

สายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก
ANTENNA FOR GPS SYSTEM

โดย

นางสาวพิมพ์ชนก ภัทรพงศ์ไชยกกุล
นางสาวพิมพ์ตา พัฒนเสรี
นายพีรพล ประสานเสียง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

สายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

ANTENNA FOR GPS SYSTEM



โดย

นางสาวพิมพ์ชนก ภัทรพงศ์ไชยกูล

นางสาวพิมพ์ตา พัฒนเสรี

นายพีรพล ประสานเสียง

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก
ANTENNA FOR GPS SYSTEM

โดย

นางสาวพิมพ์ชนก	ภัทรพงศ์ไชยกูล	52010842
นางสาวพิมพ์ตา	พัฒนเสรี	52010843
นายพีรพล	ประสานเสียง	52010857

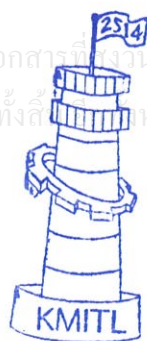
อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

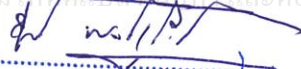
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รศ.ดร.จเร สุรวัฒน์ปัญญา

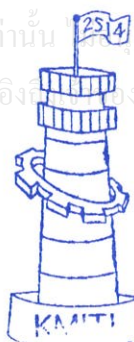
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555




ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว


อาจารย์ที่ปรึกษา
8/20/56

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว


กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน
...../...../.....

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

ANTENNA FOR GPS SYSTEM

ผู้จัดทำ

- | | |
|----------------------------------|----------|
| 1. นางสาวพิมพ์ชนก ภัทรพงศ์ไชยกูล | 52010842 |
| 2. นางสาวพิมพ์ตา พัฒนเสรี | 52010843 |
| 3. นายพีรพล ประสานเสียง | 52010857 |



(รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รศ.ดร.จเร สุรวัดน์ปัญญา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถสนับสนุนจาก รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญ พานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้คอยให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะ ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญา นิพนธ์นี้เป็นอย่างมาก อีกทั้งการสั่งสอน ว่ากล่าวตักเตือนเพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ประสบความสำเร็จ ดังที่ตั้งใจไว้

นอกจากนี้ก็ขอขอบคุณนายสิทธิชัย เต็นตรี และพี่ๆห้องโปรเจกต์ทุกคน ที่คอยให้ คำแนะนำ คอยให้กำลังใจ และ คอยช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง รวมทั้งเพื่อนๆทุกคนที่คอยถามไถ่และให้ กำลังใจในการเรียนและการทำปริญญาานิพนธ์โดยตลอด และสุดท้ายขอขอบคุณผู้ปกครอง ที่ให้ ความสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

นางสาวพิมพ์ชนก ภัทรพงศ์ไชยกุล
นางสาวพิมพ์ตา พัฒนเสรี
นายพีรพล ประสานเสียง
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก
ANTENNA FOR GPS SYSTEM

โดย นางสาวพิมพ์ชนก ภัทรพงศ์ไชยกุล 52010842
นางสาวพิมพ์ตา พัฒนเสรี 52010843
นายพีรพล ประสานเสียง 52010857

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.จเร สุรวัดน์ปัญญา

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศแผ่นระนาบสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) รวมไปถึงการสร้างและทดสอบสายอากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สายอากาศสามารถใช้งานกับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกที่ความถี่ 1.575 GHz มีแบนด์วิดธ์ 10 MHz และสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีทิศทางแบบรอบทิศทาง

ABSTRACT

This project is study about the designing of patch antenna for GPS system, to create and test for this application. The antenna is intended to be used for GPS application at a frequency 1.575 GHz, 10 MHz bandwidth and with omnidirectional radiation pattern.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความหมายและความเป็นมาของสายอากาศระบุตำแหน่งบนพื้นโลก	4
2.2 ดาวเทียม	4
2.3 ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก	6
2.4 สายอากาศ	8
2.5 สายอากาศไมโครสตริบ	8
2.6 สูตร	28
บทที่ 3	
การออกแบบ	26
3.1 บทนำ	26
3.2 การออกแบบ	26
3.3 การจัดเก็บผลการจำลอง	42
3.4 สรุปผลการจำลอง	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
การทดสอบ	46
4.1 บทนำ	46
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศ	46
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	47
4.4 การติดตั้งการทดสอบและผลการทดสอบ	47
4.5 สรุปผลการทดสอบ	54
บทที่ 5	
การประยุกต์การใช้งาน	55
5.1 MODULE และ GPSFOX	55
5.2 วิธีการทดสอบ	57
5.3 ผลการทดสอบ	57
5.4 สรุปผลการทดสอบ	63
บทที่ 6	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	64
6.1 สรุปผล	64
6.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	3
2.1	6
2.2	7
2.3	9
2.4	18
2.5	19
2.6	19
2.7	20
2.8	21
2.9	22
2.10	23
3.1	26
3.2	29
3.3	29
3.4	30
3.5	31
3.6	31
3.7	32
3.8	33
3.9	33
3.10	34
3.11	35
3.12	35
3.13	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.14	$ S_{11} $ เทียบกับความสูงของสายนำสัญญาณ (L)	37
3.15	$ S_{11} $ เทียบกับความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ (H)	37
3.16	$ S_{11} $ เทียบกับระยะห่างของร่องกากบาท (G_A)	38
3.17	$ S_{11} $ เทียบกับความกว้างของร่องกากบาท (W_A)	39
3.18	$ S_{11} $ เทียบกับความสูงของร่องกากบาท (L_A)	39
3.19	อัตราส่วนแกนเทียบกับขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น (C_c)	40
3.20	อัตราส่วนแกนเทียบกับตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F)	41
3.21	$ S_{11} $ ของสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก	42
3.22	อัตราขยายช่วงความถี่ที่ 1.0 GHz ถึง 2.0 GHz	43
3.23	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	44
4.1	สายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก	46
4.2	การทดสอบสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย	48
4.3	$ S_{11} $ เปรียบเทียบการจำลองกับการทดสอบที่ความถี่ 1.575 GHz	48
4.4	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ห้องไร้การสะท้อน	49
4.5	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบ XZ ที่ความถี่ 1.575 GHz	50
4.6	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ YZ ที่ความถี่ 1.575 GHz	51
4.7	อัตราขยายเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ	52
5.1	MODULE EET รุ่น ET-GPS START KIT	55
5.2	โปรแกรม GPSFOX	56
5.3	พิกัดตำแหน่งจากโปรแกรมGPSFOX	58
5.4	ตำแหน่งและพิกัดของ ดิจ5คณะวิศวกรรมศาสตร์จาก GOOGLE MAP	59
5.5	พิกัดตำแหน่งจากโปรแกรม GPSFOX	60
5.6	ตำแหน่งและพิกัดของ ดิจECC (ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์) จาก GOOGLE MAP	61
5.7	พิกัดตำแหน่งจากโปรแกรม GPSFOX	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 5.8 ตำแหน่งและพิกัดของสนามกีฬาพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 63 การค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ย่านความถี่ที่รองรับสัญญาณ GPS	8
3.1 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น	34
3.2 สรุปค่าพารามิเตอร์	41
3.3 สรุปสมรรถนะของสายอากาศที่ได้จากการจำลอง	45
4.1 ระยะเวลาในระยะไกล	50
4.2 อินพุตอิมพีแดนซ์	52
4.3 อัตราขยาย	53
4.4 สรุปสมรรถนะสายอากาศ	53
6.1 สรุปสมรรถนะสายอากาศ	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน เทคโนโลยีการสื่อสารทางโทรคมนาคม เข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องจำเป็นก็ว่าได้ เนื่องจากเทคโนโลยีใหม่ๆ จะทำให้สามารถรับรู้ข่าวสารได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งส่วนสำคัญในการส่งข้อมูลก็คือตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูล ในอดีตจะเป็นการใช้การส่งผ่านสายส่ง ซึ่งมักจะมีปัญหาและข้อจำกัดทางการทำงานด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความยุ่งยากในการติดตั้งสายส่ง การพัฒนาและการซ่อมบำรุงก็เป็นไปค่อนข้างยาก ซึ่งต่อมาก็ได้มีการพัฒนาเป็นการส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สาย และได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกมีชื่อเต็มคือ NAVSTAR Global Positioning System คำว่า NAVSTAR เป็นอักษรย่อมาจาก Navigation Satellite Timing and Ranging ภาคของคำว่าดาวเทียมสำหรับนำร่อง คือระบบที่ระบุตำแหน่งทุกแห่งบนโลก เป็นระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก โดยอาศัยการคำนวณพิกัด จากดาวเทียมระบุตำแหน่ง จำนวน 24 ดวง ที่โคจรรอบอยู่รอบโลก ในระดับสูงประมาณ 20,000 กิโลเมตร ทำให้สามารถชี้บอกตำแหน่งได้ทุกแห่งบนโลก ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง [1]

ดาวเทียมคือ สิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์คิดค้นขึ้น ที่สามารถโคจรรอบโลก โดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก ส่งผลให้สามารถโคจรรอบโลกได้ในลักษณะเดียวกันกับที่ดวงจันทร์โคจรรอบโลก และโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ วัตถุประสงค์ของสิ่งประดิษฐ์นี้เพื่อใช้ ทางทหาร การสื่อสาร การรายงานสภาพอากาศ การวิจัยทางวิทยาศาสตร์เช่นการสำรวจทางธรณีวิทยาสังเกตการณ์สภาพของอวกาศ โลก ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และดาวอื่นๆ รวมถึงการสังเกตวัตถุ และดวงดาว ดาราจักร ต่างๆ

สายอากาศ (Antenna) คืออุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่น ความถี่วิทยุ (Radio frequency) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและในทางกลับกันก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน สายอากาศมีหลายขนาดและรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น สายอากาศโทรทัศน์ในบ้าน มักติดตั้งไว้บนหลังคา ทำด้วยอะลูมิเนียม เพราะน้ำหนักเบาและทนต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าโลหะทั่วไป สายอากาศของไม้กลายเป็นเพียงสายไฟสั้นๆ หรือสายอากาศของโทรศัพท์มือถือ เป็นเพียงจุดเชื่อมต่อเล็กๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

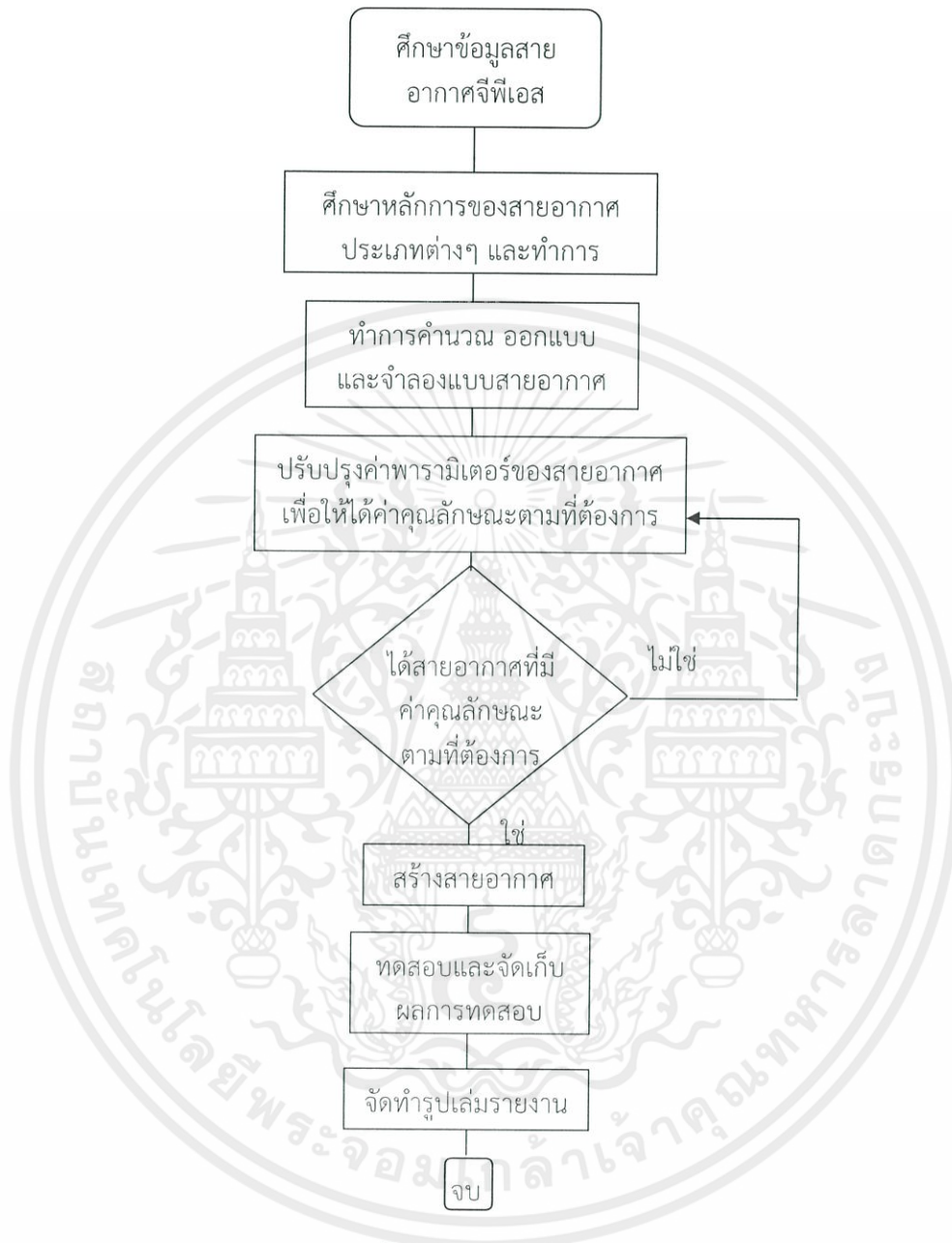
โครงการฉบับนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกที่ความถี่ 1.575 GHz และมีค่าแบนด์วิดธ์อยู่ระหว่าง 1.57 GHz – 1.58 GHz

