้วจะมีกำลังที่ขั้วของสายอากาศมากที่สุด ถ้าไม่ได้กำหนดทิศทางมาจะให้หมายถึง ทิศทางที่สายอากาศมีค่าการขยายมากที่สุด ดังนั้นโพลาไรเซชันของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกัน จะต่างกัน การแบ่งชนิดของโพลาไรเซชันอาจแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

1. การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization)
2. การโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization)
3. การโพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)

ถ้าสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจะเรียกว่า โพลาไรซ์หมุนขวา ในขณะที่หากสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นโพลาไรเซชันมือซ้าย ซึ่งจะเขียนสนามชั่วขณะเวลานั้นของคลื่นระนาบ ที่เดินทางในทิศ $-Z$ ได้ว่า

$$\bar{E}(z,t) = \hat{a}_x E_x(z,t) + \hat{a}_y E_y(z,t) \quad (2.8)$$

เมื่อส่วนประกอบของสนามชั่วขณะเวลานั้น สัมพันธ์กับค่าเชิงซ้อนของสนามนั้นดังนี้

$$\begin{aligned} E_x(z,t) &= E_x \cos(\omega t + kz + \phi_x) \\ E_y(z,t) &= E_y \cos(\omega t + kz + \phi_y) \end{aligned} \quad (2.9)$$

เมื่อ E_x และ E_y เป็นขนาดของสนามค่าสูงสุด ในทิศทาง x และ y ตามลำดับ

ปฏิกิริยาพันธะบับนี้กล่าวถึง การโพลาไรซ์เชิงเส้นเท่านั้น เนื่องจากสายอากาศที่ออกแบบมีการโพลาไรซ์เชิงเส้น

2.4.3.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น

คลื่นซึ่งเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น ความแตกต่างเฟสระหว่างส่วนประกอบทั้งสองของสนาม จะมีค่าดังนี้

$$\Delta\phi = \phi_x + \phi_y = n\lambda; n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.10)$$

2.4.3.2 การโพลาไรซ์ลอสแฟคเตอร์ (Polarization Loss Factor : PLF)

โดยทั่วไปแล้วโพลาไรเซชันของสายอากาศจะไม่เหมือนกับโพลาไรเซชันของคลื่นที่เดินทางมายังสายอากาศ ซึ่งเรียกว่า เกิดโพลาไรเซชันมismatch (Polarization Mismatch) ทำให้สายอากาศไม่สามารถดึงเอาพลังงานออกจากคลื่นสูงสุด เนื่องจากเกิดการสูญเสียจากโพลาไรเซชัน (Polarization Loss) สมมติว่า สนามไฟฟ้าของคลื่นที่เดินทางเข้ามาสายอากาศนั้นเขียนได้ดังนี้

$$\bar{E}_i = \hat{\rho}_w E_i \quad (2.11)$$

เมื่อ $\hat{\rho}_w$ เป็นหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น และโพลาไรเซชันของสนามไฟฟ้าของสายอากาศรับ มีค่าดังนี้

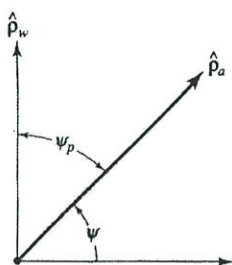
$$\bar{E}_a = \hat{\rho}_a E_a \quad (2.12)$$

เมื่อ $\hat{\rho}_a$ เป็นหน่วยเวกเตอร์ของสายอากาศ

จะสามารถกำหนดให้โพลาไรเซชันลอสแฟคเตอร์ มีค่าดังนี้

$$PLF = |\hat{\rho}_w \times \hat{\rho}_a|^2 = |\cos \Psi_p|^2 \quad (2.13)$$

เมื่อ Ψ_p เป็นมุมระหว่างหน่วยเวกเตอร์ทั้งสอง ดังแสดงในรูป 2.16



รูปที่ 2.16 หน่วยเวกเตอร์โพลาริเซชันของคลื่นและสายอากาศ

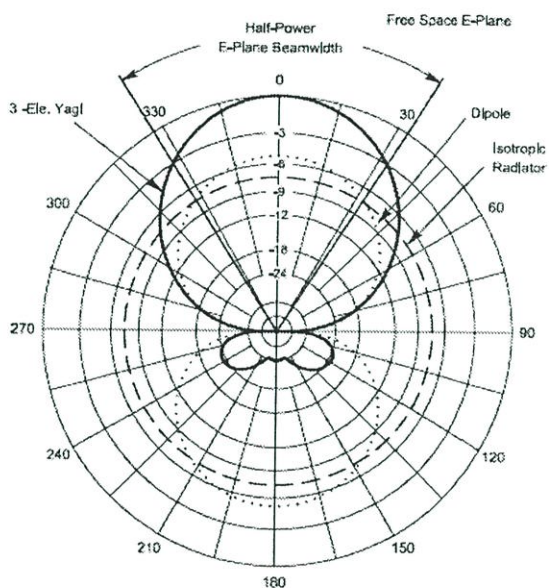
2.4.4 ช่วงกว้างแถบความถี่ (Bandwidth)

แบนวิธของสายอากาศ ถูกกำหนดให้เป็นช่วงความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ เช่น อินพุทอิมพีแดนซ์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างของลำคลื่น การโพลาไรซ์ ระดับของไซด์โลบ ค่าอัตราขยาย ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือ ไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบจนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำอยู่ 10 เท่า สำหรับสายอากาศแบนด์แคบ แบนวิธจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ) แล้วหารด้วยความถี่กลางของแบนวิธนั้น เช่น แบนวิธ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ช่วงการทำงานของสายอากาศเป็น 5% ของความถี่กลางของแบนวิธนั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศที่กล่าวมา จะไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนวิธตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่าง ปกติแล้วคุณสมบัติแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นกับอินพุทอิมพีแดนซ์ มักจะถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนวิธของสายอากาศ

2.4.5 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth : HPBW)

คือความกว้างของลำคลื่น เป็นคุณสมบัติ ของสายอากาศทิศทาง ที่วัดเป็นองศา ของ ส่วนที่เป็น Major lobe หรือ Main lobe ระหว่างสองทิศทาง ซึ่งกำลังไฟฟ้า ลดลงครึ่งหนึ่ง (-3dB) ของค่าสูงสุด



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างบีมวิทท์ของสายอากาศ ยากิอูตะ 3 อีลีเมนต์ [4]

จากรูปที่ 2.17 ทิศทาง 0 องศา เรียกว่า ลำคลื่นหลักจะมีลำคลื่นที่แรงที่สุด ถ้าเราวัด ความแรงไปทางด้านข้าง จนความแรงลดลงครึ่งหนึ่ง (-3dB) เรียกว่า จุดความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง เราวัดมุมจากจุดความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง จากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งจะเท่ากับบีมวิทท์ ตัวอย่างในรูปคือประมาณ 66 องศา

2.5 การส่งผ่านสัญญาณของฟรีส

การส่งผ่านสัญญาณของฟรีสได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง และสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตาดังแสดงในสมการที่ 2.14

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f)G_t(f)G_r(f) \quad (2.14)$$

เมื่อ f เป็นความถี่ที่ใช้งาน d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศ Tx และ Rx $P_t(f)$ และ $P_r(f)$ เป็นกำลังอินพุตเข้าไปยังสายอากาศ Tx และกำลังเอาต์พุตออกจากสายอากาศ Rx ตามลำดับ $G_t(f)$ และ $G_r(f)$ เป็นอัตราขยายประสิทธิภาพของสายอากาศ Tx และ Rx ตามลำดับ $G_f(f)$ เป็นอัตราขยายการแพร่กระจายอวกาศว่าง และอัตราการแพร่กระจายอวกาศว่างสามารถเขียนได้เป็น

$$G_f(f) = \left(\frac{c}{4\pi df}\right)^2 \quad (2.15)$$

เมื่อ c เป็นความเร็วแสง (m/s)

สำหรับระบบ UWB การเชื่อมโยงช่องว่างอิสระถูกทำให้เป็นสูตรในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนช่องว่างอิสระ $H_f(f)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$H_f(f) = \frac{c}{4\pi df} e^{-j2\lambda d/c} \quad (2.16)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณช่องว่างอิสระ $H_c(f)$ ที่ได้รวมสายอากาศเข้าไปได้จากการใช้การขยายสูตรการส่งผ่านของฟรีสเป็น

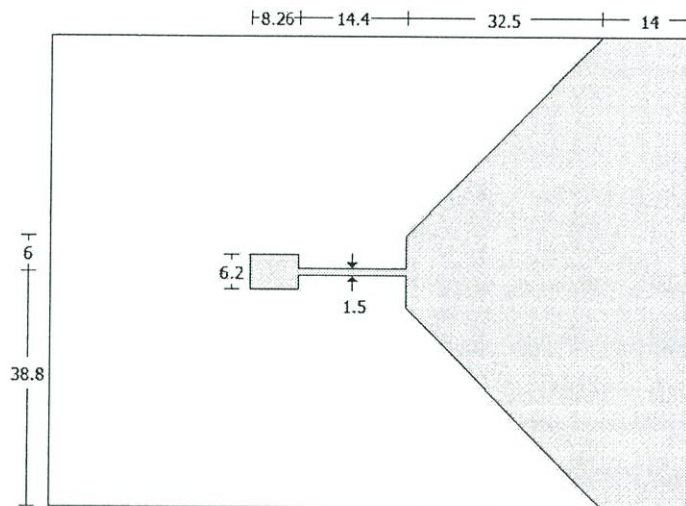
$$H_c(f) = H_f(f)H_t(f)H_r(f) \quad (2.17)$$

สำหรับสายอากาศ Tx และ Rx ที่เหมือนกันและเป็นไปตามสมการที่ (2.18) ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงซ้อนของสายอากาศ Tx และ Rx สามารถเขียนได้เป็น

$$H_t(f) = H_r(f) = \sqrt{\frac{H_c(f)}{H_f(f)}} \quad (2.18)$$

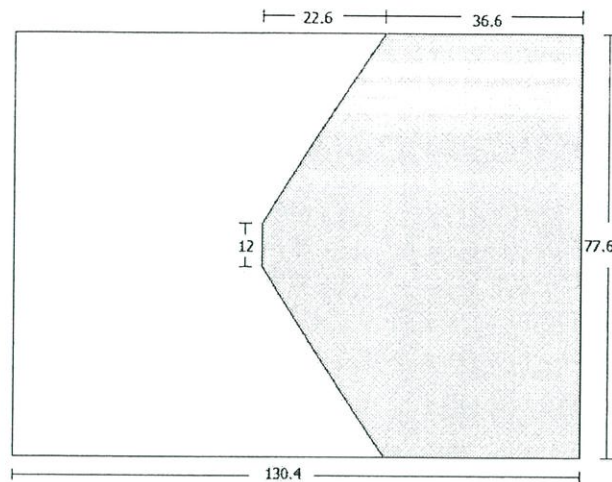
2.6 บทความวิจัยที่มีมาก่อน

ได้จำลองสายอากาศตามแบบจากบทความวิจัยที่มีมาก่อน ซึ่งเป็นของ Xiaoqin Liu และ Gang Wang เรื่อง Double-Sided Bow-Tie Antenna for 2G/3G/WiFi and Mobile WIMAX คิดในปี 2008 [5] ดังนี้



รูปที่ 2.18 มุมมองด้านหน้าสายอากาศ Double-Sided Bow-Tie [5]

จากรูปที่ 2.18 เป็นรูปโครงสร้างและขนาดจากด้านหน้าของสายอากาศ Double-Sided Bow-Tie มีขนาดของเส้นป้อนสัญญาณ เท่ากับ $6.2\text{mm} \times 8.26\text{mm}$ และ $1.5\text{mm} \times 14.4\text{mm}$ เรียงจากซ้ายไปขวา



รูปที่ 2.19 มุมมองด้านหลังสายอากาศ Double-Sided Bow-Tie [5]

จากรูปที่ 2.19 เป็นรูปโครงสร้างและขนาดจากด้านหน้าของสายอากาศที่ออกแบบ มีขนาดของวัสดุฐานรองเท่ากับ 77.6mm x 130.4mm

2.7 สรุป

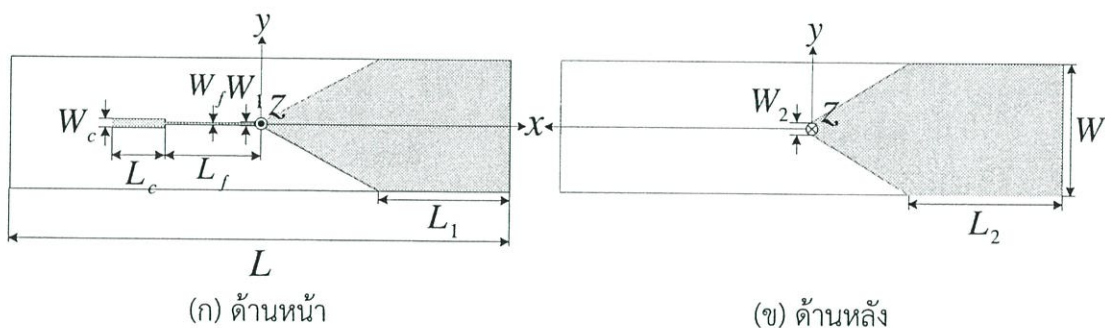
ในบทนี้แนะนำเสนอทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบสายอากาศ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แนะนำเสนอทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศไดโพล และหลักการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการใช้งานในระบบ GSM และวิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์ที่มีการพัฒนามาในแต่ละยุค สุดท้ายเป็นการนำเสนอผลงานวิจัยที่มีมาก่อนของสายอากาศไดโพลแบบระนาบที่มีการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ในย่านความถี่ต่างๆ