- 1) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ
- 2) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับค่าคุณลักษณะ และ แนวโน้มเมื่อทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ
- 3) เพื่อศึกษาและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อออกแบบจำลองและทำการสร้างสายอากาศ
- 4) เพื่อนำสายอากาศที่สร้างมาใช้ประโยชน์ในระบบสื่อสารได้จริง

1.3 ขอบเขตของปริิญาานิพนธ์

- 1) ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก
- 2) ออกแบบ จำลองและวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศ
- 3) สร้างสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก
- 4) ทดสอบค่าคุณลักษณะของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงการทำงาน

จากแผนผังแสดงการทำงานดังรูปที่ 1.1 เราจะทำการศึกษาข้อมูลต่างๆ ทำการออกแบบจากการคำนวณและจำลองสายอากาศด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่างๆจนกว่าจะได้สายอากาศที่มีค่าคุณลักษณะตามที่ต้องการ จึงนำค่าที่ได้ไปสร้างสายอากาศต้นแบบ นำสายอากาศที่สร้างไปทดสอบ รวมทั้งจัดทำรูปเล่มรายงานควบคู่ไปด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของข้าพเจ้าซึ่งมีขึ้นเพื่อประโยชน์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีและหลักการของสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก โดยจะเริ่มที่ความเป็นมารวมไปถึงรายละเอียดเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง ในส่วนที่จะกล่าวในหัวข้อถัดมาคือคุณสมบัติของสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่ง และ ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

2.1 ความหมายและความเป็นมาของสายอากาศระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณ หรือท่อนำคลื่นให้แพร่กระจายออกสู่ตัวกลางที่สายอากาศวางอยู่ เช่น ช่องว่างอิสระ (Free Space) หรือไดอิเล็กตริก และในทางกลับกันจะทำหน้าที่รับคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางให้เข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณได้ การศึกษาแบบรูปการกระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดจึงมีความสำคัญ ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะเหมาะสมของสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม

สายอากาศระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS Antenna) เป็นอุปกรณ์สำหรับรับสัญญาณเพื่อบอกตำแหน่งพิกัด (Global Position System) ในระบบ GPS นี้ได้รับการพัฒนาโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา ในอดีตระบบนี้มีไว้สำหรับใช้งานในทางทหารเพื่อการคำนวณค่าตำแหน่งพิกัด และใช้ในการนำร่องได้ทุกจุดบนพื้นโลก แต่ในปัจจุบันระบบ GPS ยังสามารถนำมาใช้งานในทางพาณิชย์ เพื่อการนำทางหรือเพื่อการสำรวจการทำเหมืองแร่ และป่าไม้ ได้อีกด้วย ดังนั้นจึงมีความสำคัญและเป็นที่ยอมรับอย่างมากในปัจจุบัน

2.2 ดาวเทียม

ดาวเทียม (Satellite) คือ สิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์คิดค้นขึ้น ที่สามารถโคจรรอบโลก โดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก ส่งผลให้สามารถโคจรรอบโลกได้ในลักษณะเดียวกันกับที่ดวงจันทร์โคจรรอบโลก และโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ วัตถุประสงค์ของสิ่งประดิษฐ์นี้เพื่อใช้ ทางทหาร การสื่อสาร การรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพอากาศ การวิจัยทางวิทยาศาสตร์เช่นการสำรวจทางธรณีวิทยาสังเกตการณ์สภาพของอวกาศ โลก ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และดาวอื่นๆ รวมถึงการสังเกตวัตถุ และดวงดาว ดาราจักร ต่างๆ

2.2.1 วงโคจรของดาวเทียม

วงโคจรดาวเทียม (Satellite Orbit) เมื่อแบ่งตามระยะความสูง (Altitude) จากพื้นโลก แบ่งเป็น 3 ระยะคือ

- วงโคจรต่ำของโลก (Low Earth Orbit "LEO")

คือระยะสูงจากพื้นโลกไม่เกิน 2,000 กม. ใช้ในการสังเกตการณ์ สำรวจสถานะแวดล้อม ถ่ายภาพ ไม่สามารถใช้งานครอบคลุมบริเวณใดบริเวณหนึ่งได้ตลอดเวลา เพราะมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูง สถานีภาคพื้นดินจะกำหนดเส้นทางโคจรอยู่ในแนวขั้วโลก (Polar Orbit)

- วงโคจรระยะปานกลาง (Medium Earth Orbit "MEO")

อยู่ที่ระยะความสูงตั้งแต่ 10,000 กม. ขึ้นไป ส่วนใหญ่ใช้ในด้านการเดินเรือ และสามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารเฉพาะพื้นที่ได้ แต่หากจะติดต่อให้ครอบคลุมทั่วโลกจะต้องใช้ดาวเทียมหลายดวงในการส่งผ่าน

- วงโคจรประจำที่ (Geostationary Earth Orbit "GEO")

เป็นดาวเทียมเพื่อการสื่อสารเป็นส่วนใหญ่ อยู่สูงจากพื้นโลก 35,786 กม. เส้นทางโคจรอยู่ในแนวเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Orbit) ดาวเทียมจะหมุนรอบโลกด้วยความเร็วเชิงมุมเท่ากับโลกหมุนรอบตัวเองทำให้ดูเหมือนลอยนิ่งอยู่เหนือ จุดจุดหนึ่งบนโลกตลอดเวลา (เรียกทั่ว ๆ ไปว่า ดาวเทียมค้างฟ้า) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

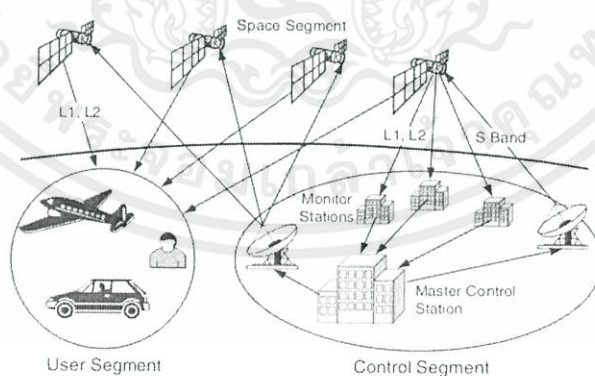
2.3 ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Position System: GPS)

GPS ย่อมาจาก Global Position System เป็นระบบบอกตำแหน่งพิกัด ระบบ GPS นี้ได้รับการพัฒนาโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา สำหรับใช้งานในทางทหาร เพื่อการคำนวณค่าตำแหน่งพิกัด และใช้ในการนำร่อง ได้ทุกจุดบนพื้นโลก แต่ระบบ GPS ยังสามารถนำมาใช้งานในทางพาณิชย์ เพื่อการนำทางหรือเพื่อการสำรวจการทำเหมืองแร่และป่าไม้

แนวคิดในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก เริ่มต้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1957 เมื่อนักวิทยาศาสตร์ของสหรัฐอเมริกา นำโดย Dr. Richard B. Kershner ได้ติดตามการส่งดาวเทียมสปุตนิกของโซเวียต และพบปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ของคลื่นวิทยุที่ ส่งมาจากดาวเทียมพวกเขาพบว่า หากทราบตำแหน่งที่แน่นอนบนพื้นผิวโลก ก็สามารถระบุตำแหน่งของดาวเทียมได้จากการตรวจวัดดอปเปลอร์ และหากทราบตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียม ก็สามารถระบุตำแหน่งบนพื้นโลกได้ ในทางกลับกัน กองทัพอากาศสหรัฐฯ ได้ทดลองระบบนำทางด้วยดาวเทียม ชื่อ TRANSIT เป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1960 ประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 5 ดวง ส่วนดาวเทียมที่ใช้ในระบบจีพีเอส (GPS Block-I) ส่งขึ้นทดลองเป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1978 เพื่อใช้ในทางการทหาร

2.3.1 องค์ประกอบของระบบดาวเทียมระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 องค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 ภาคอวกาศ (Space Segment)

ประกอบด้วย กลุ่มของดาวเทียม GPS ที่โคจรรอบโลก สองรอบใน 1 วัน ซึ่งจะส่งสัญญาณเวลาที่มีความแม่นยำสูง และข้อมูลที่สำคัญอื่นๆ ที่จะใช้ในการคำนวณ ตำแหน่งพิกัด ไปยังทุกจุดบนพื้นโลก ตลอด 24 ชั่วโมง

2.3.1.2 ภาคพื้นโลก (Ground Segment)

ประกอบด้วย กลุ่มของสถานีควบคุมดาวเทียม ทำหน้าที่ควบคุม วงโคจร ดาวเทียม คำนวณวงโคจรและตำแหน่งดาวเทียม ตรวจสอบความผิดพลาดของวงโคจร ปรับแก้ความถูกต้อง ของสัญญาณเวลา นำข้อมูลทั้งหมดมาปรับแก้ ก่อนส่งข้อมูลที่ถูกต้อง ขึ้นไปที่ดาวเทียม เพื่อส่งสัญญาณลงมายังผู้ใช้ ทั่วโลก โดยสถานีควบคุมดาวเทียมทั่วโลกมีทั้งหมด 5 แห่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สถานีควบคุมดาวเทียม [4]

2.3.1.3 ภาคผู้ใช้ (Users Segment)

ประกอบด้วย ผู้ใช้งาน และ เครื่องบอกตำแหน่งพิกัด ซึ่งก็คือเครื่องรับสัญญาณ GPS (GPS Receiver) ที่รับข้อมูล ต่างๆ จากดาวเทียม GPS แล้วนำมาคำนวณ หาตำแหน่งพิกัดของเครื่อง โดยย่านความถี่ที่รองรับการใช้งานเป็นดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ที่รองรับสัญญาณ GPS [5]

แบนด์	ความถี่ (GHz)	การนำไปใช้งาน
L_1	1.57542	ประชาชนทั่วไป
L_2	1.22760	กระทรวงกลาโหม
L_3	1.38105	ใช้ได้เฉพาะสหรัฐอเมริกาสำหรับตรวจหาระเบิดนิวเคลียร์ (NUDET) และใช้กับระบบตรวจจับ (USNDS) เพื่อตรวจสอบตำแหน่งระเบิดนิวเคลียร์
L_4	1.37991	ยังอยู่ในขั้นพัฒนา
L_5	1.17645	การบินของกองทัพอากาศ

2.4 สายอากาศ

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณ หรือท่อนำคลื่นให้แพร่กระจายออกสู่ตัวกลางที่สายอากาศวางอยู่ เช่น ช่องว่างอิสระ (Free Space) หรือไดอิเล็กตริก และในทางกลับกันจะทำหน้าที่รับคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางให้เข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณได้ การศึกษาแบบรูปการกระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดจึงมีความสำคัญ ในบทนี้จึงจะกล่าวถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมของสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม [6]

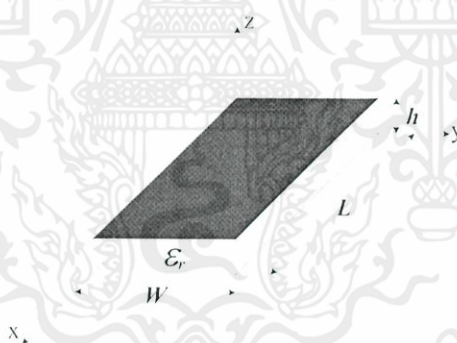
2.5 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

สายอากาศไมโครสตริปได้เริ่มมีการใช้งานตั้งแต่ในทศวรรษที่ 50 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีอยู่หลายแบบด้วยกันซึ่งแบ่งตามลักษณะของแผ่นไมโครสตริปและลักษณะการป้อนสัญญาณ โครงสร้างของไมโครสตริปจะประกอบด้วยตัวนำอยู่สองด้าน ด้านหนึ่งเรียกว่า แผ่นระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราวด์และด้านที่สองใช้สำหรับการสร้างตัวป้อนสัญญาณลายวงจรหรือสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นลงไป โดยส่วนใหญ่จะมีสารไดอิเล็กตริกซึ่งเรียกว่า วัสดุฐานรองที่เป็นสารไดอิเล็กตริก (Dielectric Substrate) อยู่ตรงกลางมีความหนาของวัสดุฐานรอง (h) ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุฐานรองแสดงด้วยค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant: ϵ_r) และค่าของมุมความสูญเสีย (Loss Tangent: δ) โดยทั่วไปสายอากาศแบบไมโครสตริปจะมีโครงสร้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น เพื่อที่จะสามารถทำงานที่โหมดหลัก (Fundamental Mode) คือ TM_{01} หรือ TM_{10} ที่ความถี่เรโซแนนซ์ได้ ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปมีคุณสมบัติที่เป็นข้อได้เปรียบกว่าสายอากาศชนิดอื่น ๆ เช่น มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีลักษณะแบนราบ น้ำหนักเบา ต้นทุนการผลิตต่ำ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริปโดยทั่วไปจะมีข้อเสีย คือ มีประสิทธิภาพต่ำ ค่า Q สูงทนกำลังงานได้ต่ำ ความบริสุทธิ์โพลาไรซ์ไม่ดี (Poor Polarization Purity) และช่วงกว้างแถบความถี่แคบ เป็นต้น [7]

2.5.1 ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับโพรง (Cavity Resonance)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับโพรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามรูปที่ 2.3 สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$(f_r)_{mnp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{h}\right)^2} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ h คือ ความสูงของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

L คือ ความยาวของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

W คือ ความกว้างของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

μ คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก

ϵ คือ ค่าสภาพยอมไฟฟ้า

m คือ จำนวนของการเปลี่ยนแปลงครึ่งรอบสนามในทิศทาง x

n คือ จำนวนของการเปลี่ยนแปลงครึ่งรอบสนามในทิศทาง y

p คือ จำนวนของการเปลี่ยนแปลงครึ่งรอบสนามในทิศทาง z

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปที่มี $h \ll L$ และ $h \ll W$ สามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ได้ตามสมการต่อไปนี้ คือ เมื่อ $h < W < L$ จะทำให้เกิดโหมดเป็นใหญ่ (Dominant Mode) เป็น TM_{100} และความถี่เรโซแนนซ์หาได้ดังนี้ คือ

$$(f_r)_{100} = \frac{1}{2L\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

โดยที่ v_0 คือ ความเร็วของแสง

ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

เมื่อ $h < \frac{L}{2} < W < L$ จะทำให้เกิดโหมดที่สอง (Second Mode) เป็น TM_{010} และความถี่เรโซแนนซ์หาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2W\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_o}{2W\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

แต่ในกรณี $h < W < \frac{L}{2}$ จะทำให้เกิดโหมดที่สองเป็น TM_{200}^x แทนโหมด TM_{010}^x และสามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ ได้ดังนี้

$$(f_r)_{200} = \frac{1}{L\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_o}{L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

และในกรณี $h < L < W$ จะทำให้เกิดโหมดเป็นใหญ่เป็น TM_{010}^x และสามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ ได้จากสมการที่ 2.3 นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ในกรณี $h < L < \frac{W}{2} < W$ จะทำให้เกิดโหมดที่สองเป็น TM_{020}^x

2.5.2 ลักษณะการป้อนสัญญาณ

กลไกการป้อนสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริบจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโครงสร้างสายอากาศ โดยทั่วไปเทคนิคการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. เทคนิคการป้อนสัญญาณโดยการเชื่อมต่อโดยตรงกับตัวแพร่กระจายคลื่น นั่นคือ เทคนิคการป้อนสัญญาณด้วยเส้นไมโครสตริบ (Microstrip Line) และเทคนิคการป้อนสัญญาณด้วยโพรบที่เป็นสายโคแอกเซียล (Coaxial Probe)
2. เทคนิคการป้อนสัญญาณโดยการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า (Coupling) ซึ่งจะอาศัยหลักการเชื่อมต่อกันของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ นั่นคือ เทคนิคการเชื่อมต่อผ่านทางช่องเชื่อมต่อ (Aperture Coupling) และเทคนิคการเชื่อมต่อในระยะใกล้ (Proximity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการป้อนสัญญาณด้วยเส้นไมโครสตริป เป็นการเชื่อมต่อโดยตรงกับขอบของตัวแพร์กระจายคลื่น เทคนิคนี้จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้กับวัสดุฐานรองที่บาง

เทคนิคการป้อนสัญญาณด้วยโพรบที่เป็นสายโคแอกเซียล เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้ตัวนำด้านในของสายโคแอกเซียลเชื่อมต่อกับตัวแพร์กระจายคลื่นผ่านทางช่องในตัวกลางไดอิเล็กตริก ส่วนตัวนำด้านนอกเชื่อมต่อกับกราวด์ของสายอากาศไมโครสตริป ข้อดีของการป้อนสัญญาณแบบนี้คือ สามารถป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศได้ทุกตำแหน่ง แต่ข้อเสีย คือ จะทำให้มีความกว้างแถบความถี่ที่แคบ

เทคนิคการเชื่อมต่อผ่านทางช่องเชื่อมต่อ เป็นการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศโดยที่เส้นไมโครสตริปจะแยกออกจากตัวแพร์กระจายด้วยระนาบกราวด์ ดังนั้นการป้อนสัญญาณจากเส้นไมโครสตริปให้กับตัวแพร์กระจายคลื่นจึงอาศัยการเชื่อมต่อผ่านทางช่องเชื่อมต่อบนระนาบกราวด์ เนื่องจากการป้อนสัญญาณแบบนี้ทำให้สายอากาศมีหลายชั้นจึงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเทคนิคการป้อนสัญญาณวิธีอื่น ๆ แต่ทำการออกแบบได้ง่าย

เทคนิคการเชื่อมต่อในระยะใกล้ จะมีเส้นไมโครสตริปอยู่ระหว่างวัสดุฐานรองสองชนิดที่ต่างกัน และมีตัวแพร์กระจายคลื่นอยู่บนวัสดุฐานรองชั้นบน ส่วนระนาบกราวด์จะอยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองชั้นล่าง

2.5.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือรูปที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งสามารถแสดงถึงค่าของความหนาแน่นของกำลังการแพร่กระจายคลื่น (Power Density) ความเข้มของสนาม (Field Intensity) เฟสหรือการโพลาไรซ์ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีการกระจายตัวใน 3 มิติ สามารถแสดงได้โดยการใช้ระบบพิกัดแบบ 3 มิติ และโดยทั่วไปแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนั้น จะพิจารณาในบริเวณสนามระยะไกล (Far Field Zone)

1. ลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern Lobes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นบริเวณที่ปิดล้อมด้วยส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งแสดงในแกนเชิงขั้ว 3 มิติ ประกอบไปด้วยลำคลื่นต่าง ๆ คือ ลำคลื่นหลัก (Major Or Main Lobe) ลำคลื่นย่อย (Minor Lobes) ลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side Lobe) และลำคลื่นย่อยด้านหลัง (Back Lobes)

ลำคลื่นหลัก คือ ลำคลื่นของสายอากาศที่มีความแรงมากกว่าลำคลื่นอื่น

ลำคลื่นย่อย คือ ลำคลื่นอื่นใดนอกเหนือจากลำคลื่นหลัก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความแรงน้อยกว่าลำคลื่นหลัก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ลำคลื่นย่อยด้านข้าง คือ ลำคลื่นย่อยที่มีทิศทางในระนาบเดียวกับลำคลื่นหลัก
2. ลำคลื่นย่อยด้านหลัง คือ ลำคลื่นย่อยที่มีทิศทางในระนาบตรงกันข้ามกับลำคลื่นหลัก

ลำคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ (Grating lobe) คือ ลำคลื่นย่อยที่มีขนาดใกล้เคียงกับลำคลื่นหลักแต่เกิดในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ดังนั้นสายอากาศที่ดีต้องจำกัดลำคลื่นที่ไม่ต้องการให้มากที่สุด ระดับของลำคลื่นย่อยมักแสดงในรูปของค่าอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในลำคลื่นที่สนใจต่อความหนาแน่นพลังงานในลำคลื่นหลัก เรียกว่า อัตราส่วนของลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side Lobe Ratio) หรือระดับของลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side Lobe Level) โดยทั่วไปในทางปฏิบัติต้องการให้ระดับของลำคลื่นด้านข้างน้อยกว่า -20 dB

2. ขอบเขตของสนาม (Field Regions)

โดยทั่วไปช่องว่างบริเวณรอบ ๆ สายอากาศถูกแบ่งออกเป็น 3 ขอบเขต คือ สนามระยะใกล้รีแอกทีฟ (Reactive Near-field) สนามระยะใกล้ที่แพร่กระจายคลื่น (Radiating Near-field (Fresnel)) และสนามระยะไกล (Far-field (Fraunhofer))

สนามระยะใกล้รีแอกทีฟ คือ ขอบเขตของสนามระยะใกล้ที่ติดกับสายอากาศซึ่งใช้หลักการรีแอกทีฟ สนามระยะใกล้ที่แพร่กระจายคลื่น คือ ขอบเขตของสนามของสายอากาศระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามระยะใกล้รีแอกทีฟและสนามระยะไกล ถ้ามิติที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศน้อยกว่าความยาวคลื่น ดังนั้นอาจจะไม่ปรากฏขอบเขตนี้ ขอบเขตด้านในมีระยะเป็น $R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ และขอบเขตด้านนอกเป็น $R < 2D^2/\lambda$ โดยที่ D คือ มิติที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศ สนามระยะไกล คือ ขอบเขตของสนามของสายอากาศซึ่งการแพร่กระจายของสนามไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ขอบเขตด้านในมีระยะเป็น $R = 2D^2/\lambda$

2.5.2.4 ความกว้างลำคลื่น (Beamwidth)

ความกว้างลำคลื่น คือ มุมที่รองรับระหว่าง 2 ตำแหน่งที่มีความแรงเท่ากันแต่อยู่ด้านตรงข้ามกันของลำคลื่นหลัก โดยทั่วไปจะพิจารณาความกว้างลำคลื่น 2 ค่า คือ ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beamwidth) และความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก (First Null Beamwidth)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง คือ ความกว้างของลำคลื่นที่มีกำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่มากที่สุด ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง -3 dB ลงมาจากค่ากำลังงานที่มากที่สุด ความกว้างลำคลื่นที่ตำแหน่งศูนย์คู่แรก คือ ความกว้างลำคลื่นที่ตำแหน่งศูนย์คู่แรก

อัตราส่วนลำคลื่นย่อยต่อลำคลื่นหลัก (Side Lobe Level: SLL) คือ อัตราส่วนของลำคลื่นย่อยต่อลำคลื่นหลัก

อัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อย (Side Lobe Ratio: SLR) คือ อัตราส่วนของลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อย

2.5.4 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศที่เกี่ยวกับสนามระยะไกล สามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นกับระยะทางยกกำลังสอง

กำลังงานทั้งหมดหาได้จากการอินทิเกรตความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นตลอดมุมตันของ 4π

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุด ต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) ถ้าไม่มีการระบุทิศทาง หมายความว่า ทิศทางที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุด

สำหรับสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) จะมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับหนึ่ง เนื่องจากค่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (U) ค่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุด (U_{\max}) และค่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) มีค่าเท่ากัน

โดยทั่วไปค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะแสดงในหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งสามารถหาได้จาก การแปลงค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ไม่มีหน่วย (Dimensionless)

2.5.6 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศจะใช้เพื่อคำนึงถึงค่าการสูญเสียในส่วนต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกได้ เป็น 2 ประเภท คือ การสูญเสียจากการไม่แมตช์ของสายนำสัญญาณกับสายอากาศและการสูญเสียภายในตัวสายอากาศ เช่น การสูญเสียในตัวนำ การสูญเสียในสารไดอิเล็กตริก เป็นต้น

โดยปกติแล้วในการทดสอบสายอากาศเพื่อหาค่าประสิทธิภาพนั้น พบว่าค่าประสิทธิภาพ การสะท้อนของสายอากาศและค่าประสิทธิภาพของการสูญเสียในตัวนำไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ดังนั้นค่าประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ

2.5.7 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศ คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทาง ที่ต้องการต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก โดยที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นมีความสัมพันธ์กับกำลังงานในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอโซทรอปิกและมีค่าเท่ากับกำลังงานที่สายอากาศได้รับ (P_{in}) หารด้วย 4π อัตราขยายของสายอากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ อัตราขยายที่ไม่ได้คิดผลของการสูญเสียจากการสะท้อนและความไม่ตรงกันของโพลาริซชันของสายอากาศ และอัตราขยายที่คิดรวมผลของการสูญเสียจากการสะท้อนและความไม่ตรงกันของโพลาริซชันของสายอากาศ

2.5.8 ช่วงกว้างแถบความถี่

ช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณลักษณะอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้หรืออาจจะเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ อิมพีแดนซ์ด้านเข้า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างของลำคลื่น การโพลาริซชัน อัตราขยาย ประสิทธิภาพของสายอากาศ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง เป็นต้น ที่สามารถทำงานได้ดี

จากคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ พบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าจะเป็นตัวกำหนดช่วงกว้างแถบความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศ โดยที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่ที่ใช้งานจะต้องมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งต้องมีค่าไม่เกิน 2:1 ช่วงกว้างแถบความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น ดังนี้ คือ

- สายอากาศที่มีช่วงกว้างแถบความถี่แคบ (Narrowband Antenna) คือ สายอากาศที่มีการใช้งานในช่วงความถี่แคบ ซึ่งจะแสดงช่วงกว้างแถบความถี่เป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับความถี่กลาง
- สายอากาศที่มีช่วงกว้างแถบความถี่กว้าง (Wideband Antenna) คือ สายอากาศที่มีการใช้งานในช่วงความถี่กว้าง ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่า f_H มากกว่า f_L ประมาณ 40 เท่า และจะแสดงเป็นอัตราส่วน
- สายอากาศที่มีอิสระจากความถี่ (Frequency Independent Antenna) คือ สายอากาศที่มีการใช้งานในช่วงความถี่กว้างมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่า f_H มากกว่า f_L ประมาณ 80 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

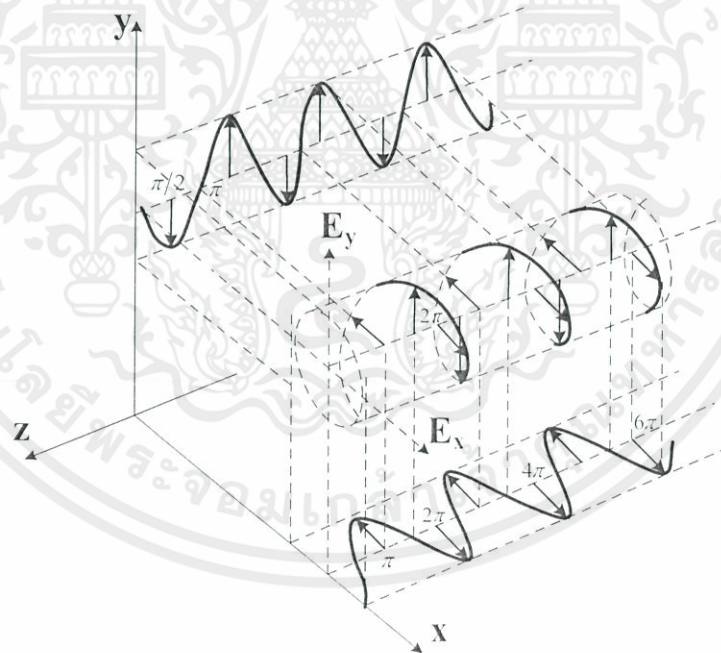
โดยที่ f_H คือ ความถี่ที่สูงกว่า f_L

f_L คือ ความถี่ที่ต่ำกว่า f_H

f_c คือ ความถี่กลางระหว่าง f_H และ f_L

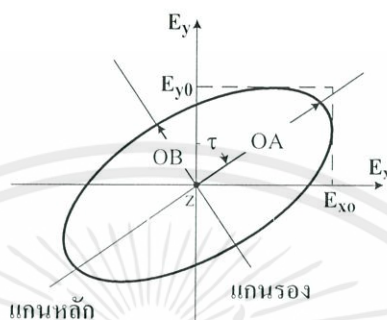
2.5.9 การโพลาไรซ์

การโพลาไรซ์ คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเดินทาง โดยการมองตามหลังคลื่น การโพลาไรซ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ การโพลาไรซ์เส้น (Linear Polarization: LP) การโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization: CP) การโพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization: EP) แสดงดังรูปที่ 2.4