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์และหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ โดยใช้ทฤษฎีการคำนวณสำหรับสายอากาศในบทที่ 2 ที่ได้ทำการศึกษามาแล้ว จึงนำค่ามาทำการจำลองผลและศึกษาผลกระทบต่างๆ ต่อคุณลักษณะของสายอากาศ เพื่อปรับปรุงสายอากาศให้มีคุณลักษณะเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยี 2G 3G และ LTE

3.1 โครงสร้างสายอากาศ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่นำไปประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยี 2G 3G และ LTE ซึ่งสร้างมาจากวัสดุฐานรอง FR-4 เนื้อสาร Epoxy ที่กว้าง 30 mm ยาว 115 mm และหนา 0.8 mm มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.3$ และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย

พารามิเตอร์	ความหมาย	ขนาด (mm)
L	ความยาวของวัสดุฐานรอง	115
L_1	ความยาวของส่วนแพร่กระจายคลื่น	30
L_2	ความยาวของกราวนด์	35
L_c	ความยาวของจุดป้อนสัญญาณ	12
L_f	ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ	22
W	ความกว้างของวัสดุฐานรอง	30
W_1	ความกว้างของส่วนแพร่กระจายคลื่น	1
W_2	ความกว้างของกราวนด์	3
W_c	ความกว้างของจุดป้อนสัญญาณ	2
W_f	ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ	0.5

3.2 การคำนวณและออกแบบสายอากาศ

3.2.1 การคำนวณค่าเริ่มต้นของสายอากาศ

ในการสร้างสายอากาศต้นแบบนั้น เริ่มจากการศึกษาจากบทความที่มีมาก่อนและคำนวณตามสูตรของชนิดสายอากาศที่สร้างเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ความกว้างและความยาวเริ่มต้นของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งสายอากาศที่ใช้งานเป็นสายอากาศ Bow-Tie แบบระนาบ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น (half-wavelength dipole) โดยออกแบบสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างที่มีการใช้งานในช่วงความถี่ 850 900 1800 1900 และ 2100 MHz

- กำหนดให้ f_1 คือ ค่าความถี่กลางในช่วงความถี่ที่ 850 MHz
 f_2 คือ ค่าความถี่กลางในช่วงความถี่ที่ 900 MHz
 f_3 คือ ค่าความถี่กลางในช่วงความถี่ที่ 1800 MHz
 f_4 คือ ค่าความถี่กลางในช่วงความถี่ที่ 1900 MHz
 f_5 คือ ค่าความถี่กลางในช่วงความถี่ที่ 2100 MHz

c คือ ความเร็วแสงในช่องว่างอิสระมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } f_1 &= 859 \text{ MHz} & f_2 &= 920 \text{ MHz} & f_3 &= 1795 \text{ MHz} & f_4 &= 1920 \text{ MHz} \\ f_5 &= 2045 \text{ MHz} & c &= 3 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

จะหาค่าความถี่เฉลี่ยเพื่อนำไปหาค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยเพื่อที่จะนำไปหาความยาวเบื้องต้นของสายอากาศได้โดย

$$f_r = f_{avg} = \frac{859 + 920 + 1795 + 1920 + 2045}{5} = 1507.8 \text{ MHz} \quad (3.1)$$

หาค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยได้โดย

$$\lambda_{avg} = \frac{c}{f_{avg}} = \frac{3 \times 10^8}{1507.8 \times 10^6} = 198.96 \text{ mm} \quad (3.2)$$

เมื่อได้ค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยแล้วนำมาคำนวณหาขนาดความยาวและความกว้างของวัสดุฐานรองของสายอากาศได้ตามสมการของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น (half-wavelength dipole) ดังนี้

$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{198.96}{2} = 99.48 \text{ mm} \quad (3.3)$$

ดังนั้นจะได้ความยาวของวัสดุฐานรองเท่ากับ 99.48 mm

$$a = \frac{2c}{3f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.4)$$

$$a = \frac{2(3 \times 10^8)}{3(1507.8 \times 10^6)(\sqrt{4.3})} \quad (3.5)$$

จะได้ $a = 63.96 \text{ mm} \quad (3.6)$

นำไปแทนค่าใน $a_{eff} = a + \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.7)$

$$a_{eff} = 63.96 + \frac{0.8}{\sqrt{4.3}} \quad (3.8)$$

จะได้ $a_{eff} = 64.35 \text{ mm} \quad (3.9)$

เมื่อได้ค่าความยาวของวัสดุฐานรองแล้ว จึงนำไปหาค่าความกว้างและค่าความยาวของโลหะตัวนำ

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{198.96}{4} = 49.74 \text{ mm} \quad (3.10)$$

จะได้ความยาวของโลหะตัวนำและกราวนด์เท่ากับ 49.74 mm

และ $\frac{W}{2} = \sqrt{a^2 - l^2} \quad (3.11)$

$$\frac{W}{2} = \sqrt{63.96^2 - 49.74^2} \quad (3.12)$$

$$\frac{W}{2} = 40.21 \text{ mm} \quad (3.13)$$

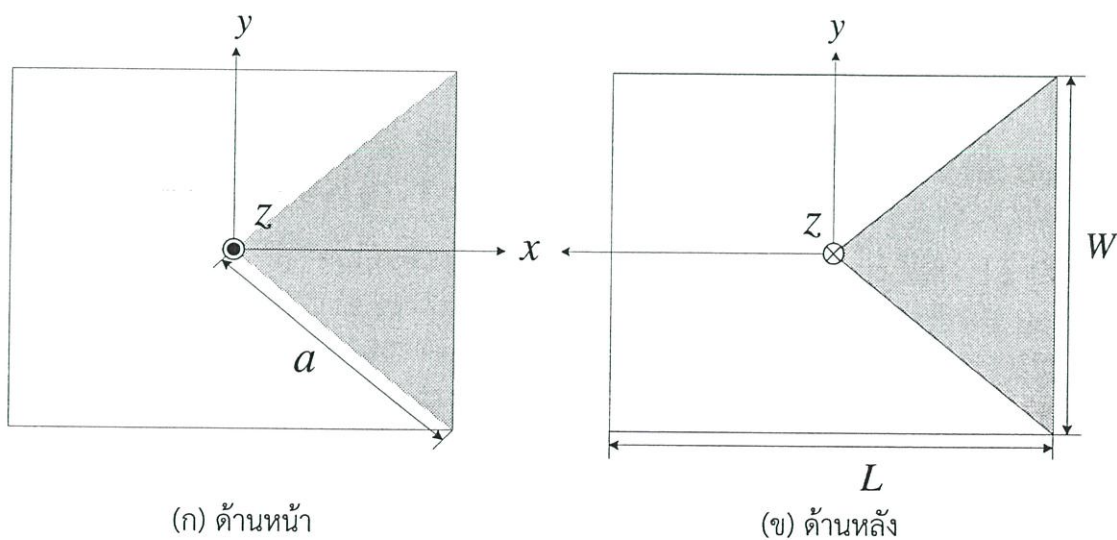
$$W = 80.42 \text{ mm} \quad (3.14)$$

จะได้ความกว้างเท่ากับ 80.42 mm

3.2.2 การออกแบบสายอากาศ

3.2.2.1 สายอากาศเริ่มต้น

การออกแบบสายอากาศนั้น ได้ทำการออกแบบสายอากาศตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ

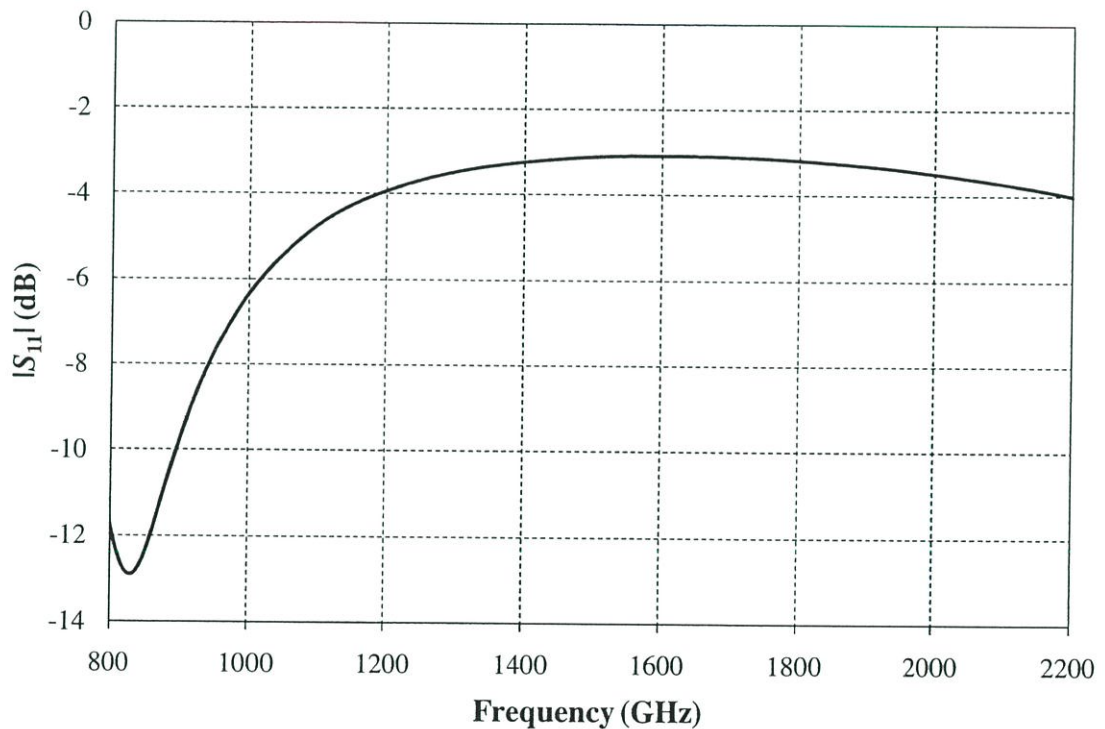


รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น

จากรูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้นซึ่งสร้างมาจากวัสดุฐานรอง FR-4 เนื้อสาร Epoxy ที่กว้าง 80 mm ยาว 100 mm และหนา 0.8 mm มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.3$ และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

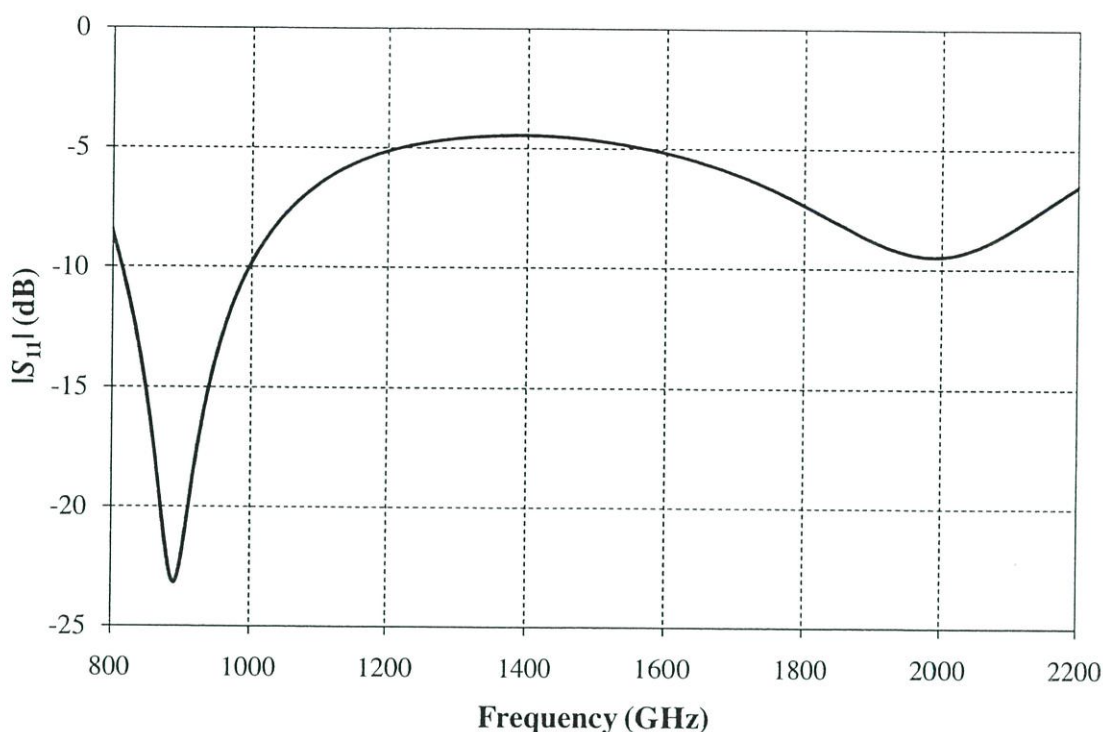
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้น

พารามิเตอร์	ความหมาย	ขนาด (mm)
L	ความยาวของวัสดุฐานรอง	100
W	ความกว้างของวัสดุฐานรอง	80
a	ความยาวเฉียงของส่วนแพร่กระจายคลื่น	64.03



รูปที่ 3.3 $|S_{11}|$ จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น

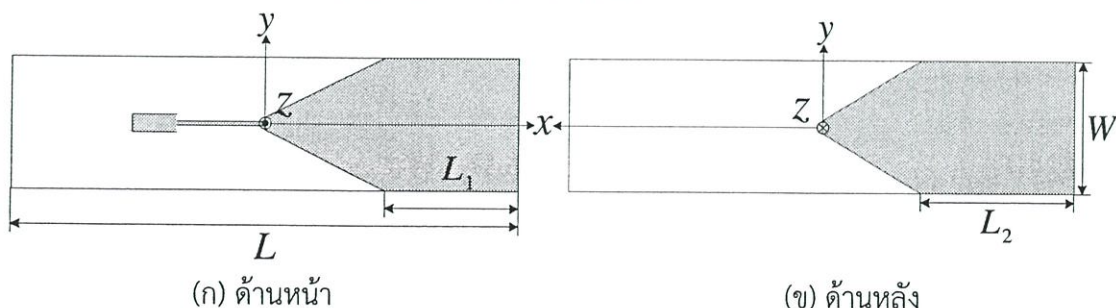
จากรูปที่ 3.3 แสดงค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น โดยมี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -6 dB ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 726.5 ถึง 1013.9 MHz แต่ค่าที่ได้ยังไม่ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งาน คือช่วงความถี่ตั้งแต่ 824 ถึง 960 MHz และ 1710 ถึง 2170 MHz จึงได้ทำการปรับ