(ก) การหมุนของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) วงรีของการโพลาไรซ์

รูปที่ 2.4 การหมุนของคลื่นระนาบแม่เหล็กไฟฟ้าและวงรีของการโพลาไรซ์ที่ $z = 0$

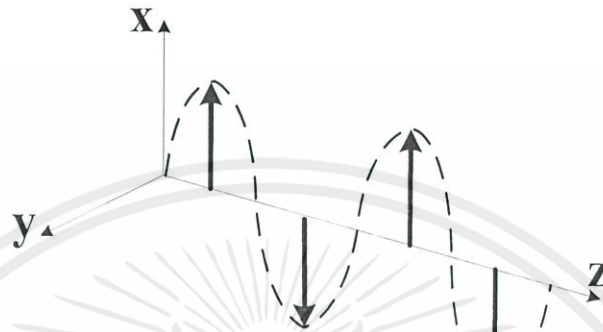
การโพลาไรซ์เส้น คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ตลอดการเดินทางของคลื่นสำหรับคลื่นที่มีการโพลาไรซ์เส้น ซึ่งจะมีความแตกต่างของเฟสระหว่างองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ในแนวตั้งและในแนวนอน เป็นดังนี้

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.5)$$

สามารถแบ่งชนิดของการโพลาไรซ์เส้นออกได้เป็น 3 ชนิดหลัก ๆ คือ

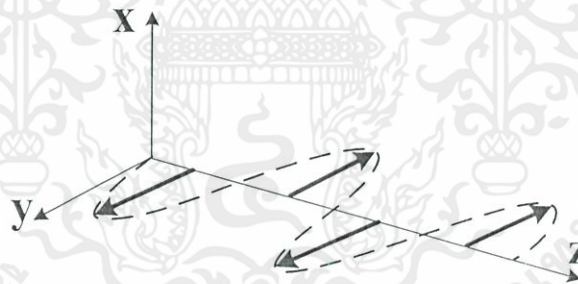
- การโพลาไรซ์เส้นแนวตั้ง (Vertical polarization: VP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวตั้งตลอดการเดินทางของคลื่น แสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง

- การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอน (Horizontal Polarization: HP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวนอนตลอดการเดินทางของคลื่น แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอน

- การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวเฉียง (Slant Polarization: SP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวเฉียงตลอดการเดินทางของคลื่น

การโพลาไรซ์วงกลม คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งจะมี

ลักษณะเป็นวงกลมที่เป็นฟังก์ชันของเวลา โดยมีเงื่อนไขที่จำเป็นในการเกิดโพลาไรซ์วงกลม ดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ต้องมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) เส้น 2 องค์ประกอบ
2. องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีขนาดที่เท่ากัน
3. องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีเฟสต่างกันเป็นจำนวนเท่าของ $\frac{\pi}{2}$

ถ้าคลื่นแพร่กระจายไปในทิศทาง $-z$ สามารถหาค่าความต่างของเฟสของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ในแนวตั้งและในแนวนอน ได้ตามสมการดังต่อไปนี้

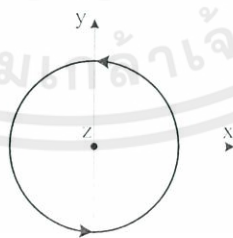
$$|E_x| = |E_y| \Rightarrow E_{x0} = E_{y0} \quad (2.6)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, \quad n=0,1,2,\dots \text{ สำหรับ } CW \quad (2.7)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad n=0,1,2,\dots \text{ สำหรับ } CCW \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 พบว่า สามารถแบ่งการโพลาไรซ์วงกลมออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

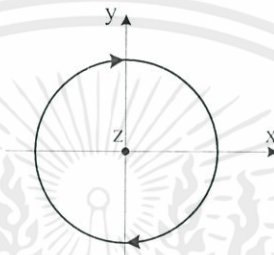
- การโพลาไรซ์วงกลมหมุนขวา (Right-handed CP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะหมุนตามเข็มนาฬิกา (Clockwise: CW) เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทาง z) แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การโพลาไรซ์วงกลมหมุนขวา (Right-handed CP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การโพลาไรซ์วงกลมหมุนซ้าย (Left-handed CP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Counter Clockwise: CCW) เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทาง z) แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การโพลาไรซ์วงกลมหมุนซ้าย (Left-handed CP)

การโพลาไรซ์วงรี คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เงื่อนไขที่จำเป็นในการเกิดโพลาไรซ์ชนิดนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

- กรณี 1: 1) ต้องมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) เส้น 2 องค์ประกอบ
- 2) ถ้าองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีขนาดที่เท่ากันแล้ว
- 3.) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสอง ต้องมีเฟสต่างกันไม่เท่ากับจำนวนเท่า

ของ $\frac{\pi}{2}$

$$|E_x| = |E_y| \Rightarrow E_{x0} = E_{y0} \quad (2.9)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \neq \pm \frac{n}{2}\pi > 0 \quad , n = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ สำหรับ } 'W' \quad (2.10)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \neq \pm \frac{n}{2}\pi < 0 \quad , n = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ สำหรับ } 'CW' \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณี 2: 1) ต้องมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) เส้น 2 องค์ประกอบ
- 2) ถ้าองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีขนาดที่ไม่เท่ากันแล้ว
- 3) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสอง ต้องมีเฟสต่างกันไม่เท่ากับจำนวนเท่าของ π

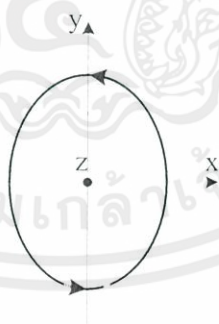
$$|E_x| \neq |E_y| \Rightarrow E_{x0} \neq E_{y0} \quad (2.12)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_x - \varphi_y = +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad n=0,1,2,\dots \text{ สำหรับ } CW \quad (2.13)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_x - \varphi_y = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad n=0,1,2,\dots \text{ สำหรับ } CCW \quad (2.14)$$

จากสมการที่ 2.9 ถึง 2.14 สามารถแบ่งการโพลาไรซ์วงรีออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

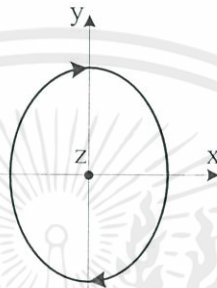
- การโพลาไรซ์วงรีหมุนขวา (Right-handed EP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะหมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทาง z) แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การโพลาไรซ์วงรีหมุนขวา (Right-handed EP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การโพลาไรซ์วงรีหามุขซ้าย (Left-handed EP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทาง z) แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การโพลาไรซ์วงรีหามุขซ้าย (Left-handed EP)

ในกรณีของการโพลาไรซ์วงรีจะมีเส้นการกวาดของเวกเตอร์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยทั่วไปจะแสดงในรูปของวงรีที่มีมุมเอียง (Tilted Ellipse) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ข) โดยอัตราส่วนของแกนหลัก (Major Axis) ต่อแกนรอง (Minor Axis) เรียกว่า อัตราส่วนของแกน (Axial Ratio) สามารถแสดงในรูปของสมการได้ดังนี้

$$AR = \frac{\text{Major axis}}{\text{Minor axis}} = \frac{OA}{OB} = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} \quad (2.15)$$

$$OA = \left[\frac{1}{2} \left\{ E_{v0}^2 + E_{v0}^2 + \left[E_{v0}^4 + E_{v0}^4 + 2E_{v0}^2 E_{v0}^2 \cos(2\Delta\phi) \right]^{1/2} \right\} \right]^{1/2} \quad (2.16)$$

$$OB = \left[\frac{1}{2} \left\{ E_{v0}^2 + E_{v0}^2 - \left[E_{v0}^4 + E_{v0}^4 + 2E_{v0}^2 E_{v0}^2 \cos(2\Delta\phi) \right]^{1/2} \right\} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

มุมเอียงของวงรีเมื่อเทียบกับแกน y จะแทนด้วยมุม τ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2E_{x0}E_{y0}}{E_{x0}^2 - E_{y0}^2} \cos(\Delta\phi) \right] \quad (2.18)$$

การจำแนกชนิดของการโพลาไรซ์จะพิจารณาได้จากค่าอัตราส่วนของแกน (Axial Ratio: AR) ที่แสดงดังสมการที่ 2.15

ผลที่ได้จากสมการที่ 2.15 สามารถแบ่งชนิดของการโพลาไรซ์ออกได้เป็น 3 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 โพลาริซเส้น (LP) ซึ่งจะมีเฉพาะค่า $|E|_{\max}$ ($|E|_{\min} = 0$) นั่นคือ

$$AR = \frac{|E|_{\max}}{0} = \infty \quad (2.19)$$

กรณีที่ 2 โพลาริซวงกลม (CP) ซึ่งจะมีค่า $|E|_{\max} = |E|_{\min}$ นั่นคือ

$$AR = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} = 1 \quad (2.20)$$

กรณีที่ 3 โพลาริซวงรี (EP) ซึ่งจะมีค่า $|E|_{\max} > |E|_{\min}$ นั่นคือ

$$1 < AR < \infty \quad (2.21)$$

สายอากาศที่มีการโพลาไรซ์เป็นเส้น มีข้อดี คือ สายอากาศสร้างง่ายแต่จะเกิดการสูญเสีย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์มีค่าสูง ส่วนสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม มีข้อดี คือ การสูญเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์มีค่าต่ำ แต่สายอากาศสร้างยากกว่า สายอากาศเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สรุป

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีและหลักการของสายอากาศระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก โดยจะเริ่มที่ความเป็นมารวมไปถึงรายละเอียดเบื้องต้น ที่จะกล่าวในหัวข้อถัดมาคือคุณสมบัติของสายอากาศระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณเพื่อการออกแบบ สำหรับจุดมุ่งหมายในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปของเรานั้นคือสามารถรับความถี่ได้ในย่านความถี่ GPS 1.575 GHz

ปัจจุบันสายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ น้ำหนักเบา ใช้พื้นที่น้อยและมีลักษณะแบนราบ ซึ่งเหมาะกับการติดตั้งที่แบนราบไปกับพื้นผิว ทำงานได้ 2 ถึง 3 ความถี่พร้อมๆกัน มีความแข็งแรง เมื่อนำมายึดกับพื้นผิว ทำให้ง่ายต่อการออกแบบ

ส่วนสุดท้ายเป็นการนำทฤษฎีที่ศึกษามาคำนวณสร้างสายอากาศไมโครสตริป โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ช่วยในการออกแบบและจำลองการทำงาน ก่อนนำไปสร้างเป็นชิ้นงานจริงพบว่าปัญหาในการออกแบบ คือรูปแบบของแผ่นไดอิเล็กทริกมีผลต่อความสามารถในการรับความถี่ในย่านต่างๆของสายอากาศเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

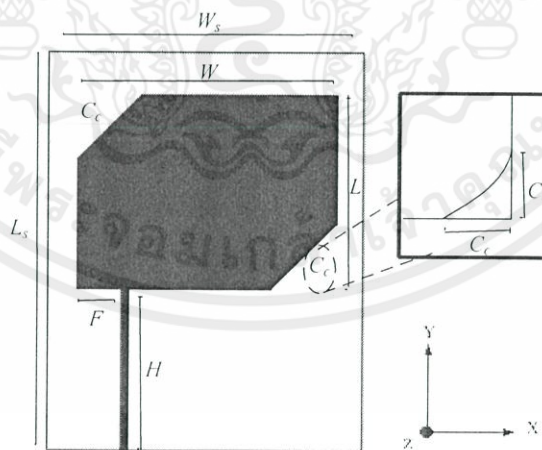
3.1 บทนำ

ในบทนี้จะแสดงให้เห็นถึงการออกแบบและการจำลองสายอากาศแบบไมโครสตริป สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ 1.575 GHz จากนั้นก็ทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบได้แก่ ความกว้างและความสูงของสายนำสัญญาณ ความกว้างและความสูงของส่วนแผ่กระจายคลื่น ความกว้างและความสูงของจุดป้อนสัญญาณ การตัดมุมสายนำสัญญาณ ตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ และขนาดความสูงของระนาบกราวด์

โดยพิจารณาจากค่า $|S_{11}|$ และค่าเฟสเทียบกับย่านความถี่ตอบสนองที่ต้องการ ซึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมของสายอากาศที่ได้จากการจำลองนั้น จะนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศเพื่อทดสอบค่าคุณสมบัติต่อไป

3.2 การออกแบบ

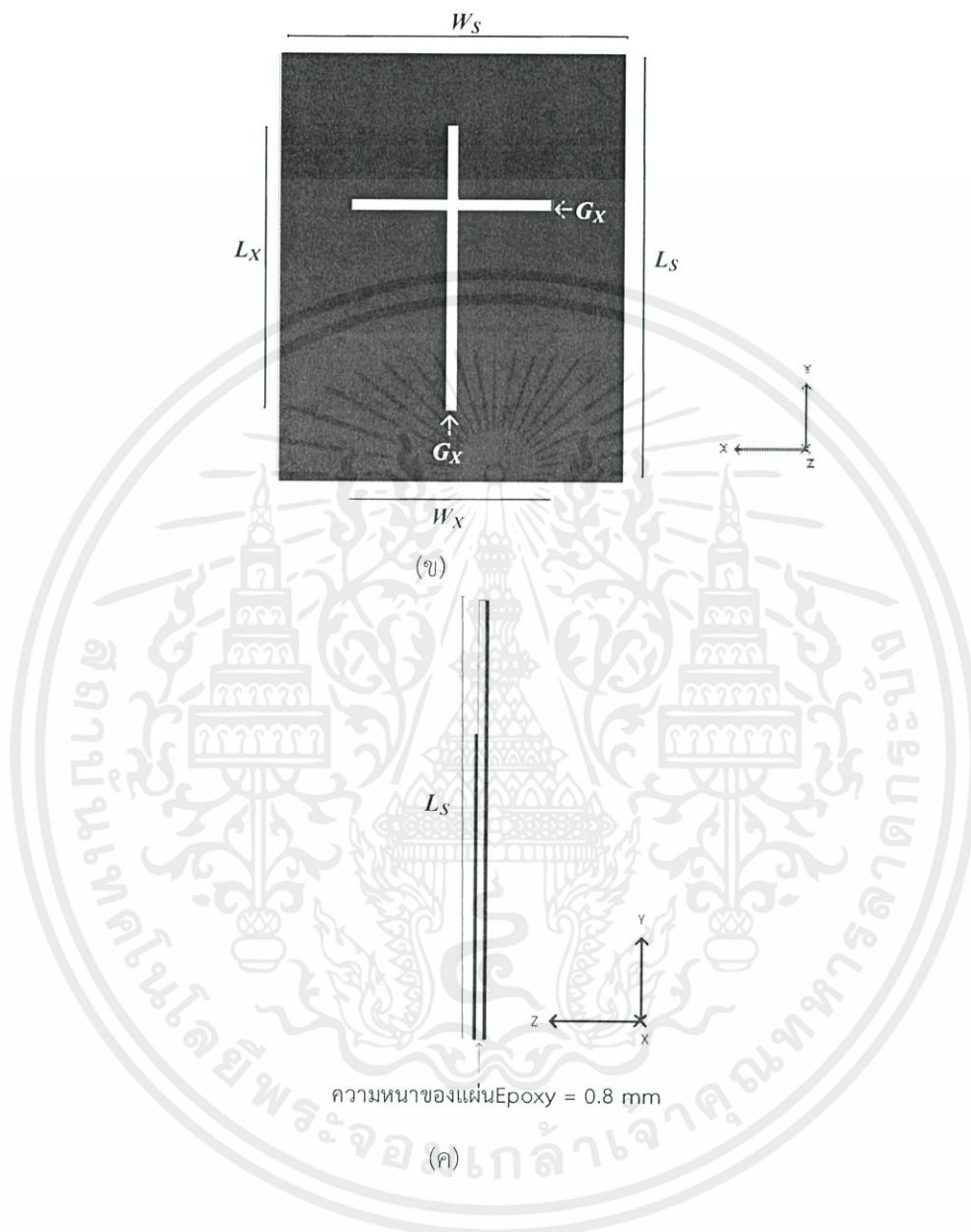
การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสม เริ่มจากนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศจากบทความที่เคยมีมาก่อน[8] มาเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นในการพิจารณา ซึ่งโครงสร้างสายอากาศจะเป็นสายอากาศไมโครสตริป ดังแสดงในรูปที่ 3.1



(ก)

รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศ (ก) ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศ (ข) ด้านหลัง (ค) ด้านข้าง

ในการคำนวณเพื่อการออกแบบ และการสร้างนั้นสามารถเริ่มได้จากสมการดังต่อไปนี้
การคำนวณหาความกว้างของแผ่นกระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$w = \frac{v_0}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8}{2(1.575 \times 10^9)} \sqrt{\frac{2}{4.3 + 1}}$$

$$w = 13 \text{ cm}$$
(3.1)

การคำนวณหาค่าไดอิเล็กตริกประสิทธิผลสัมพัทธ์

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} = \frac{4.3 + 1}{2} + \frac{4.3 - 1}{2} \left[1 + 12 \left(\frac{1.5}{37.6} \right) \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = 4.0069$$
(3.2)

การคำนวณหาค่าความยาวทั้งหมด

$$L_{\text{eff}} = \frac{V_0}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} = \frac{3 \times 10^8}{2(1.575 \times 10^9)} \times \frac{1}{\sqrt{4.0069}} = 0.0306$$

$$L_{\text{eff}} = 0.05 \text{ cm}$$
(3.3)

การคำนวณหาความยาวส่วนต่าง

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)}$$

$$= \frac{0.412(1.5)(4.03 + 0.3) \left(\frac{13}{0.15} + 0.264 \right)}{(4.03 - 0.258) \left(\frac{13}{0.15} + 0.8 \right)}$$

$$\Delta L = 0.07 \text{ cm}$$
(3.4)

การคำนวณหาค่าความยาวที่ใช้จริง

$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L = 4.038 - 2(0.07)$$

$$L = 3.8 \text{ cm}$$
(3.5)

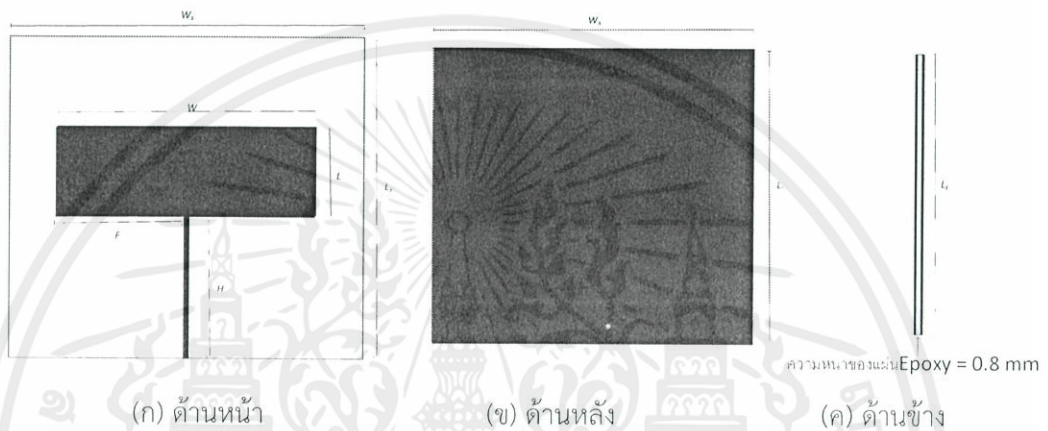
ผลที่ได้จากการคำนวณค่าความถี่กลางที่ 1.575 GHz ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของตัวแผ่นกระจายคลื่น $W = 130 \text{ mm}$

ความยาวของตัวแผ่นกระจายคลื่น $L = 38 \text{ mm}$

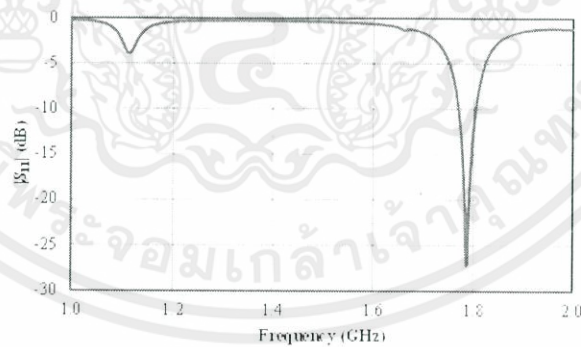
ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะนำไปใช้เป็นจุดเริ่มต้นเพื่อทำการปรับเปลี่ยนค่า เพื่อให้ได้ค่าคุณลักษณะของสายอากาศที่ดีที่สุด

จากค่าที่คำนวณมา ได้ทำการจำลองสายอากาศดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้น (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง (ค) ด้านข้าง

หลังจากทำการจำลองสายอากาศเริ่มต้น พบว่าได้ค่า $|S_{11}|$ ดังรูปที่ 3.3

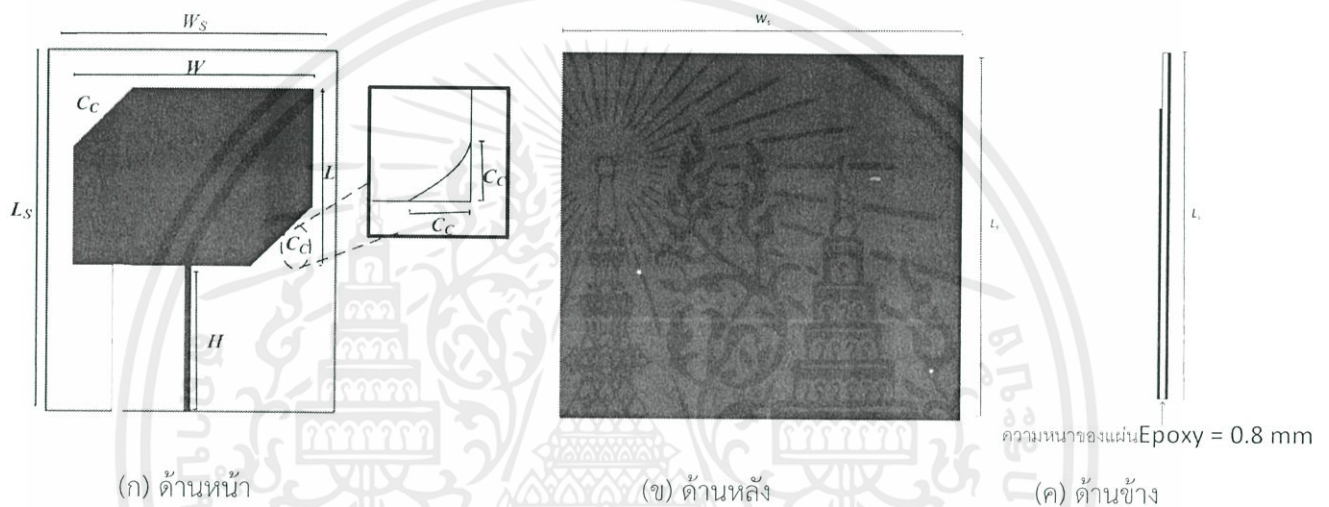


รูปที่ 3.3 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 ค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าเท่ากับ -0.55 dB จากการจำลองพบว่าความถี่เลื่อนไปที่ความถี่ประมาณ 1.8 GHz ซึ่งถือว่าไม่สามารถรับความถี่ 1.575 GHz ได้ ต้องทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่อไป

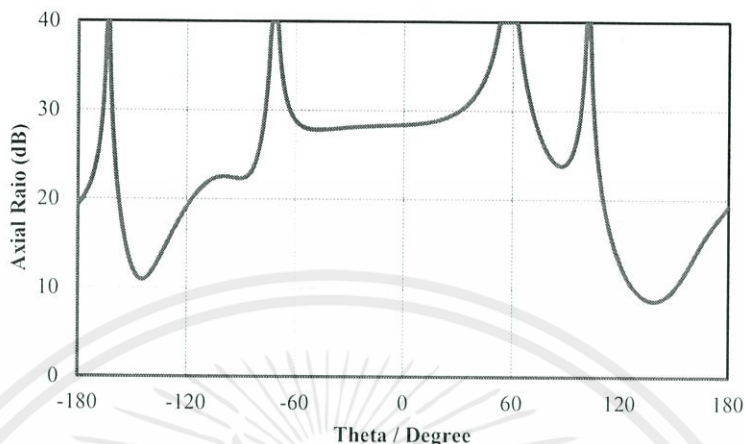
หลังจากนั้นขั้นตอนต่อไปจะทำการตัดมุมแผ่นแพรกระจายคลื่น (C_c) เพื่อให้สายอากาศมีการโพลาไรซ์วงกลม[9] ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศหลังทำการตัดมุมแผ่นแพรกระจายคลื่น (C_c)

หลังจากทำการตัดมุมแผ่นแพรกระจายคลื่น (C_c) เพื่อให้สายอากาศมีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม ได้ค่า $|S_{11}|$ ที่ไม่แตกต่างจากเดิม และได้ค่าอัตราส่วนแกน ดังรูปที่ 3.5

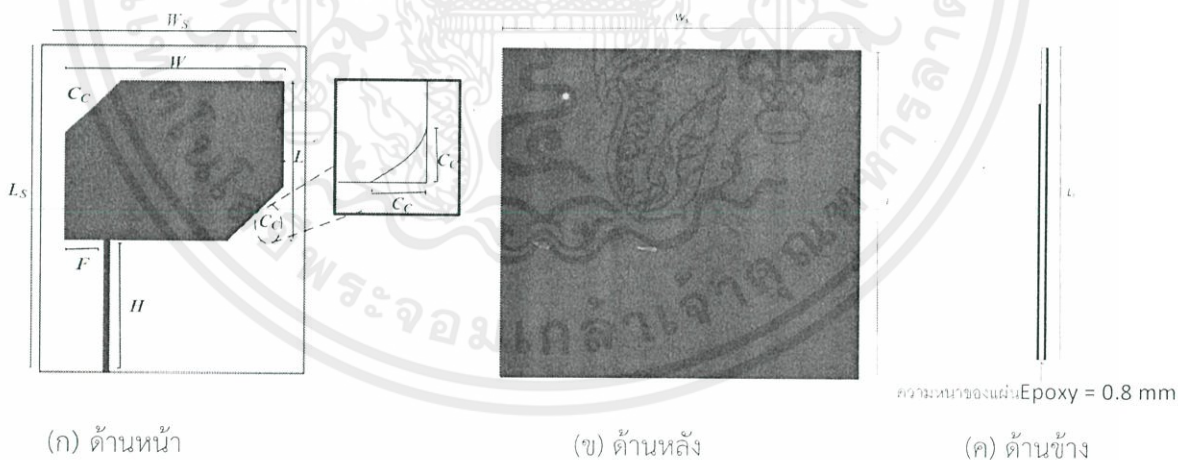
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 อัตราส่วนแกนของสายอากาศหลังทำการตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น (C_C)

จากรูปที่ 3.5 พบว่าค่าอัตราส่วนแกนที่ความถี่ 1.575 GHz หลังจากทำการตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น (C_C) มีค่าลดลงจากในขณะที่ค่า $|S_{11}|$ ไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก

หลังจากทำการตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น เพื่อให้สายอากาศมีการโพลาไรซ์วงกลม จะเพิ่มการเลื่อนตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F) เพื่อให้มีการโพลาไรซ์วงกลมมากขึ้น ดังรูปที่ 3.6