รูปที่ 3.5 $|S_{11}|$ จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศที่ทำการเพิ่มจุดป้อนสัญญาณ

จากรูปที่ 3.5 แสดงค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศที่ทำการเพิ่มจุดป้อนสัญญาณ ซึ่งครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานที่ทุกช่วงความถี่ที่ใช้งาน คือมี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -6 dB ช่วงความถี่ตั้งแต่ 824 ถึง 960 MHz และ 1710 ถึง 2170 MHz และจากการจำลองมี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -6 dB ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 767.5 ถึง 1125.3 MHz และ 1695 ถึง 2230.1 MHz จึงได้ทำการปรับโครงสร้างของสายอากาศให้มีขนาดลดลงให้เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานและให้ค่า $|S_{11}|$ ในช่วงความถี่ 850 900 1800 1900 และ 2100 MHz มีการตอบสนองที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 3.6

3.2.2.3 สายอากาศที่ปรับลดขนาด

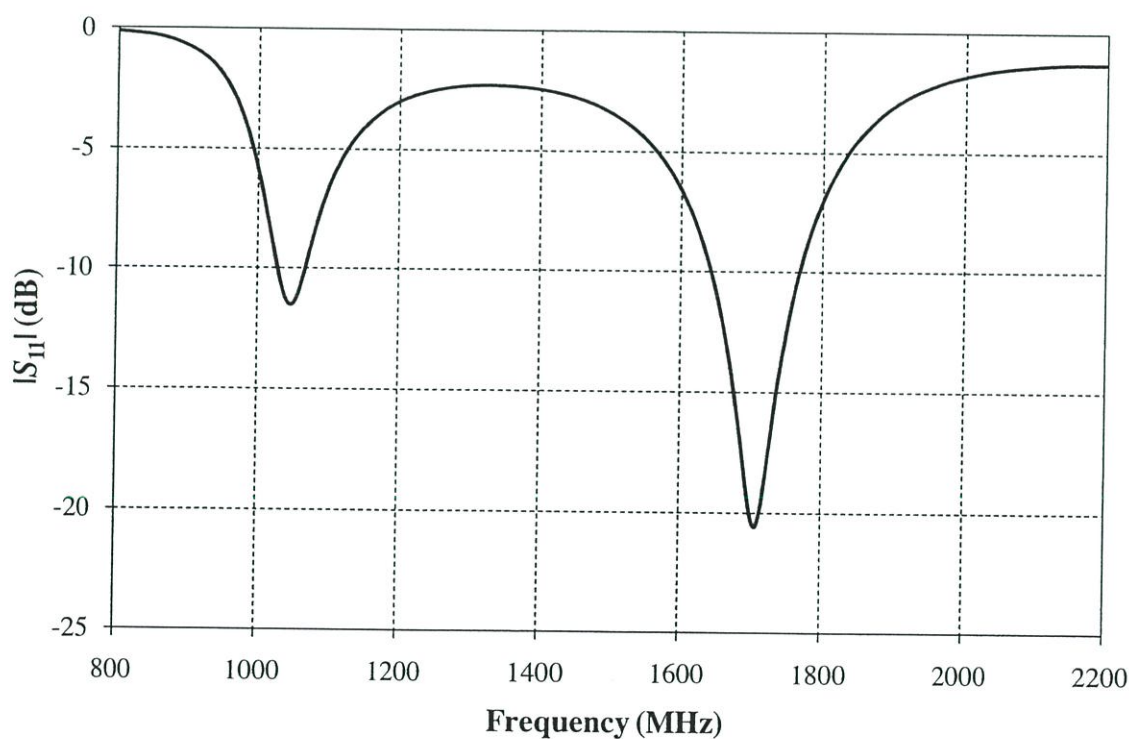


รูปที่ 3.6 โครงสร้างสายอากาศที่ปรับลดขนาด

จากรูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่ปรับลดขนาดซึ่งสร้างมาจากวัสดุฐานรอง FR-4 เนื้อสาร Epoxy ที่กว้าง 30 mm ยาว 115 mm และหนา 0.8 mm มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.3$ และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ปรับลดขนาด

พารามิเตอร์	ความหมาย	ขนาด (mm)
L	ความยาวของวัสดุฐานรอง	115
L_1	ความยาวของส่วนแพร่กระจายคลื่น	30
L_2	ความยาวของกราวนด์	35
W	ความกว้างของวัสดุฐานรอง	30



รูปที่ 3.7 $|S_{11}|$ จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศที่ปรับลดขนาด .

จากรูปที่ 3.7 แสดงค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองโครงสร้างสายอากาศที่ปรับลดขนาด ซึ่งมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -6 dB ช่วงความถี่ตั้งแต่ 1001.6 ถึง 1107.9 MHz และ 1588.1 ถึง 1813.6 MHz และค่าที่ได้ยังไม่ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งาน คือช่วงความถี่ตั้งแต่ 824 ถึง 960 MHz และ

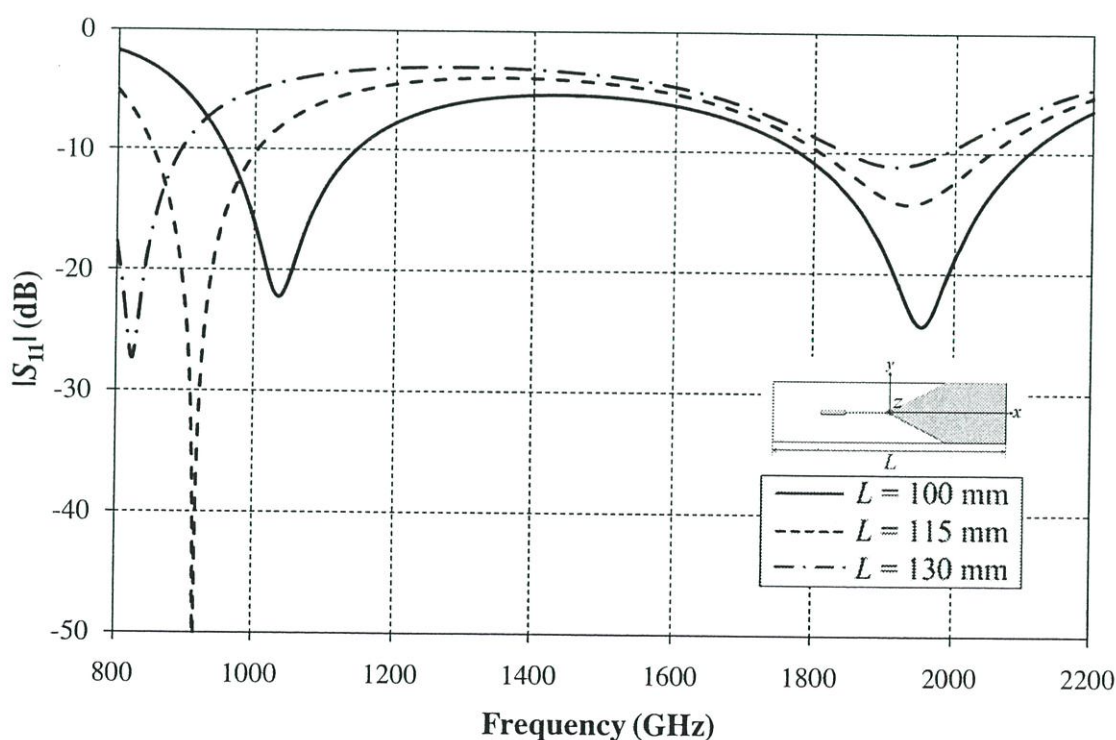
1710 ถึง 2170 MHz จึงได้ทำการปรับโครงสร้างของสายอากาศให้เหมาะสมและให้ค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -6 dB ในช่วงความถี่ 850 900 1800 1900 และ 2100 MHz ดังรูปที่ 3.1

3.3 การศึกษาค่าพารามิเตอร์

โครงสร้างของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 ซึ่งปรับเปลี่ยนมาจากโครงสร้างเริ่มต้นที่ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการคำนวณ จากนั้นทำการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwaves Studio ซึ่งในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 5 ค่า คือ ความยาวของวัสดุฐานรอง ความยาวของจุดป้อนสัญญาณ ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ ความกว้างของวัสดุฐานรอง และความกว้างของจุดป้อนสัญญาณ เมื่อวัสดุที่ทำการออกแบบคือวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำทางไฟฟ้าสมบูรณ์ (PEC : Perfect Electric Conductor) ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีค่าการสูญเสียเป็นศูนย์ สำหรับผลการจำลองค่าพารามิเตอร์นั้น เพื่อนำไปสร้างสายอากาศที่ให้ค่า $|S_{11}|$ ตามที่ต้องการใช้งาน

3.3.1 ความยาวของวัสดุฐานรอง

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของวัสดุฐานรองของสายอากาศซึ่งจะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังนี้

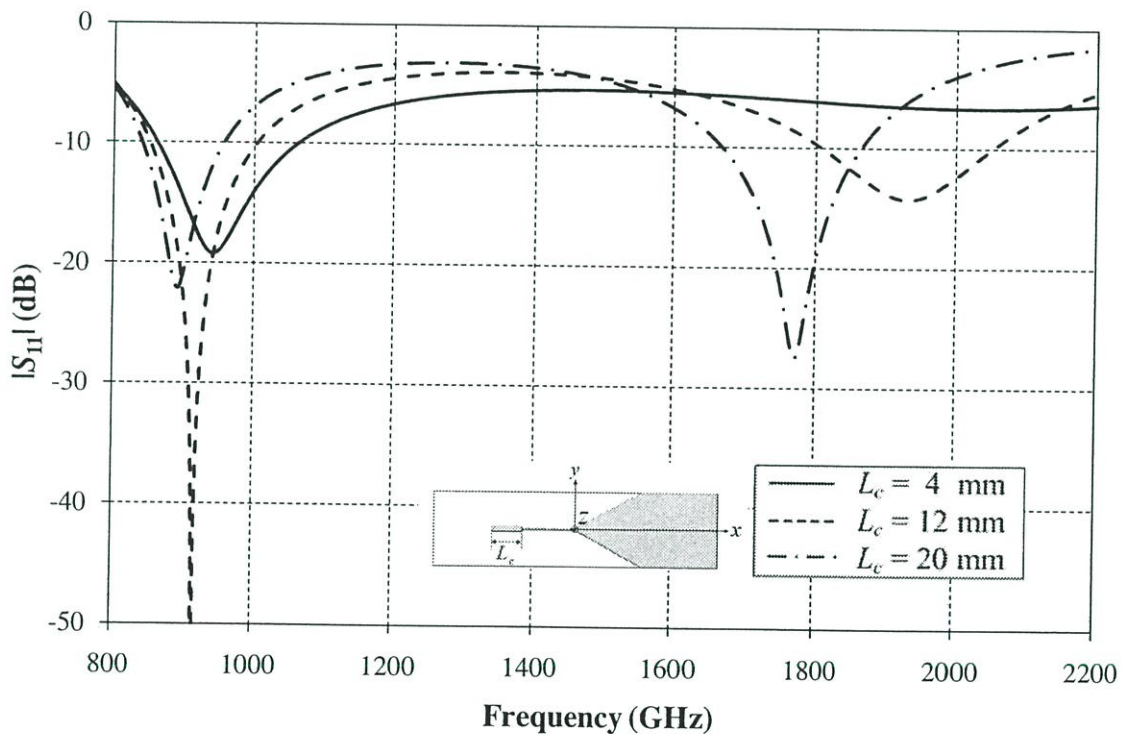


รูปที่ 3.8 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความยาวของวัสดุฐานรอง

จากรูปที่ 3.8 แสดงค่า $|S_{11}|$ จากการจำลองเมื่อปรับค่าความยาวของวัสดุฐานรอง เมื่อทำการเพิ่มค่าความยาวของวัสดุฐานรองให้ยาวมากขึ้นจะทำให้ความถี่ที่ได้ต่ำลง จากสมการ $L = \frac{c}{2f_{avg}}$ และค่าความยาวของวัสดุฐานรองเหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศจะมีค่าเท่ากับ 115 mm

3.3.2 ความยาวของจุดป้อนสัญญาณ

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศซึ่งจะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังนี้