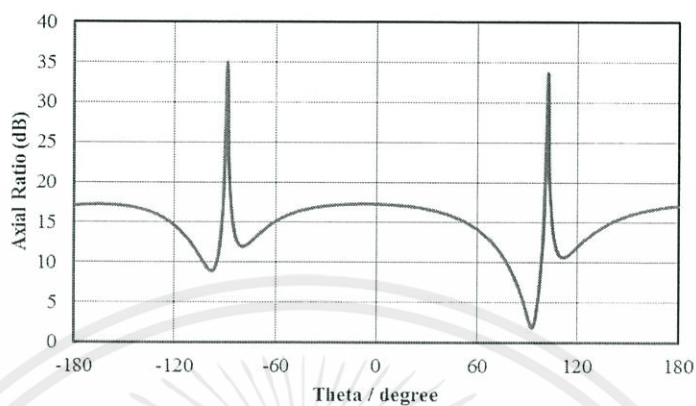
รูปที่ 3.6 โครงสร้างสายอากาศหลังทำการเลื่อนตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F)

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง (ค) ด้านหลัง

หลังจากทำการเลื่อนตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F) เพื่อให้มีการโพลาไรซ์วงกลม

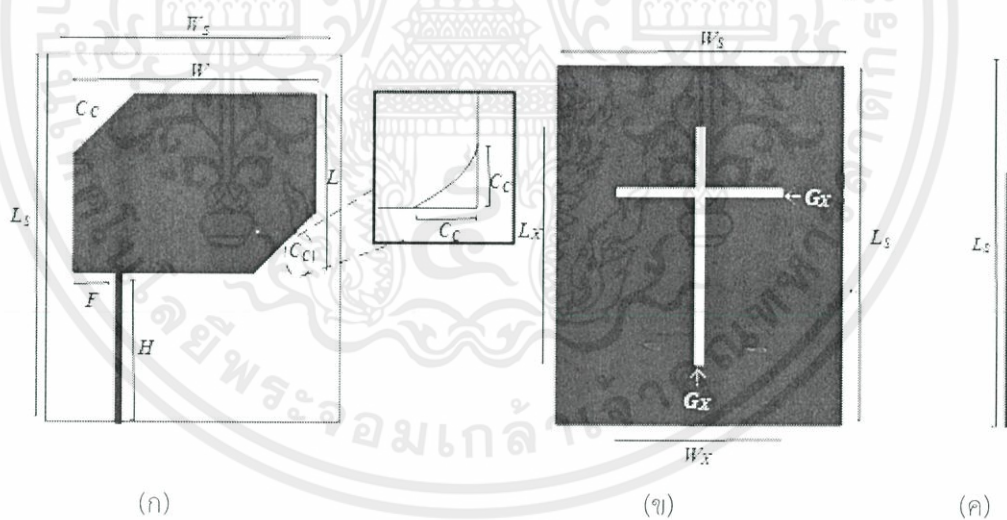
มากขึ้น ได้ค่า $|S_{11}|$ มีค่าที่ไม่แตกต่างจากเดิม และได้ค่าอัตราส่วนแกนดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เป็นใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 อัตราส่วนแกนของสายอากาศหลังทำการเลื่อนตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F)
 จากรูปที่ 3.7 พบว่าค่าอัตราส่วนแกนที่ความถี่ 1.575 GHz หลังจากทำการเลื่อนตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F) มีค่าลดลงจากในขณะที่ยังค่า $|S_{11}|$ ไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก

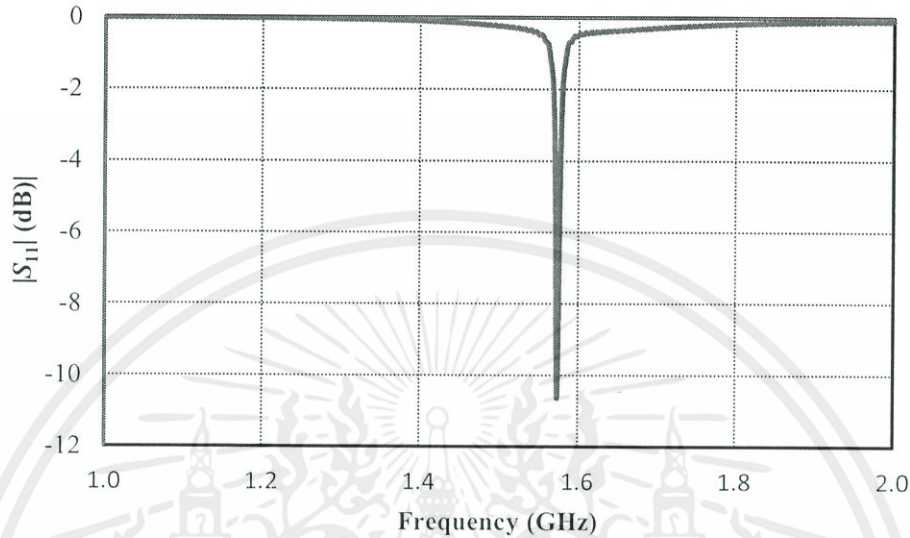
หลังจากทำการเลื่อนตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F) จะทำการเพิ่มร่องกากบาท[10] ที่ด้านหลังของสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศมีขนาดเล็กลงจากเดิม ได้โครงสร้างดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สายอากาศต้นแบบ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง (ค) ด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งพบว่า ขนาดของสายอากาศมีขนาดเล็กลงมาก และมีที่ $|S_{11}|$ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 $|S_{11}|$ ก่อนปรับปรุงค่าพารามิเตอร์

จากรูปที่ 3.9 จะเห็นว่า ค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าเท่ากับ dB ซึ่งถือว่ายังไม่ค่อยดีเท่าไรนัก จึงต้องทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่อไป

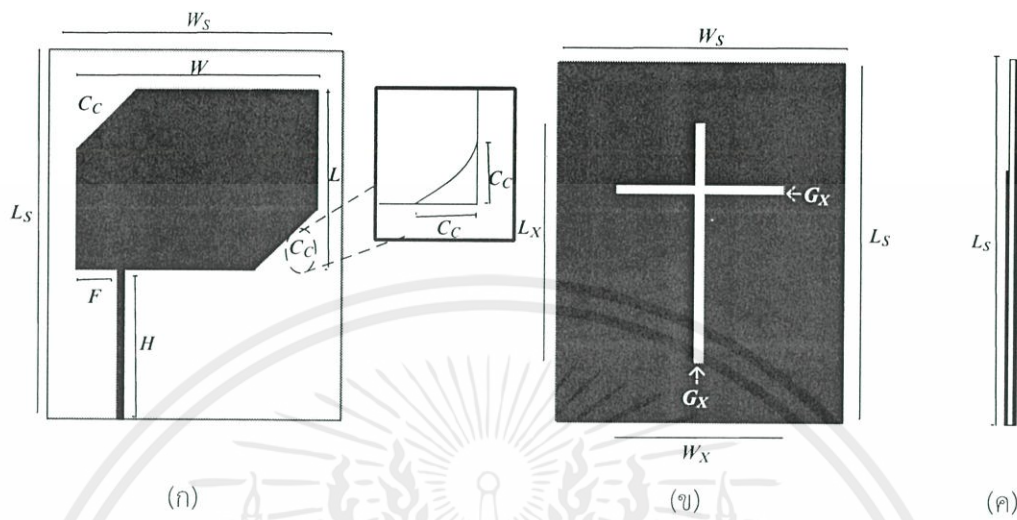
ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสม เพื่อนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบสามารถทำได้โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติของสายอากาศจากค่าพารามิเตอร์ โดยจะพิจารณาจาก $|S_{11}|$ เป็นหลัก การออกแบบสายอากาศนั้นเราจำเป็นต้องทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการออกแบบ ซึ่งมีเงื่อนไข ดังนี้

- $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการ
- $|S_{11}|$ ของแต่ละพารามิเตอร์ ควรมีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดย่านความถี่ที่ต้องการ

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริป

หลังจากลดขนาดสายอากาศแล้ว พบว่ามีความใกล้เคียงความถี่ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งต้องทำการปรับปรุงค่า $|S_{11}|$ ให้ครอบคลุมแบนด์ จึงปรับพารามิเตอร์ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 สายอากาศต้นแบบ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง (ค) ด้านข้าง

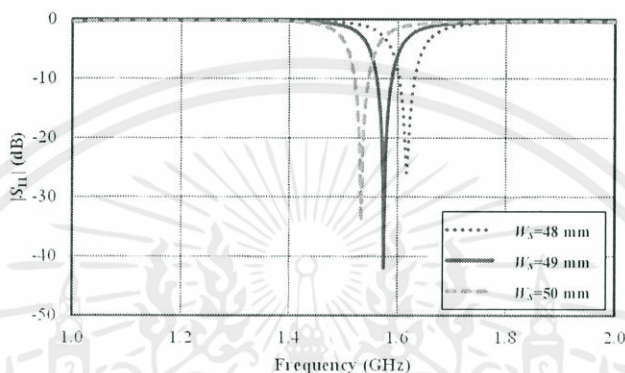
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
ความกว้างของแผ่นกราวด์ (W_s)	200 mm
ความสูงของแผ่นกราวด์ (L_s)	200 mm
ความกว้างของสายนำสัญญาณ (W)	130 mm
ความสูงของสายนำสัญญาณ (L)	38 mm
ความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ (H)	50 mm
ขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น (C_c)	0 mm
ตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F)	0 mm
ระยะห่างของร่องกากบาท (G_x)	1 mm
ความกว้างของร่องกากบาท (W_x)	30 mm
ความสูงของร่องกากบาท (L_x)	30 mm

จากตารางที่ 3.1 หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ตั้งต้นแล้ว ก็จะมีการจำลองสายอากาศ
 ในโปรแกรม CST Microwave Studio และทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ทุกตัว ศึกษาแนวโน้ม
 เอกสารนี้เป็นของแต่ที่กรามิเตอร์นี้เพื่อทำการปรับปรุงให้ได้สายอากาศที่มีค่าคุณลักษณะตามที่ต้องการต่อไป
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.1 ความกว้างของแผ่นกราวด์ (W_s)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความกว้างของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่น ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความกว้างของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นแสดงได้ดังในรูปที่ 3.11

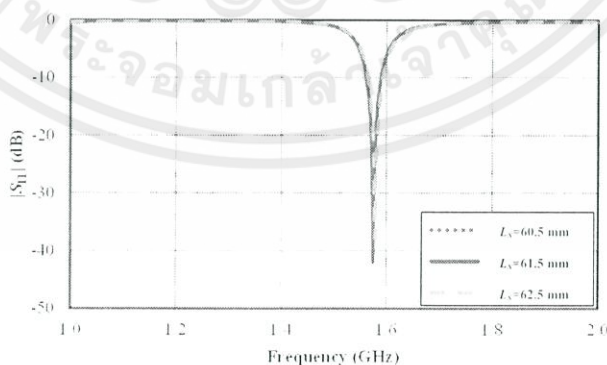


รูปที่ 3.11 $|S_{11}|$ เทียบกับความกว้างของแผ่นกราวด์ (W_s)

จากรูปที่ 3.11 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของแผ่นกราวด์มีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ เราจะใช้ค่าความกว้างของแผ่นกราวด์ที่มีค่าเท่ากับ 49 mm ในการจำลองผลต่อไป เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าที่ต่ำที่สุดคือ -41.94 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยมีค่าแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 1.562 – 1.589 GHz

3.2.1.2 ความสูงของแผ่นกราวด์ (L_s)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความสูงของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่น ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความสูงของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นแสดงดังในรูปที่ 3.12

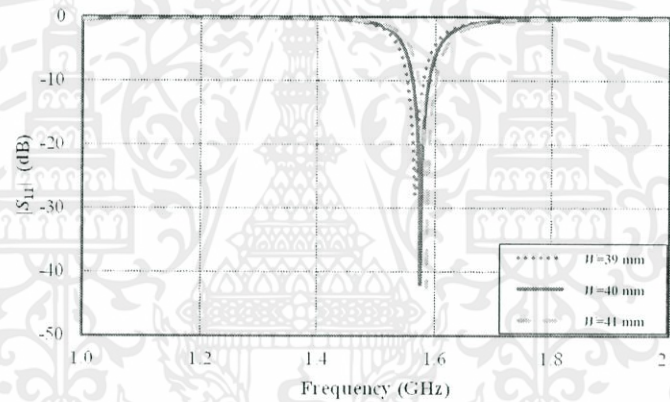


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์วิจัยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของแผ่นกราวด์มีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ เพียงเล็กน้อย เราจะใช้ค่าความสูงของแผ่นกราวด์ที่มีค่าเท่ากับ 61.5 mm ในการจำลองผลต่อไป เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าที่ดีที่สุดคือ -41.94 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยมีค่าแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 1.562 – 1.589 GHz

3.2.1.3 ความกว้างของสายนำสัญญาณ (W)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความกว้างของสายนำสัญญาณ ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความกว้างของสายนำสัญญาณแสดงได้ดังในรูปที่ 3.13



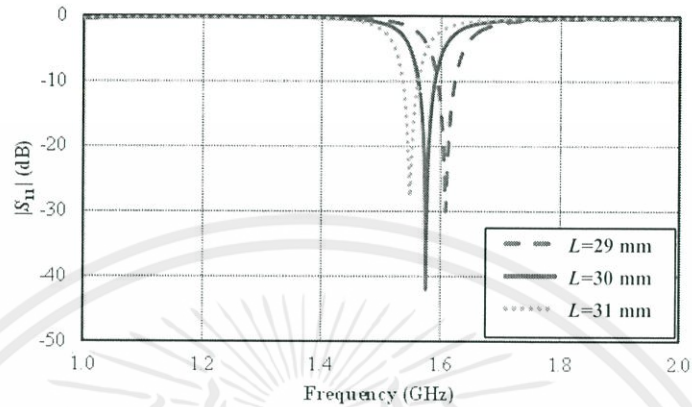
รูปที่ 3.13 $|S_{11}|$ เทียบกับความกว้างของสายนำสัญญาณ (W)

จากรูปที่ 3.13 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของแผ่นนำสัญญาณจะมีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ เราจะใช้ค่าความกว้างของแผ่นนำสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ 40 mm ในการจำลองผลต่อไป เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าที่ดีที่สุดคือ -41.94 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยมีค่าแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 1.562 – 1.589 GHz

3.2.1.4 ความสูงของสายนำสัญญาณ (L)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความสูงของสายนำสัญญาณ ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความสูงของสายนำสัญญาณแสดงได้ดังในรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

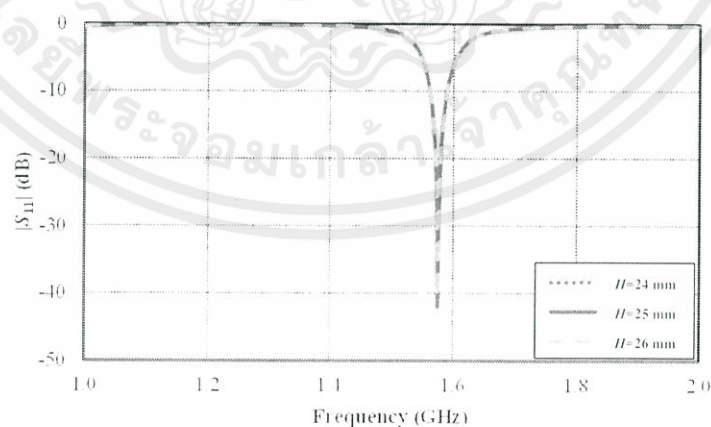


รูปที่ 3.14 $|S_{11}|$ เทียบกับความสูงของสายนำสัญญาณ (L)

จากรูปที่ 3.14 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของสายนำสัญญาณจะมีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ ซึ่งเราจะใช้ค่าความสูงของสายนำสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ 30 mm ในการจำลองผลต่อไป เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าดีที่สุดคือ -41.94 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยมีค่าแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 1.562 GHz – 1.589 GHz

3.2.1.5 ความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ (H)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ แสดงดังในรูปที่ 3.15

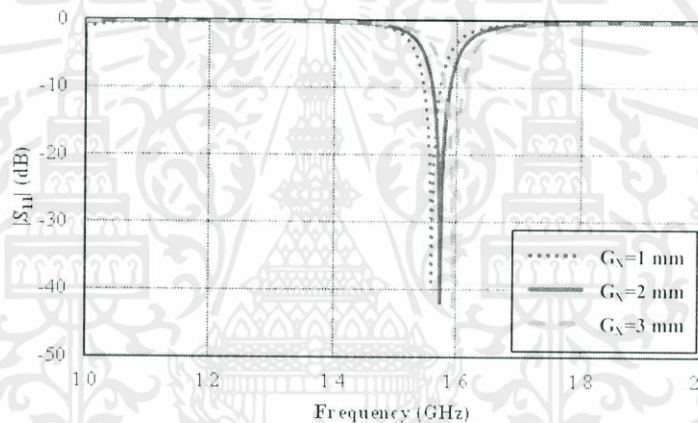


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเชิงการศึกษาเท่านั้น ไม่ใช่ว่าจะนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.15 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ ไม่ค่อยมีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ เราจะใช้ค่าความสูงของของจุดป้อนสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ 25 mm ในการจำลองผลต่อไป เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าที่ดีที่สุดคือ -41.94 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยมีค่าแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 1.562 GHz – 1.589 GHz

3.2.1.6 ระยะห่างของร่องกากบาท (G_x)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ แสดงดังในรูปที่ 3.16



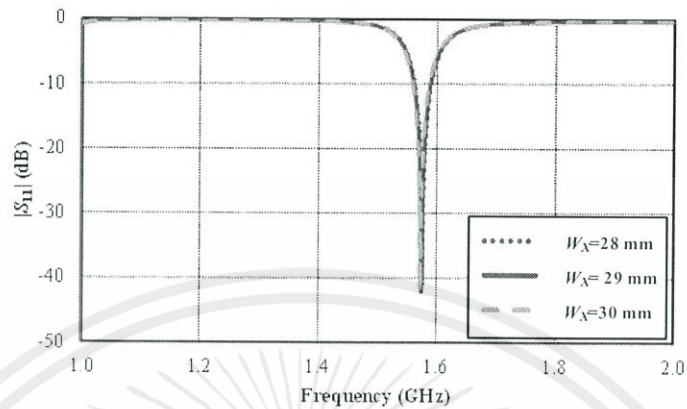
รูปที่ 3.16 $|S_{11}|$ เทียบกับระยะห่างของร่องกากบาท (G_x)

จากรูปที่ 3.16 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของร่องกากบาทจะมีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ ซึ่งเราจะใช้ระยะห่างของร่องกากบาทที่มีค่าเท่ากับ 2 mm ในการจำลองผลต่อไป เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าที่ดีที่สุดคือ -41.94 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยมีค่าแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 1.562 GHz – 1.589 GHz

3.2.1.7 ความกว้างของร่องกากบาท (W_x)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความกว้างของร่องกากบาท ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความกว้างของร่องกากบาท แสดงดังในรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

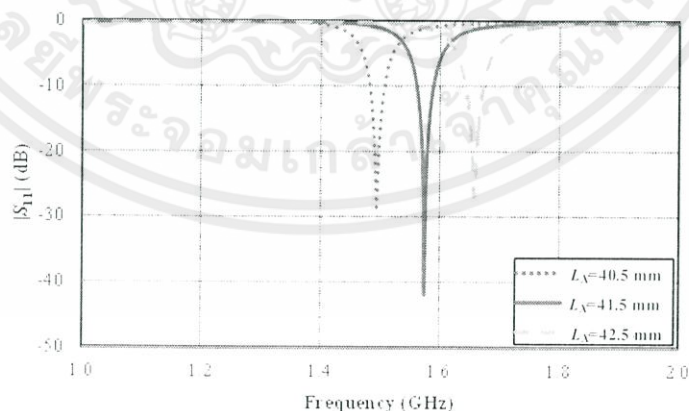


รูปที่ 3.17 $|S_{11}|$ เทียบกับความกว้างของร่องกากบาท (W_x)

จากรูปที่ 3.17 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของร่องกากบาทมีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ เล็กน้อย เราจะใช้ค่าความกว้างของร่องกากบาทที่มีค่าเท่ากับ 29 mm ในการจำลองผลต่อไป เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าดีที่สุดคือ -41.94 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยมีค่าแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 1.562 GHz – 1.589 GHz

3.2.1.8 ความสูงของร่องกากบาท (L_x)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของ ความสูงของร่องกากบาท ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของ ความสูงของร่องกากบาท แสดงดังในรูปที่ 3.18



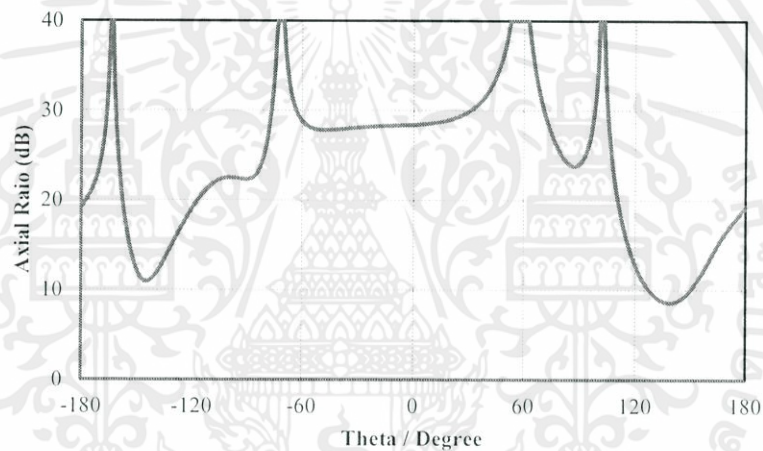
รูปที่ 3.18 $|S_{11}|$ เทียบกับ ความสูงของร่องกากบาท (L_x)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.18 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของร่องกากบาท มีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ เราจะใช้ค่าความสูงของร่องกากบาทที่มีค่าเท่ากับ 41.5 mm ในการจำลองผลต่อไป เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าที่ดีที่สุดคือ -41.94 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยมีค่าแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 1.562 GHz – 1.589 GHz

3.2.1.9 ขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น (C_c)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของความขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น เพื่อให้การโพลาริซเปลี่ยนจากแบบเชิงเส้นเป็นแบบวงกลม ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่นนั้น ต้องไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงดังในรูปที่ 3.19



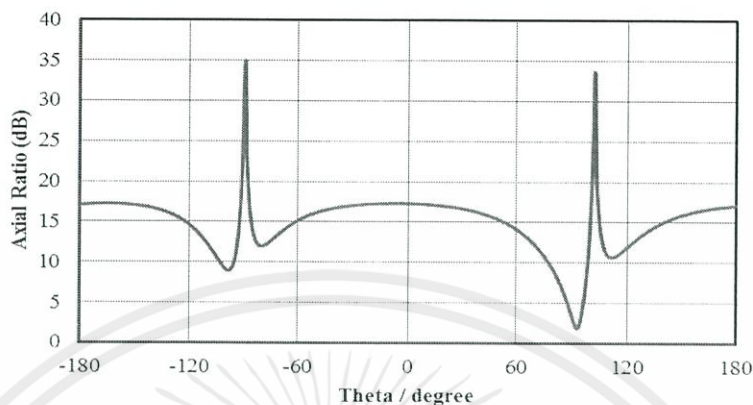
รูปที่ 3.19 อัตราส่วนแกนเทียบกับขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น (C_c)

จากรูปที่ 3.19 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น จะมีผลกระทบทำให้การโพลาริซเปลี่ยนจากเชิงเส้นเป็นแบบวงกลมมากขึ้น โดยอัตราส่วนแกนหลักต่อแกนรองมีค่าลดลงจาก 40.00 dB เหลือ 28.53 dB และ ค่า $|S_{11}|$ ยังอยู่ในขั้นที่รับความถี่ได้ดี ที่ค่าขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น ที่มีค่าเท่ากับ 10 mm

3.2.1.10 ตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ เพื่อให้การโพลาริซเปลี่ยนจากแบบเชิงเส้นเป็นแบบวงกลม ซึ่งผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่นนั้น ต้องไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงดังในรูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 อัตราส่วนแกนเทียบกับตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F)

จากรูปที่ 3.20 พบว่าการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ จะมีผลกระทบทำให้การโพลาไรซ์เปลี่ยนจากแบบเชิงเส้นเป็นแบบวงกลมมากขึ้น โดยอัตราส่วนหลักต่อแกนรองมีค่าลดลงจาก 28.53 dB เหลือ 17.29 dB และ ค่า $|S_{11}|$ ยังไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ที่ค่าตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ 7 mm

ตารางที่ 3.2 สรุปค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
ความกว้างของแผ่นกราวด์ (W_s)	49 mm
ความสูงของแผ่นกราวด์ (L_s)	43 mm
ความกว้างของสายนำสัญญาณ (W')	40 mm
ความสูงของสายนำสัญญาณ (L)	30 mm
ความสูงของของจุดป้อนสัญญาณ (H)	25 mm
ขนาดตัดมุมแผ่นแพร่กระจายคลื่น (C_c)	10 mm
ตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณ (F)	7 mm
ระยะห่างของร่องกากบาท (G_x)	2 mm
ความกว้างของร่องกากบาท (W_x)	29 mm
ความสูงของร่องกากบาท (L_x)	41.5 mm

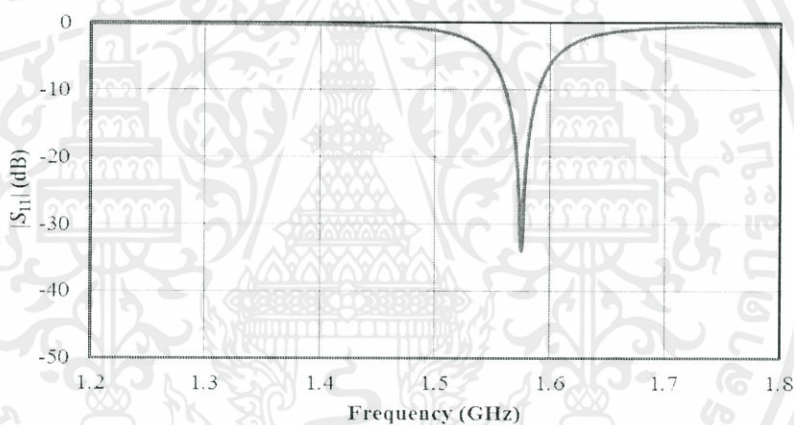
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.2 หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศครบทุกตัวแปรแล้ว จะทำการจัดเก็บผลการทดลองต่อไป

3.3 การจัดเก็บผลการจำลอง

3.3.1 พิจารณา $|S_{11}|$

การพิจารณา $|S_{11}|$ นั้น ค่าดังกล่าวจำเป็นจะต้องมีค่าที่น้อยกว่า -10 dB เพื่อให้สามารถเกิดการแพร่กระจายคลื่นออกมาได้ โดยความถี่ที่พิจารณาคือ ความถี่ GPS ซึ่งมีค่าความถี่ที่ 1.575 GHz มีค่า -33.94 dB โดยลักษณะของกราฟค่า $|S_{11}|$ นั้นได้ครอบคลุมแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ความถี่ 1.56 – 1.59 GHz ซึ่งค่า $|S_{11}|$ แสดงดังในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 $|S_{11}|$ ของสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

จากรูปที่ 3.21 ค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 1.575 GHz มีค่าเท่ากับ -33.94 dB มีค่า Bandwidth ตั้งแต่ 1.56 GHz – 1.59 GHz มี Percent Bandwidth = 1.91 % และมีค่าความถี่กลางเท่ากับ 1.575 GHz