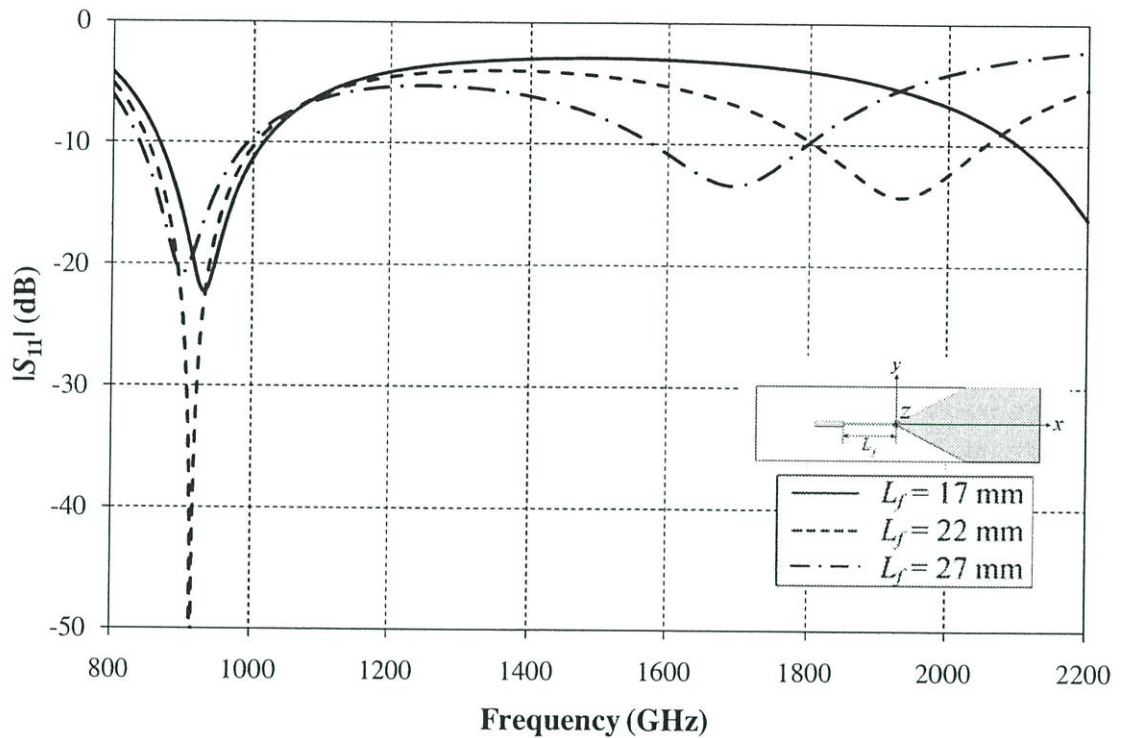


รูปที่ 3.9 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความยาวของจุดป้อนสัญญาณ

จากรูปที่ 3.9 แสดงค่า $|S_{11}|$ จากการจำลองเมื่อปรับค่าความยาวของจุดป้อนสัญญาณ ค่าความยาวของจุดป้อนสัญญาณ จะส่งผลทำให้เกิดการแมตซิ่งที่ดีขึ้น ทำให้ค่า $|S_{11}|$ มีการตอบสนองที่ดีขึ้น และค่าความยาวของจุดป้อนสัญญาณเหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศจะมีค่าเท่ากับ 12 mm

3.3.3 ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณของสายอากาศซึ่งจะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังนี้

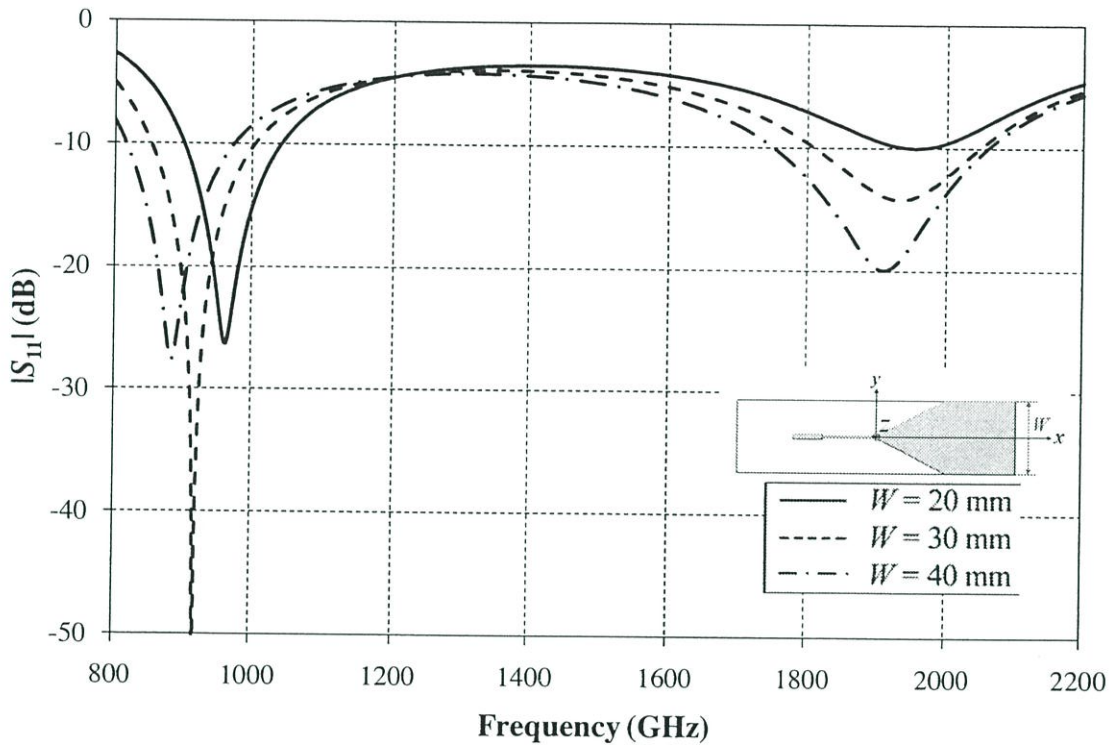


รูปที่ 3.10 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ

จากรูปที่ 3.10 แสดงค่า $|S_{11}|$ จากการจำลองเมื่อปรับค่าความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ เมื่อทำการเพิ่มค่าความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ จะส่งผลทำให้เกิดการแมตซิ่งที่ดีขึ้น ค่า $|S_{11}|$ ช่วงความถี่ 1800 1900 และ 2100 MHz เลื่อนไปทางความถี่ต่ำ และทำให้ค่า $|S_{11}|$ ช่วงความถี่ 850 และ 900 MHz มีการตอบสนองที่ดีขึ้น และค่าความยาวของเส้นป้อนสัญญาณเหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศจะมีค่าเท่ากับ 22 mm

3.3.4 ความกว้างของวัสดุฐานรอง

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์ความกว้างของวัสดุฐานรองของสายอากาศ ซึ่งจะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังนี้

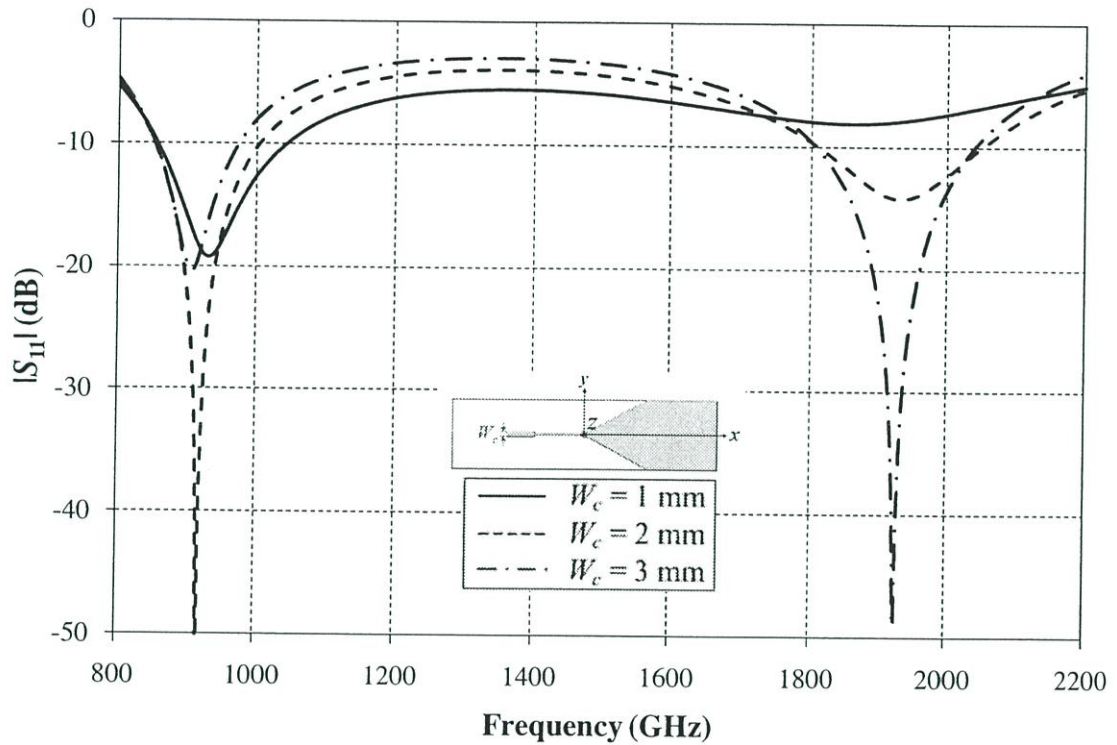


รูปที่ 3.11 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความกว้างของวัสดุฐานรอง

จากรูปที่ 3.11 แสดงค่า $|S_{11}|$ จากการจำลองเมื่อปรับค่าความกว้างของวัสดุฐานรอง เมื่อทำการเพิ่มค่าความกว้างของวัสดุฐานรอง จะส่งผลให้ช่วงความถี่ 1800 1900 และ 2100 MHz เกิดการแมตซึ่งที่ดีขึ้น และทำให้ค่า $|S_{11}|$ เลื่อนไปทางความถี่ต่ำ และค่าความกว้างของวัสดุฐานรองเหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศจะมีค่าเท่ากับ 30 mm

3.3.5 ความกว้างของจุดบ่อนสัญญาณ

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์ความกว้างของจุดบ่อนสัญญาณของสายอากาศซึ่งจะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังนี้

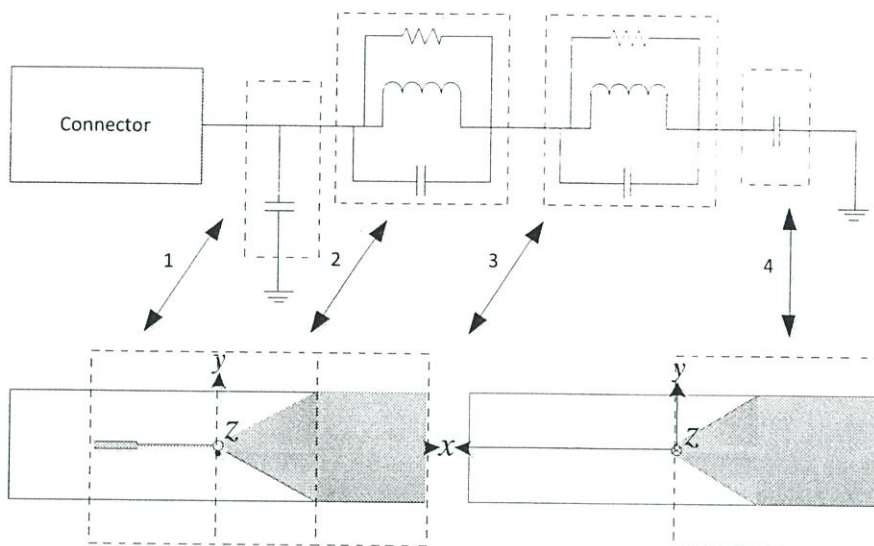


รูปที่ 3.12 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าความกว้างของจุดบ่อนสัญญาณ

จากรูปที่ 3.12 แสดงค่า $|S_{11}|$ จากการจำลองเมื่อปรับค่าความกว้างของจุดบ่อนสัญญาณ ความกว้างของจุดบ่อนสัญญาณ จะส่งผลทำให้เกิดการแมตซ์ที่ดีที่สุดขึ้น และค่าความกว้างของจุดบ่อนสัญญาณเหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศจะมีค่าเท่ากับ 2 mm

3.4 วงจรสมมูล

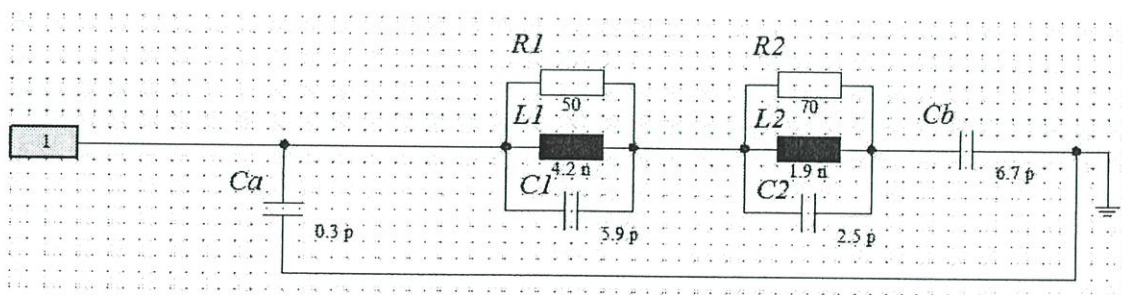
จากโครงสร้างของสายอากาศรูปที่ 3.1 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของวงจรสมมูลของสายอากาศโดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเปรียบเทียบโครงสร้าง และวงจรสมมูลของสายอากาศ

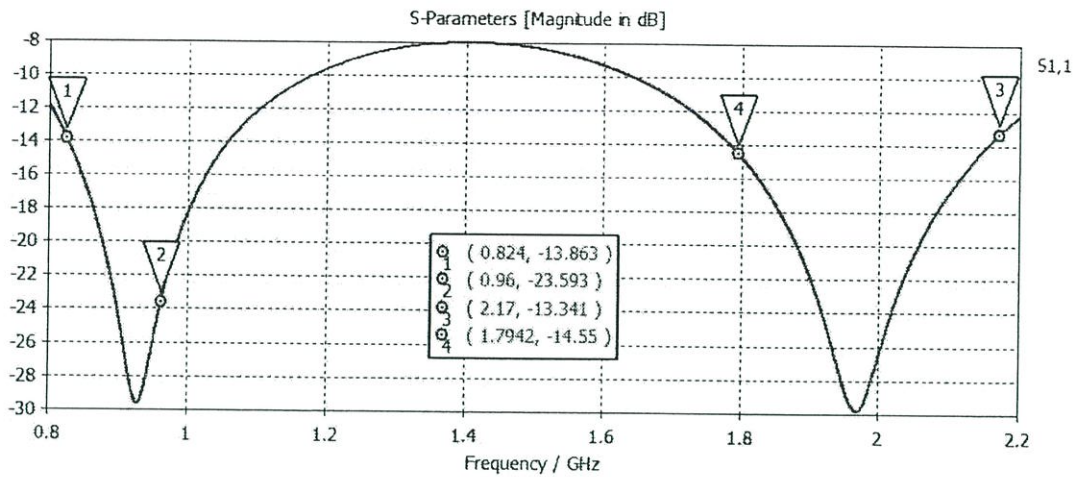
จากรูปที่ 3.13 ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของส่วนป้อนสัญญาณ ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของการแพร่กระจายคลื่นรูปสามเหลี่ยม ส่วนที่ 3 คือ ส่วนของการแพร่กระจายคลื่นรูปสี่เหลี่ยม และส่วนที่ 4 คือ ส่วนของกราวนด์

และจำลองรูปแบบวงจรสมมูลของสายอากาศเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสายอากาศที่มีผลต่อวงจรสมมูล โดยวงจรสมมูลของสายอากาศแบบ Bow-Tie เป็นดังนี้



รูปที่ 3.14 วงจรสมมูลของสายอากาศในโปรแกรมจำลอง

ผลการจำลอง $|S_{11}|$ วงจรสมมูลของสายอากาศ

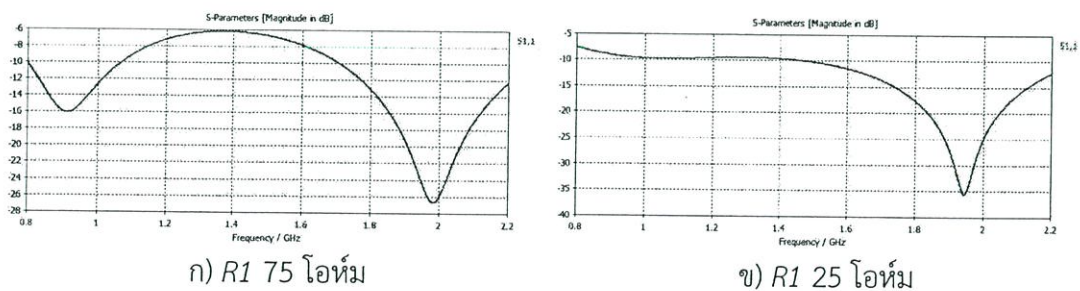


รูปที่ 3.15 $|S_{11}|$ ของวงจรสมมูลของสายอากาศ

จากรูปที่ 3.15 แสดง $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศ ซึ่งมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมทุกความถี่ที่ใช้งาน คือ 800 900 1800 1900 และ 2100 MHz และมีค่าต่ำสุดที่ 1968 MHz เท่ากับ -29.83 dB

3.4.1 ปรับค่าความต้านทานของวงจรสมมูลของสายอากาศ

ทำการปรับค่าความต้านทานตัวแรก (R_1) จาก 50 โอห์ม เป็น 75 โอห์ม และ 25 โอห์ม ผลการจำลองเป็นดังนี้

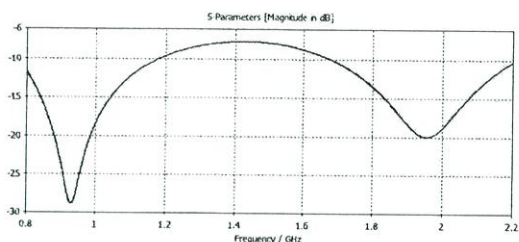


รูปที่ 3.16 $|S_{11}|$ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า R_1

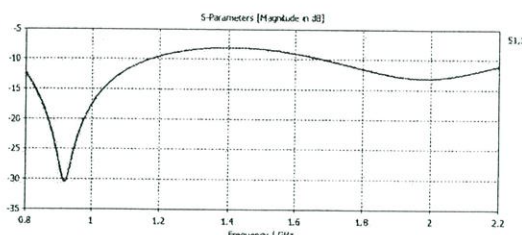
จากการปรับค่าความต้านทาน (R_1) เปรียบเสมือนการปรับความกว้างของส่วนแพร่กระจายคลื่นหรือความยาวของจุดบ่อนสัญญาณของสายอากาศ ดังรูปที่ 3.9 โดยการปรับค่า

ความต้านทานมากขึ้นหรือน้อยลงจะไม่ส่งผลใดๆต่อความถี่ แต่จะมีผลกับการแมตชิงของสายอากาศที่แถบคลื่นความถี่ต่ำ

ทำการปรับค่าความต้านทานตัวที่สอง (R_2) จาก 70 โอห์ม เป็น 95 โอห์ม และ 45 โอห์ม ผลการจำลองเป็นดังนี้



ก) R_2 95 โอห์ม



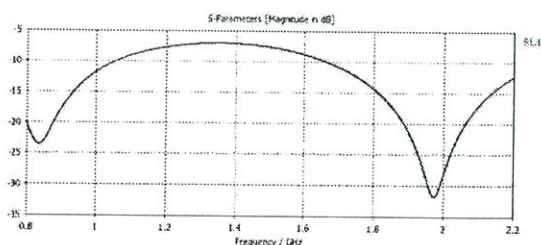
ข) R_2 45 โอห์ม

รูปที่ 3.17 $|S_{11}|$ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า R_2

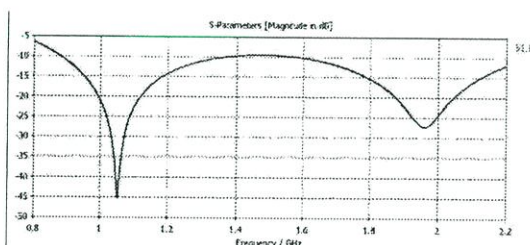
จากการปรับค่าความต้านทาน (R_2) เปรียบเสมือนการปรับความกว้างของกราวนด์หรือความยาวของวัสดุฐานรองของสายอากาศ ดังรูปที่ 3.8 โดยการปรับค่าความต้านทานมากขึ้นหรือน้อยลงจะไม่ส่งผลใดๆต่อความถี่ แต่จะมีผลกับการแมตชิงของสายอากาศที่แถบคลื่นความถี่สูง

3.4.2 ปรับค่าความเหนี่ยวนำของวงจรสมมูลของสายอากาศ

ทำการปรับค่าความเหนี่ยวนำตัวแรก (L_1) จาก 4.2 นาโนเฮนรี เป็น 5 นาโนเฮนรีและ 3.4 นาโนเฮนรี ผลการจำลองเป็นดังนี้



ก) L_1 5 นาโนเฮนรี



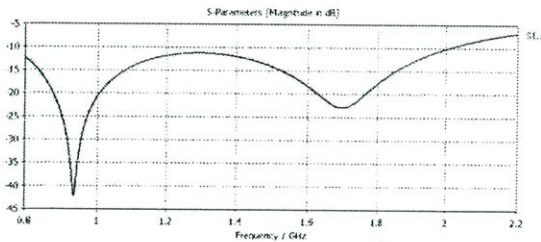
ข) L_1 3.4 นาโนเฮนรี

รูปที่ 3.18 $|S_{11}|$ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า L_1

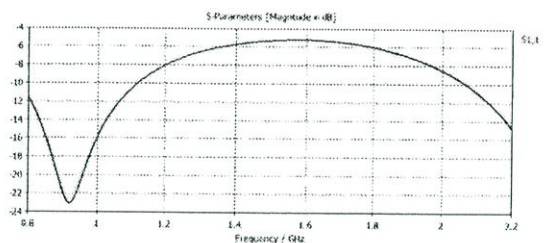
จากการปรับค่าความเหนี่ยวนำ (L_1) เปรียบเสมือนการปรับความกว้างของวัสดุฐานรองของสายอากาศ ดังรูปที่ 3.11 โดยการปรับค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นจะทำให้แถบคลื่น

ความถี่ต่ำเลื่อนไปตกที่ความถี่ที่ต่ำลง และเมื่อปรับค่าความเหนี่ยวนำน้อยลงจะทำให้แถบคลื่นความถี่ต่ำเลื่อนไปตกที่ความถี่ที่สูงขึ้น และจะมีผลกับการแมตซิ่งของสายอากาศที่แถบคลื่นความถี่สูง

ทำการปรับค่าความเหนี่ยวนำตัวที่สอง (L_2) จาก 1.9 นาโนเฮนรี เป็น 2.4 นาโนเฮนรี และ 1.4 นาโนเฮนรี ผลการจำลองเป็นดังนี้



ก) L_2 2.4 นาโนเฮนรี



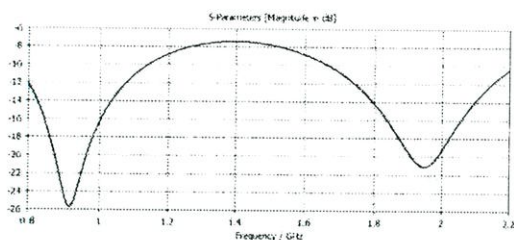
ข) L_2 1.4 นาโนเฮนรี

รูปที่ 3.19 $|S_{11}|$ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า L_2

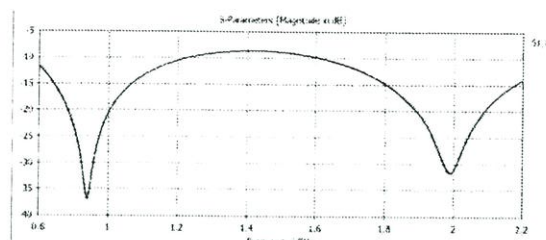
จากการปรับค่าความเหนี่ยวนำ (L_2) เปรียบเสมือนการปรับความยาวของเส้นป้อนสัญญาณของสายอากาศ ดังรูปที่ 3.10 โดยการปรับค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นจะทำให้แถบคลื่นความถี่สูงเลื่อนไปตกที่ความถี่ที่ต่ำลง และเมื่อปรับค่าความเหนี่ยวนำน้อยลงจะทำให้แถบคลื่นความถี่สูงเลื่อนไปตกที่ความถี่ที่สูงขึ้น และจะมีผลกับการแมตซิ่งของสายอากาศที่แถบคลื่นความถี่ต่ำ

3.4.3 ปรับค่าความจุของวงจรสมมูลของสายอากาศ

ในการปรับค่าความจุนั้น ค่าความจุตัวแรกจะมีค่าเหมือนค่าความเหนี่ยวนำตัวแรก และค่าความจุตัวที่สองจะมีค่าเหมือนค่าความเหนี่ยวนำตัวที่สอง จึงทำการปรับค่าความจุของส่วนป้อนสัญญาณ (C_a) จาก 0.3 พิโกฟารัด เป็น 0.5 พิโกฟารัด และ 0.1 พิโกฟารัด ผลการจำลองเป็นดังนี้



ก) Ca 0.5 พิโกฟาร์ต

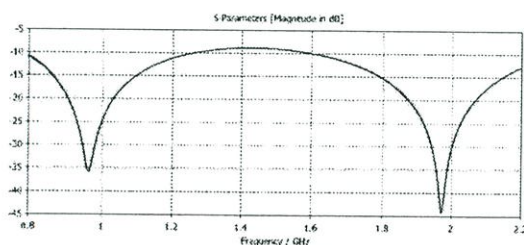


ข) Ca 0.1 พิโกฟาร์ต

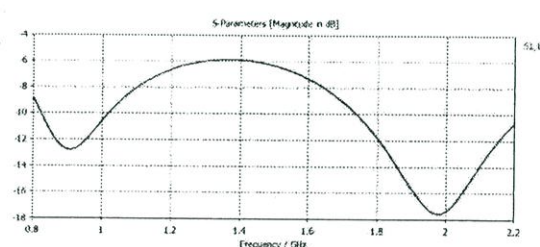
รูปที่ 3.20 $|S_{11}|$ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า Ca

จากการปรับค่าความจุ (Ca) เปรียบเสมือนการปรับความกว้างของจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศ ดังรูปที่ 3.12 โดยการปรับค่าความจุมากขึ้นหรือน้อยลงจะไม่ส่งผลใดๆต่อความถี่ แต่จะมีผลกับการแมตชิงของสายอากาศโดยจะมีผลกับการแมตชิงที่แถบคลื่นความถี่ต่ำมากกว่าด้านแถบคลื่นความถี่สูง

ทำการปรับค่าความจุ (Cb) จาก 6.7 พิโกฟาร์ต เป็น 9.7 พิโกฟาร์ต และ 3.7 พิโกฟาร์ต ผลการจำลองเป็นดังนี้



ก) Cb 9.7 พิโกฟาร์ต

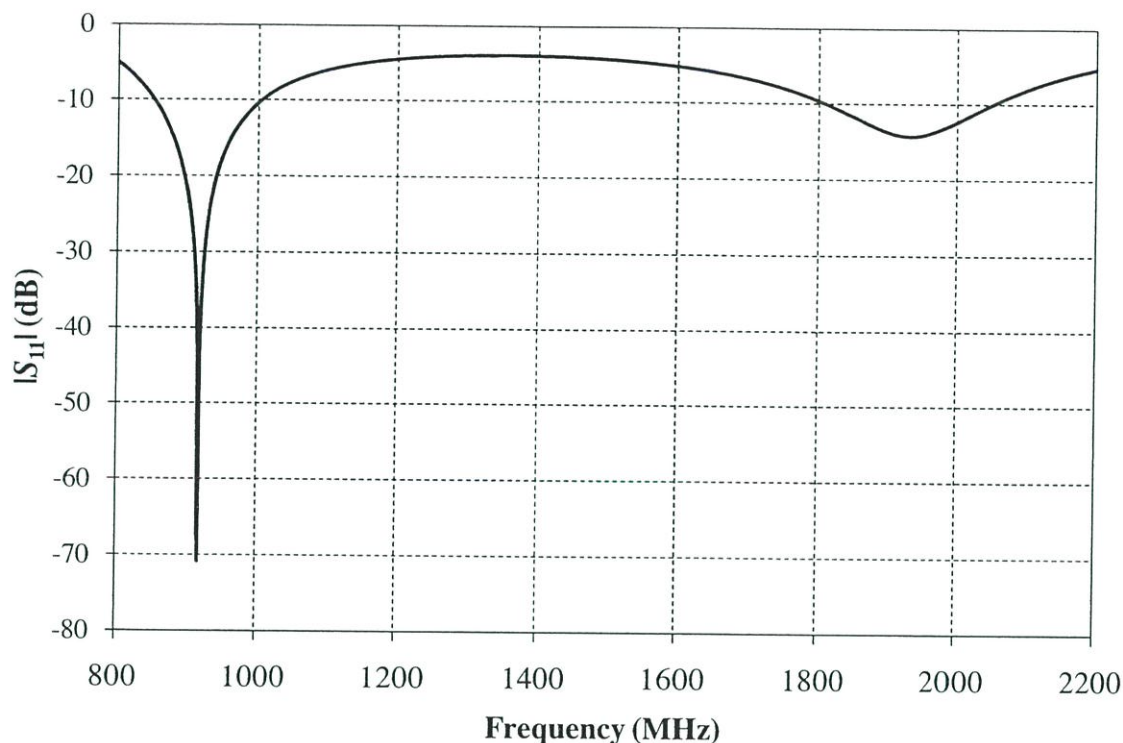


ข) Cb 3.7 พิโกฟาร์ต

รูปที่ 3.21 $|S_{11}|$ ของวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่า Cb

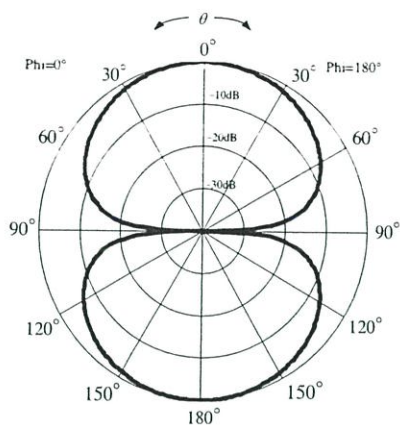
จากการปรับค่าความจุ (Cb) เปรียบเสมือนการปรับความกว้างของจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศ ดังรูปที่ 3.12 โดยการปรับค่าความจุมากขึ้นหรือน้อยลงจะไม่ส่งผลใดๆต่อความถี่ แต่จะมีผลกับการแมตชิงของสายอากาศโดยจะมีผลกับการแมตชิงที่แถบคลื่นความถี่สูงมากกว่าด้านแถบคลื่นความถี่ต่ำ

จากการออกแบบสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สายด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศที่ได้จากการจำลองจะสามารถแสดงได้ดังนี้

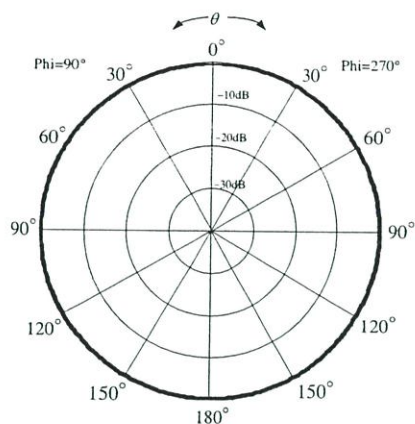


รูปที่ 3.22 $|S_{11}|$ ของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย

จากรูปที่ 3.22 แสดงค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ มีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -6 dB ที่ช่วงความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 812.6 ถึง 1099.8 MHz และ 1656.1 ถึง 2170.4 MHz ซึ่งครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด คือช่วงความถี่ตั้งแต่ 824 ถึง 960 MHz และ 1710 ถึง 2170 MHz โดยช่วงความถี่ที่ 850 MHz มีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่กลาง 859 MHz เท่ากับ -11.05 dB ช่วงความถี่ที่ 900 MHz มีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่กลาง 920 MHz เท่ากับ -39.641 dB ช่วงความถี่ที่ 1800 MHz มีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่กลาง 1795 MHz เท่ากับ -9.444 dB ช่วงความถี่ที่ 1900 MHz มีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่กลาง 1920 MHz เท่ากับ -14.145 dB และช่วงความถี่ที่ 2100 MHz มีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่กลาง 2045 MHz เท่ากับ -12.216 dB



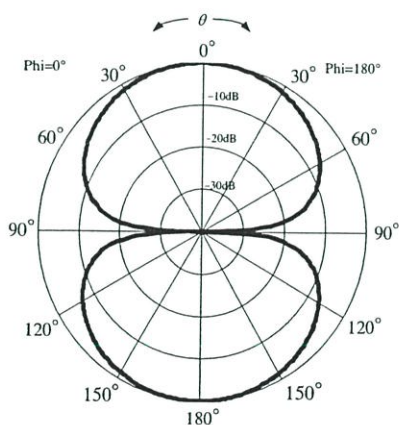
(ก) ระนาบ xz



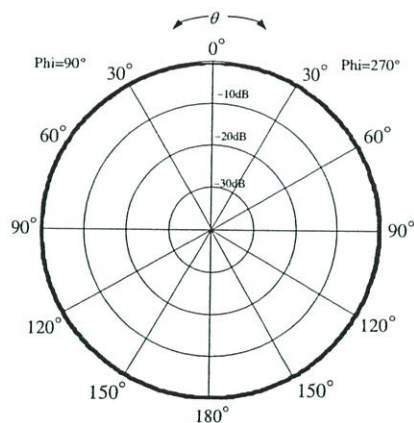
(ข) ระนาบ yz

รูปที่ 3.23 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 859 MHz

จากรูปที่ 3.23 (ก) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 859 MHz ทำให้ทราบค่า HPBW มีค่าเท่ากับ 83.8 องศา รูปที่ 3.14 (ข) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 859 MHz ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง



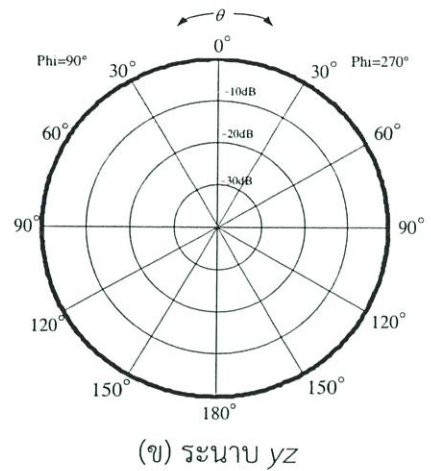
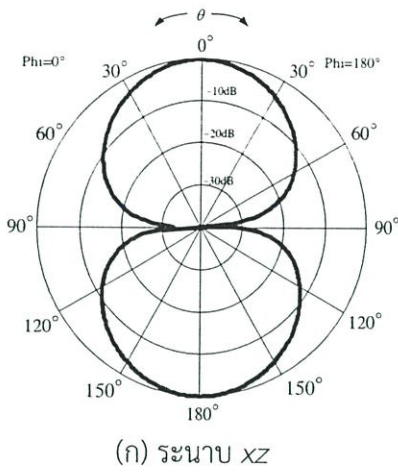
(ก) ระนาบ xz



(ข) ระนาบ yz

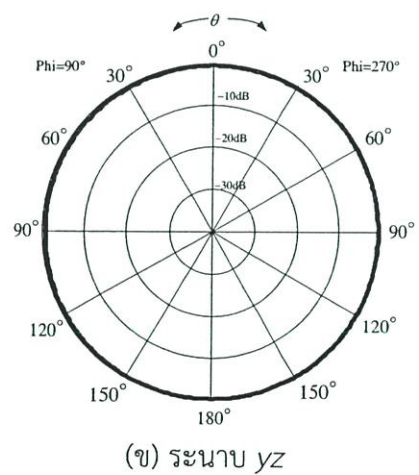
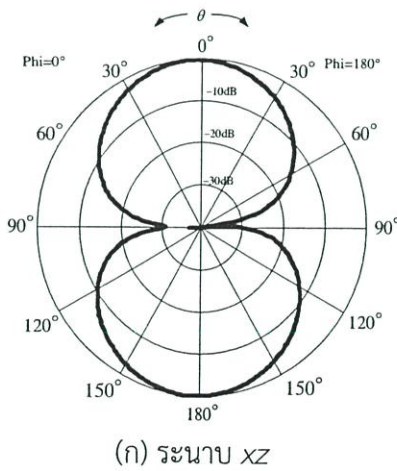
รูปที่ 3.24 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 920 MHz

จากรูปที่ 3.24 (ก) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 920 MHz ทำให้ทราบค่า HPBW มีค่าเท่ากับ 82.8 องศา รูปที่ 3.15 (ข) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 920 MHz ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง



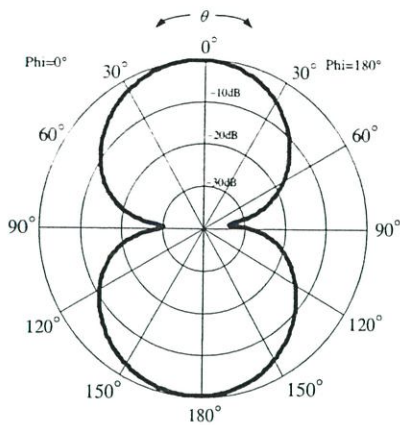
รูปที่ 3.25 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 1795 MHz

จากรูปที่ 3.25 (ก) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 1795 MHz ทำให้ทราบค่า HPBW มีค่าเท่ากับ 63.8 องศา รูปที่ 3.16 (ข) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 1795 MHz ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง

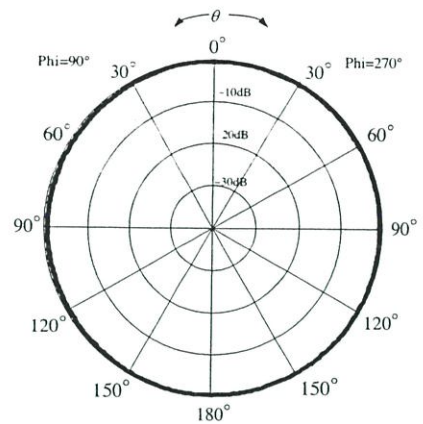


รูปที่ 3.26 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 1920 MHz

จากรูปที่ 3.26 (ก) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 1920 MHz ทำให้ทราบค่า HPBW มีค่าเท่ากับ 60.6 องศา รูปที่ 3.17 (ข) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 1920 MHz ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง



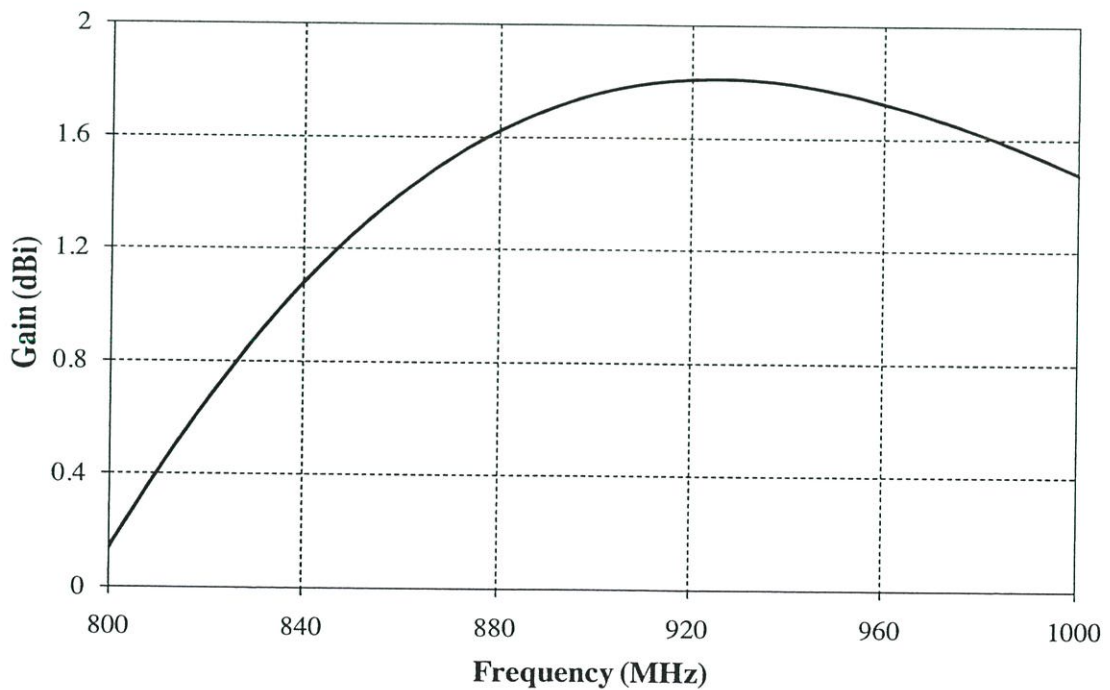
(ก) ระนาบ xz



(ข) ระนาบ yz

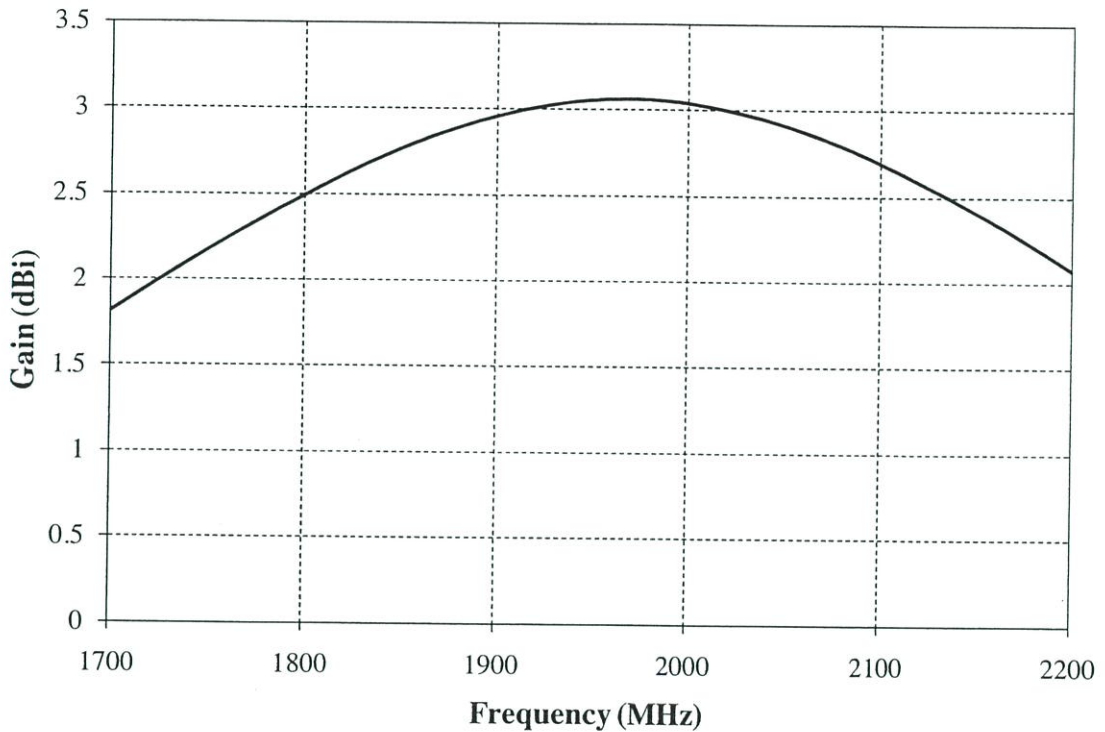
รูปที่ 3.27 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2045 MHz

จากรูปที่ 3.27 (ก) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 2045 MHz ทำให้ทราบค่า HPBW มีค่าเท่ากับ 57.5 องศา รูปที่ 3.18 (ข) คือ รูปแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 2045 MHz ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง



รูปที่ 3.28 อัตราขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ 850 และ 900 MHz

จากรูปที่ 3.28 แสดงค่าอัตราขยายของสายอากาศ โดยมีช่วงความถี่ใช้งานที่ 824 ถึง 894 MHz และ 880 ถึง 960 MHz ซึ่งมีอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 1.808 dBi และอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 0.138 dBi และอัตราขยายที่ความถี่ 859 MHz เท่ากับ 1.342 dBi และที่ความถี่ 920 MHz เท่ากับ 1.805 dBi



รูปที่ 3.29 อัตราขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ 1800 1900 และ 2100 MHz

จากรูปที่ 3.29 แสดงค่าอัตราขยายของสายอากาศ โดยมีช่วงความถี่ใช้งานที่ 1710 ถึง 1880 MHz 1850 ถึง 1990 MHz และ 1920 ถึง 2170 MHz ซึ่งมีอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 3.062 dBi และอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 1.788 dBi และอัตราขยายที่ความถี่ 1795 MHz เท่ากับ 2.456 dBi ที่ความถี่ 1920 MHz เท่ากับ 3.008 dBi และที่ความถี่ 2045 MHz เท่ากับ 2.924 dBi

ตารางที่ 3.5 สรุปคุณลักษณะของสายอากาศสำหรับโครงข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย

คุณลักษณะของสายอากาศ	ช่วงความถี่ 850 MHz	ช่วงความถี่ 900 MHz	ช่วงความถี่ 1700 MHz	ช่วงความถี่ 1800 MHz	ช่วงความถี่ 2100 MHz
$ S_{11} $ (dB)	-11.05	-39.64	-9.44	-14.14	-12.22
แบนด์วิดท์ (MHz)	824 ถึง 894	880 ถึง 960	1710 ถึง 1880	1850 ถึง 1990	1920 ถึง 2170
อัตราขยาย (dBi)	1.34	1.8	2.46	3.01	2.92
HPBW (Deg.)	83.8	82.8	63.8	60.6	57.5
โพลารไรซ์	เชิงเส้น	เชิงเส้น	เชิงเส้น	เชิงเส้น	เชิงเส้น
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	รอบทิศทาง	รอบทิศทาง	รอบทิศทาง	รอบทิศทาง	รอบทิศทาง

บทที่ 4

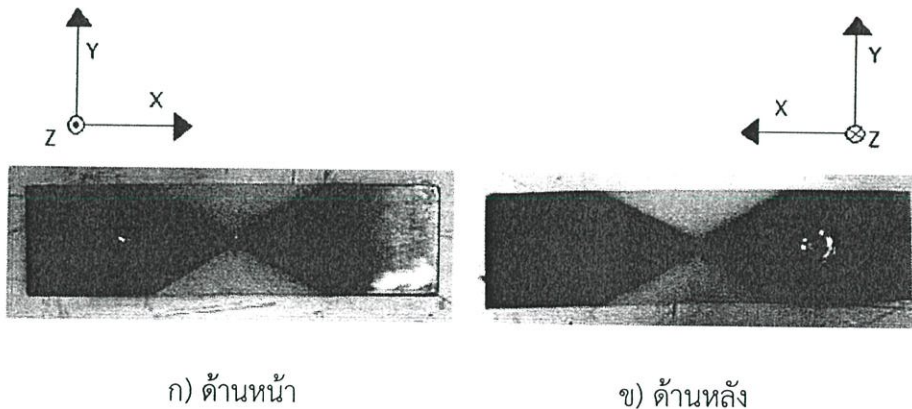
ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการแสดงผลการทดลองการทดสอบสายอากาศเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ซึ่งประกอบด้วย $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และ ระนาบ yz ที่ความถี่ 800 900 1800 1900 และ 2100 MHz และอัตราขยาย

4.2 ผลการสร้างสายอากาศต้นแบบ

วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบเป็นวัสดุแผ่นพิมพ์สองด้าน เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย มีความแข็งแรง ทนทาน น้ำหนักเบา และมีราคาถูก ชั้นผิวตัวนำเป็นทองแดง และมีฐานรองวัสดุเป็น FR4 มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เท่ากับ 4.3 ใช้ SMA CONNECTER เป็นตัวเชื่อมระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ ภาพสายอากาศต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.1 ส่วนพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้สร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงในตาราง 4.1 ซึ่งได้มาจากการทดลองในบทที่ 3



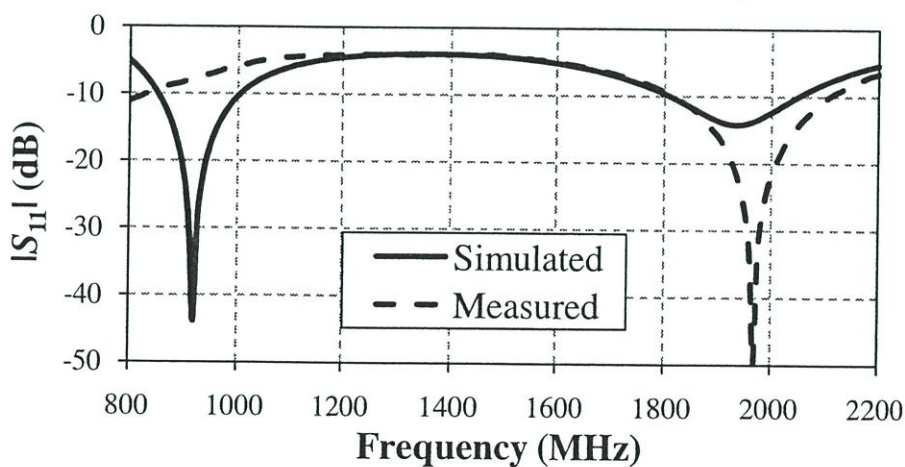
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายสายอากาศต้นแบบ

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ

พารามิเตอร์	ความหมาย	ขนาด (mm)
L	ความยาวของวัสดุฐานรอง	115
L_1	ความยาวของส่วนแพร่กระจายคลื่น	30
L_2	ความยาวของกราวนด์	35
L_c	ความยาวของจุดป้อนสัญญาณ	12
L_f	ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ	22
W	ความกว้างของวัสดุฐานรอง	30
W_1	ความกว้างของส่วนแพร่กระจายคลื่น	1
W_2	ความกว้างของกราวนด์	3
W_c	ความกว้างของจุดป้อนสัญญาณ	2
W_f	ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ	0.5

4.3 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$

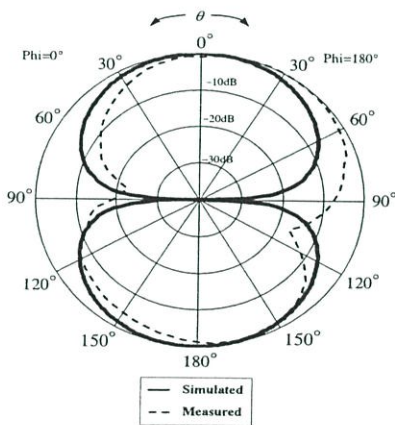
ผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ในช่วงความถี่ 800 900 1800 1900 และ 2100 MHz ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองและการทดสอบ

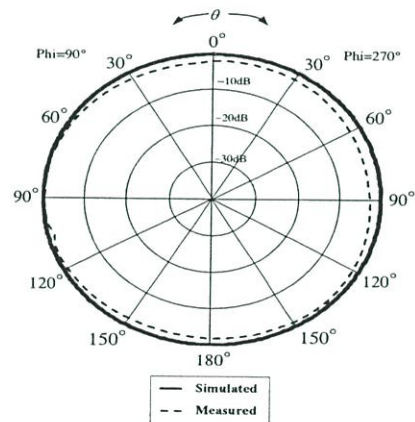
จากรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองและการทดสอบ พบว่า $|S_{11}|$ จากการจำลองมีค่าต่ำกว่า -6 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 814 MHz ถึง 989 MHz และ 1675 MHz ถึง 2172 MHz เช่นเดียวกับผลการทดสอบ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งาน โดยที่ความถี่กลาง 859 MHz $|S_{11}|$ จากการทดสอบมีค่า -9.37 dB ที่ความถี่กลาง 920 MHz $|S_{11}|$ จากการทดสอบมีค่า -7.82 dB ที่ความถี่กลาง 1795 MHz $|S_{11}|$ จากการทดสอบมีค่า -9.1 dB ที่ความถี่กลาง 1920 MHz $|S_{11}|$ จากการทดสอบมีค่า -18.71 dB และที่ความถี่กลาง 2045 MHz $|S_{11}|$ จากการทดสอบมีค่า -14.8 dB

4.4 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ที่ความถี่กลางของ 800 900 1800 1900 MHz และ 2100 MHz ในระนาบ xz และระนาบ yz แสดงดังรูปที่ 4.3 – 4.7



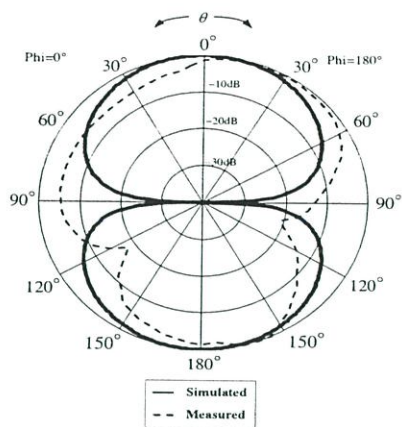
(ก) ระนาบ xz



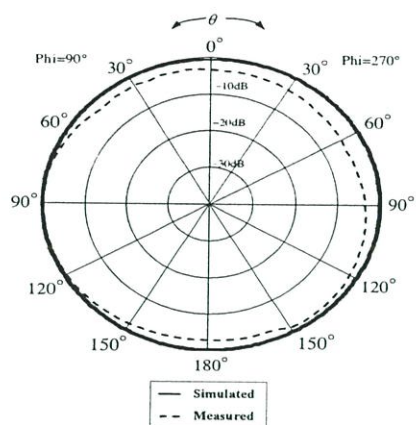
(ข) ระนาบ yz

รูปที่ 4.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 859 MHz จากการจำลองและการทดสอบ

จากรูปที่ 4.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับการจำลอง โดยมีค่า HPBW เท่ากับ 90 องศา ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง



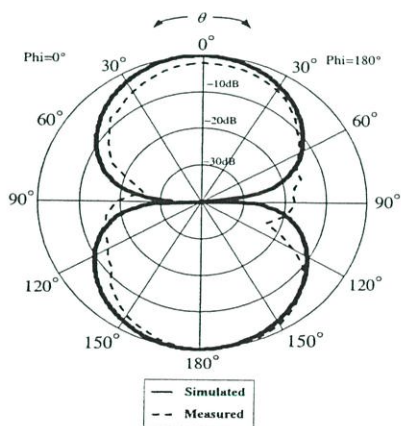
(ก) ระนาบ xz



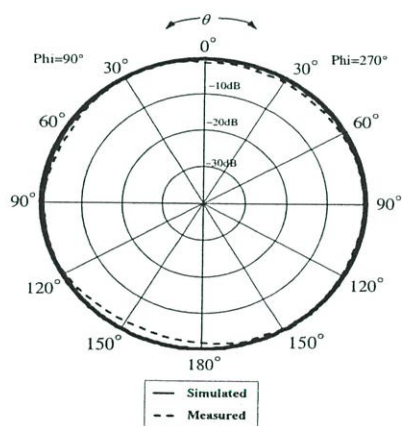
(ข) ระนาบ yz

รูปที่ 4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 920 MHz จากการจำลองและการทดสอบ

จากรูปที่ 4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับการจำลอง โดยมีค่า HPBW เท่ากับ 50 องศา ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง



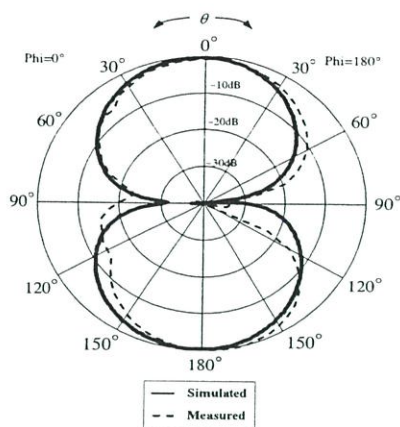
(ก) ระนาบ xz



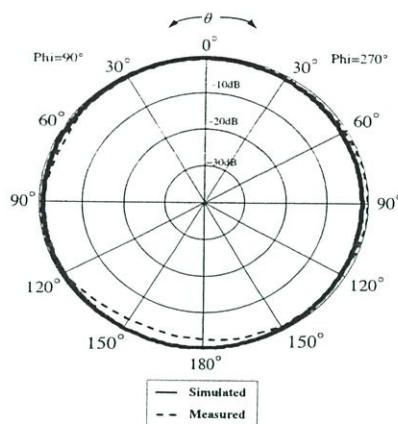
(ข) ระนาบ yz

รูปที่ 4.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 1795 MHz จากการจำลองและการทดสอบ

จากรูปที่ 4.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับการจำลอง โดยมีค่า HPBW เท่ากับ 60 องศา ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง



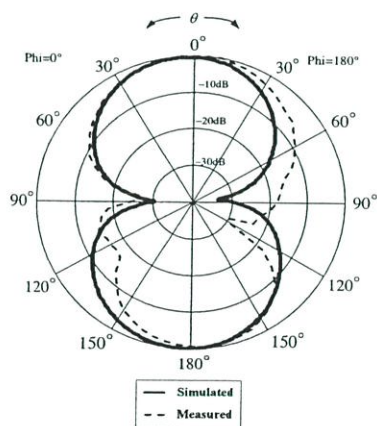
(ก) ระนาบ xz



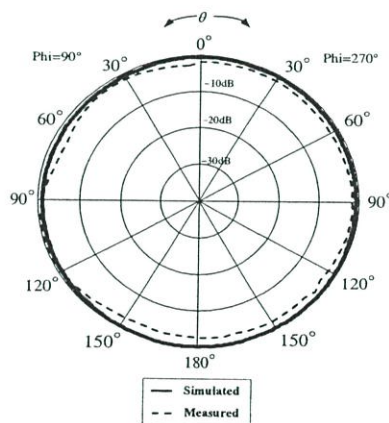
(ข) ระนาบ yz

รูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 1920 MHz จากการจำลองและการทดสอบ

จากรูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับการจำลอง โดยมีค่า HPBW เท่ากับ 50 องศา ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง



(ก) ระนาบ xz



(ข) ระนาบ yz

รูปที่ 4.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2045 MHz จากการจำลองและการทดสอบ

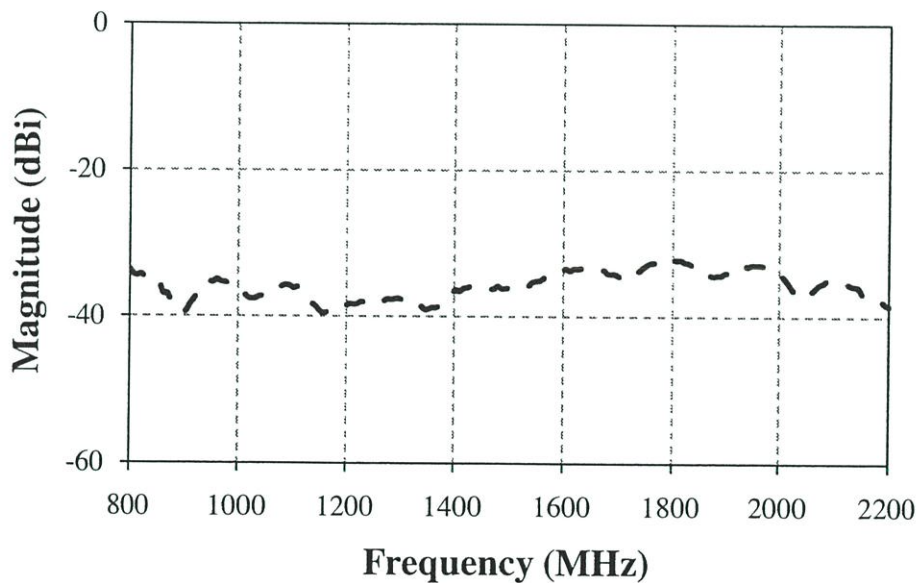
จากรูปที่ 4.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับการจำลอง โดยมีค่า HPBW เท่ากับ 50 องศา ซึ่งเป็นแบบรอบทิศทาง

4.5 ผลการทดสอบอัตราขยาย

ตารางที่ 4.2 อัตราขยายที่ความถี่กลางในแต่ละย่านความถี่จากการจำลองและการทดสอบ

ความถี่กลาง (MHz)	อัตราขยาย (dBi)	
	การจำลอง	การทดสอบ
859	1.34	-3.43
920	1.81	-2.2
1795	2.46	2.14
1920	3.01	4.28
2045	2.92	2.17

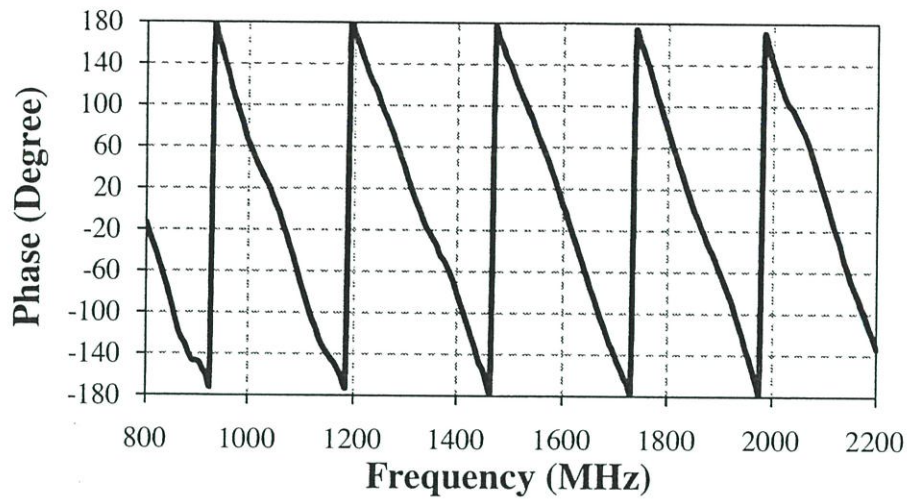
4.6 ผลการทดสอบแมกนิจูด



รูปที่ 4.8 แมกนิจูดที่ได้จากการทดสอบ

จากรูปที่ 4.8 เป็นแมกนิจูดที่ได้จากการทดสอบ พบว่า ที่ความถี่กลาง 859 MHz แมกนิจูดมีค่า -36.47 dBi ที่ความถี่กลาง 920 MHz แมกนิจูดมีค่า -37.34 dBi ที่ความถี่กลาง 1795 MHz แมกนิจูดมีค่า -33.22 dBi ที่ความถี่กลาง 1920 MHz แมกนิจูดมีค่า -33.55 dBi และที่ความถี่กลาง 2045 MHz แมกนิจูดมีค่า -35 dBi

4.7 ผลการทดสอบเฟส



รูปที่ 4.9 เฟสที่ได้จากการทดสอบ

จากรูปที่ 4.9 เป็นเฟสที่ได้จากการทดสอบ พบว่า มีลักษณะค่อนข้างเป็นเชิงเส้น ส่งผลให้ช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพที่ดี

4.8 อัตราขยายในการส่งผ่านโดยใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส

จากสมการที่ 2.14 และ 2.15 ในบทที่ 2

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f)G_i(f)G_r(f) \quad (2.14)$$

$$G_f(f) = \left(\frac{c}{4\pi df}\right)^2 \quad (2.15)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.15 แทนลงในสมการที่ 2.14 จะได้

$$\frac{P_r(f)}{P_t(f)} = \left(\frac{c}{4\pi df}\right)^2 G_i(f)G_r(f) \quad (4.1)$$

จากสมการที่ 4.1 $G_i(f) = G_r(f) = G(f)$ เนื่องจากสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบเป็นสายอากาศคู่เหมือน จะได้

$$\frac{P_r(f)}{P_t(f)} = \left(\frac{c}{4\pi df}\right)^2 2G(f) \quad (4.2)$$

จากสมการที่ 4.2 จัดให้อยู่ในหน่วย (dBi) จะได้

$$G(dBi) = 5 \log \frac{P_r(dBi)}{P_t(dBi)} + 10 \log \left(\frac{4\pi df}{c}\right)(dBi) \quad (4.3)$$

เมื่อ $5 \log \frac{P_r(dBi)}{P_t(dBi)}$ คือ แมกนิจูด

d คือ ระยะ Far-field

จากสมการที่ 4.3 คำนวณอัตราขยายที่ความถี่กลางในแต่ละย่านความถี่โดยระยะ Far-field ที่ใช้ในการทดสอบ คือ 100 เซนติเมตร แสดงค่าที่ได้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อัตราขยายที่ความถี่กลางในแต่ละย่านความถี่จากการคำนวณ

ความถี่กลาง (MHz)	อัตราขยาย (dBi)
859	-2.67
920	-2.81
1795	2.15
1920	2.28
2045	1.82

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการสรุปผลการทดลองการทดสอบสายอากาศ ซึ่งประกอบด้วย $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และ ระนาบ yz ที่ความถี่ 800 900 1800 1900 และ 2100 MHz และอัตราขยาย

5.2 สรุปผล

จากผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศมีค่าน้อยกว่า -6 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 800 MHz (824 - 894 MHz) 900 MHz (880 - 960 MHz) 1800 MHz (1710 - 1880 MHz) 1900 MHz (1850 - 1990 MHz) และ 2100 MHz (1920 - 2170 MHz) แต่ที่ช่วงความถี่ 800 MHz 900 MHz $|S_{11}|$ ของผลการทดสอบมีค่ามากกว่าผลการจำลอง ในขณะที่ช่วงความถี่ 1800 MHz 1900 MHz $|S_{11}|$ ของผลการทดสอบมีค่าน้อยกว่าผลการจำลอง เนื่องจากในขั้นตอนการสร้าง ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ ได้แก่ ความยาวของโลหะตัวนำ ความยาวของฐานโลหะตัวนำ ความยาวของฐานกราวด์ ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ และความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ อาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ใช้ในการจำลองผล แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับการจำลอง ซึ่งเป็นการแพร่กระจายแบบรอบทิศทาง และอัตราขยายจากผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับผลการจำลอง โดยอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 859 MHz เท่ากับ -3.43 dBi ความถี่ 920 MHz มีอัตราขยาย -2.2 dBi ความถี่ 1795 MHz มีอัตราขยาย 2.14 dBi ความถี่ 1915 MHz มีอัตราขยาย 4.28 dBi และ อัตราขยายที่ความถี่ 2045 GHz เท่ากับ 2.17 dBi

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบ $|S_{11}|$ ช่วงความถี่ 800 MHz 900 MHz $|S_{11}|$ ของผลการทดสอบมีค่ามากกว่าผลการจำลอง ในขณะที่ช่วงความถี่ 1800 MHz 1900 MHz $|S_{11}|$ ของผลการทดสอบมีค่าน้อยกว่าผลการจำลอง เนื่องจากในขั้นตอนการสร้าง ค่าพารามิเตอร์มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ใช้ในการจำลอง จึงส่งผลให้ $|S_{11}|$ ไม่เป็นไปตามผลการจำลอง

บรรณานุกรม

- [1] โทรศัพท์เคลื่อนที่...กว่าจะมาถึง 3G/4G. [Online]. Available : www.mut.ac.th/knowledge_in_power/knowledge_in_power.html
- [2] ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “คัมภีร์เทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือสู่ยุค 3G”, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2548.
- [3] 4G คืออะไร. [Online]. Available : www.ais.co.th/4g/what-4g.html
- [4] ความรู้เบื้องต้นของคลื่นวิทยุและสายอากาศ. Available : www.hs8jyx.com
- [5] Xiaoqin Liu and Gang Wang. “Double-Sided Bow-Tie Antenna for 2G/3G/WiFi and Mobile WiMAX” *4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2008.
- [6] T.A. Milligan, “Modern Antenna Design, 2nd Edition”, Wiley-IEEE, 2005.
- [7] C.A. Balanis, “Antenna Theory Analysis and Design, 3rd Edition”, John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [8] C.A. Balanis, “Advanced Engineering Electromagnetics”, John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [9] J.D. Kraus, R.J. Marhefka, “Antennas For All Applications, 3rd Edition”, McGraw-Hill, 2003.
- [10] M.K.A. Rahim, M.Z.A. Abdul Aziz and C.S. Goh. “Bow-Tie Microstrip Antenna Design” *7th Malaysia International Conference on Communication Jointly held*, IEEE, 2005.
- [11] W.S. Kaswiati. “Design and realization of planar bow-tie dipole array antenna with dual-polarization at 2.4 GHz frequency for Wi-Fi access point application” *7th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, 2012
- [12] Bow Tie Antennas. [Online], Available : <http://www.antenna-theory.com>
- [13] Equivalent circuit. [Online], Available : <http://lms.thaicyberu.go.th/officialtcu/main/ocwwweb/electrical-engineering-and-computer-science/6-013Electromagnetics-and-ApplicationsFall2002/PDF/LectureNotes/Lecture05.pdf>