3.3.2 พิจารณา ค่าอิมพีแดนซ์

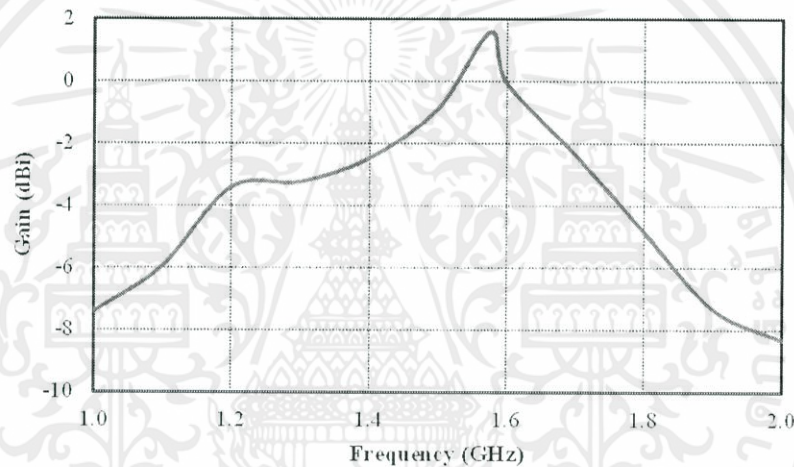
การพิจารณาอิมพีแดนซ์นั้น ควรจะปรับค่าการจำลองให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 Ω เพราะโดยส่วนใหญ่อุปกรณ์ที่มีไว้สำหรับเชื่อมต่อ มักจะถูกสร้างออกมาเป็นมาตรฐาน ในที่นี้ได้ใช้ SMA Connector 50 Ω เป็นตัวเชื่อมต่อ ดังนั้นการสร้างสายอากาศ ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างให้มีค่าใกล้เคียงมากที่สุด โดยพิจารณาค่าความถี่ 1.575 GHz ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์จากการจำลองสายอากาศ มีค่าเท่ากับ $50.50 + j0.775 \ \Omega$ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสม

3.3.3 ค่าอัตราขยาย (Gain)

การพิจารณาค่าอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ โดยพิจารณาค่าความถี่ 1.575 GHz และช่วงแบนด์วิธตั้งแต่ 1.57 GHz - 1.58 GHz ซึ่งค่าอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ แสดงได้ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 อัตราขยายช่วงความถี่ที่ 1.0 GHz ถึง 2.0 GHz

จากรูปที่ 3.22 ได้นำค่าอัตราขยายตั้งแต่ความถี่ 1.0 GHz - 2.0 GHz มาทำการสร้างกราฟ โดยได้ค่าอัตราขยายตั้งแต่ -19.23 dBi ถึง -16.77 dBi ที่ความถี่ 1.575 GHz ได้ค่าอัตราขยาย 1.66 dBi และที่แบนด์วิธ 1.57 GHz - 1.58 GHz ได้ค่าอัตราขยาย 1.59 dBi - 1.61 dBi

3.3.4 พิจารณาค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

การแสดงทิศทางของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งทิศทางนั้นเป็นการบ่งบอกถึงทิศทางที่การแพร่กระจายคลื่นว่าคลื่นนั้นแพร่กระจายไปในทิศทางใด โดยจะเป็นการแสดงผลการพล็อตกราฟในลักษณะของโพลาร์

(Polar Plot) โดยเป็นการพิจารณาที่ค่าความถี่ 1.575 GHz แสดงได้ดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามใช้งานเพื่อการพาณิชย์อื่น ๆ มิฉะนั้นจะผิดกฎหมายในประเด็นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.23 พบว่าสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Almost Omni-directional มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ XZ) เท่ากับ 149.5° และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ YZ) เท่ากับ 85.4°

ตารางที่ 3.3 สรุปสมรรถนะของสายอากาศที่ได้จากการจำลอง

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
ความถี่	1.575 GHz
$ S_{11} $	-33.94 dB
แบนด์วิดท์	1.56 – 1.59 GHz
เปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์	1.9 %
อินพุตอิมพีแดนซ์	$50.50 + j0.775 \Omega$
อัตราขยาย	1.66 dBi
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	Almost Omni-directional
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ XZ)	149.5°
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ YZ)	85.4°

3.4 สรุป

จากการจำลองสายอากาศ จนได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือมีค่า $|S_{11}|$ ของความถี่ที่ 1.575 GHz มีค่าเท่ากับ -33.94 dB มีแบนด์วิดท์ คือ 1.56 GHz – 1.59 GHz ค่า Percent Bandwidth เท่ากับ 1.9 % ค่าอิมพีแดนซ์เมื่อพิจารณาความถี่ที่ 1.575 GHz มีค่าเท่ากับ $50.50 + j0.775 \Omega$ และมีค่าอัตราขยายที่ความถี่ 1.575 GHz เท่ากับ 1.66 dBi นอกจากนี้ยังพบว่า สายอากาศที่ได้จากการจำลองมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Almost Omni-directional มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ XZ) มีค่าเท่ากับ 149.5° และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ YZ) มีค่า 85.4° ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำไปสร้างสายอากาศในบทที่ 4 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดสอบ

4.1 บทนำ

ในบทนี้เราจะทำการสร้างและทดสอบสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) ที่จะนำมาใช้ในย่านความถี่ GPS 1.575 GHz โดยได้มีการจำลองจากบทที่ 3 ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำมาสร้างสายอากาศดังกล่าว และจะนำไปในการรับส่งสัญญาณกับดาวเทียม NAVSTAR

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในสร้างสายอากาศ

- 1) แผ่น Epoxy 2 หน้าหนา 0.8 mm.
- 2) ตะกั่ว
- 3) หัวแร้ง
- 4) ตะไบเหล็ก
- 5) กรรไกร คัตเตอร์

สามารถแสดงภาพสายอากาศต้นแบบได้ดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ นั้น เราได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer : รุ่น HP 8720C 50 MHz – 20 GHz) ซึ่ง การ ท ด ส อ บ ดั ว ย เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายนี้สามารถทดสอบและแสดงรูปสัญญาณพร้อมค่าคุณลักษณะต่างๆโดยละเอียด ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ หัวเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศหรือสายส่ง กับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่เป็นชนิด SMA connector

ในการทดสอบจะประกอบไปด้วยการทดสอบหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายและค่า $|S_{11}|$ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองจากโปรแกรม CST Microwave Studio

4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Network Analyzer รุ่น HP 8720C 50 MHz – 20 GHz
2. ชุดคาร์ริเบรท 85200 B.3.5 mm.
3. สายอากาศต้นแบบ
4. SMA Connector
5. สายนำสัญญาณ
6. ห้องไร้อากาศ

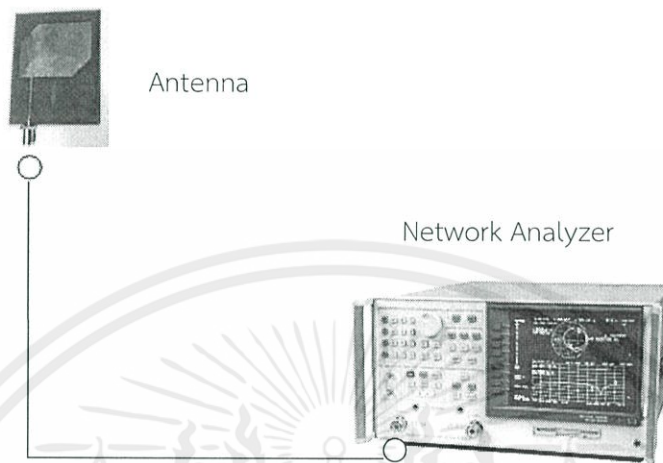
4.4 การติดตั้งการทดสอบและผลการทดสอบ

ในส่วนนี้จะทำการทดสอบหา $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายและอินพุตอิมพีแดนซ์

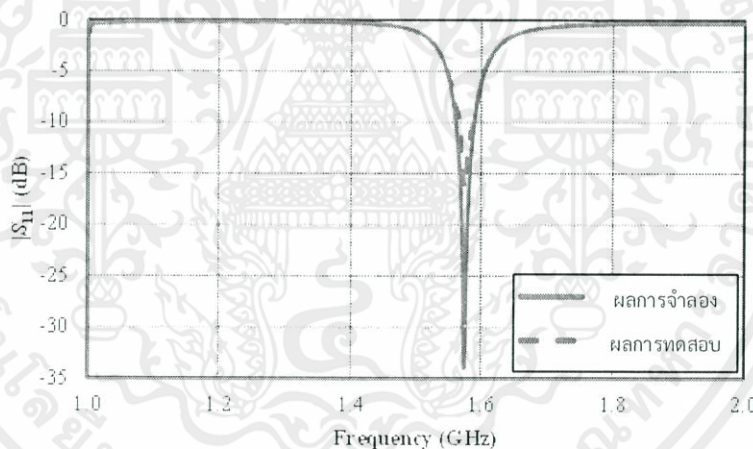
4.4.1 $|S_{11}|$

คือค่าของสัญญาณในส่วนที่สะท้อนกลับเนื่องจากสัญญาณบางส่วนวิ่งผ่านรอยต่อไปบางส่วนเจอรอยต่อในมุมต่างๆก็สะท้อนกลับซึ่งสายอากาศที่ดีควรมีค่าสูญเสียย้อนกลับที่น้อยกว่า -10 dB ซึ่งเป็นการแสดงเปรียบเทียบให้เห็นระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองจากโปรแกรม CST Microwave Studio และผลการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) เริ่มต้นโดย ทำการคาร์ริเบรทเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Network Analyzer ด้วยชุดคาร์ริเบรท 85200 B.3.5 mm. จากนั้น เลือกช่วงความถี่ที่ต้องการใช้ในการวิเคราะห์ โดยเริ่มต้นที่ 1 GHz ถึง 2 GHz ถัดมาทำการต่อสายอากาศหลายความถี่เข้ากับเครื่อง Network Analyzer ผ่านสายนำสัญญาณ สุดท้ายทดสอบค่า $|S_{11}|$ สามารถแสดงภาพการทดสอบและแสดง $|S_{11}|$ ได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การทดสอบสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย



รูปที่ 4.3 $|S_{11}|$ เปรียบเทียบการจำลองกับการทดสอบที่ความถี่ 1.575 GHz

จากรูปที่ 4.3 แสดง $|S_{11}|$ สำหรับผลการจำลองพบว่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -33.94 dB โดยมีแบนด์วิดท์ เท่ากับ 27 MHz และมี เปอร์เซนต์แบนด์วิดท์ เท่ากับ 1.9 ส่วนในการทดสอบนั้นพบว่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -16.38 dB ซึ่งมี แบนด์วิดท์ เท่ากับ 20 MHz และมี %Bandwidth เท่ากับ 1.2 %

4.4.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

ในการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ จำเป็นที่จะต้องทดสอบในห้องที่มีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่น้อยที่สุด ที่สามารถทำในห้องไร้คลื่นสะท้อนที่เป็นห้องสำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยเป็นการทดสอบสายอากาศที่สนามระยะไกล ซึ่งเป็นระยะการแพร่ของสนามไฟฟ้าของสายอากาศที่ใช้ทดสอบมุมต่างๆ โดยสามารถเริ่มจากการคำนวณที่สนามระยะไกลจากสมการที่ 4.1

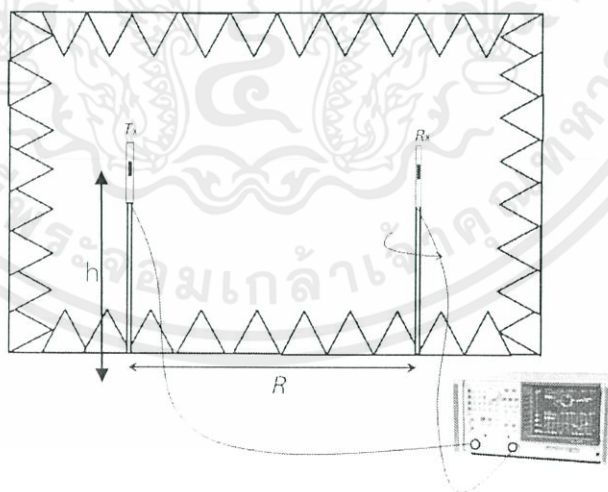
$$R = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

โดยที่ R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับกับสายอากาศส่ง (เมตร)

D = มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศ (เมตร)

λ = ค่าความยาวคลื่น หาได้จากสูตร $C = f\lambda$

จากแผ่นระนาบกราวด์ของสายอากาศจะได้ค่า $D = 8$ cm จากนั้นเริ่มทำการทดสอบโดย ทำการปรับสมดุลเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Network Analyzer ด้วยชุดการปรับสมกุล 85200 B.3.5 mm. จากนั้น เลือกช่วงความถี่ที่ต้องการใช้ในการวิเคราะห์ โดยเริ่มต้นที่ 1 GHz ถึง 2 GHz ถัดมาทำการต่อสายอากาศหลายความถี่เข้ากับเครื่อง Network Analyzer ผ่านสายนำสัญญาณ สุดท้ายทดสอบค่าแบบรูปแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยสามารถแสดงภาพการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและสรุปค่าระยะห่างระหว่างสายอากาศรับกับสายอากาศส่งได้ดังรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.1



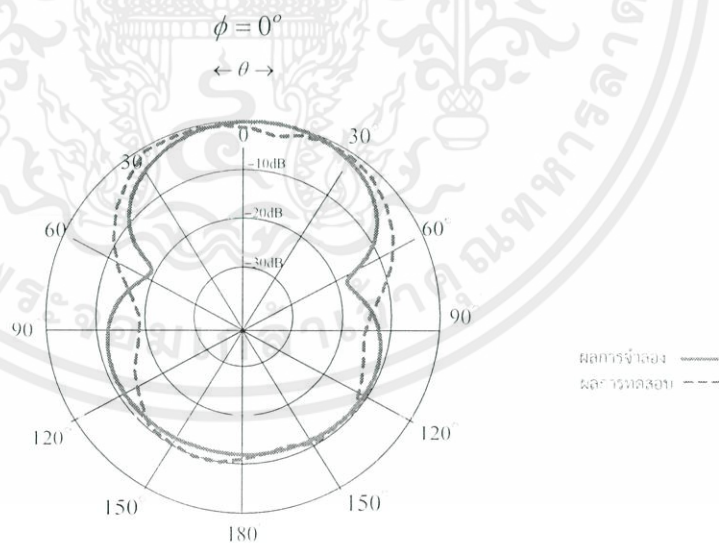
รูปที่ 4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ห้องไร้การสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ระยะสนามระยะไกล

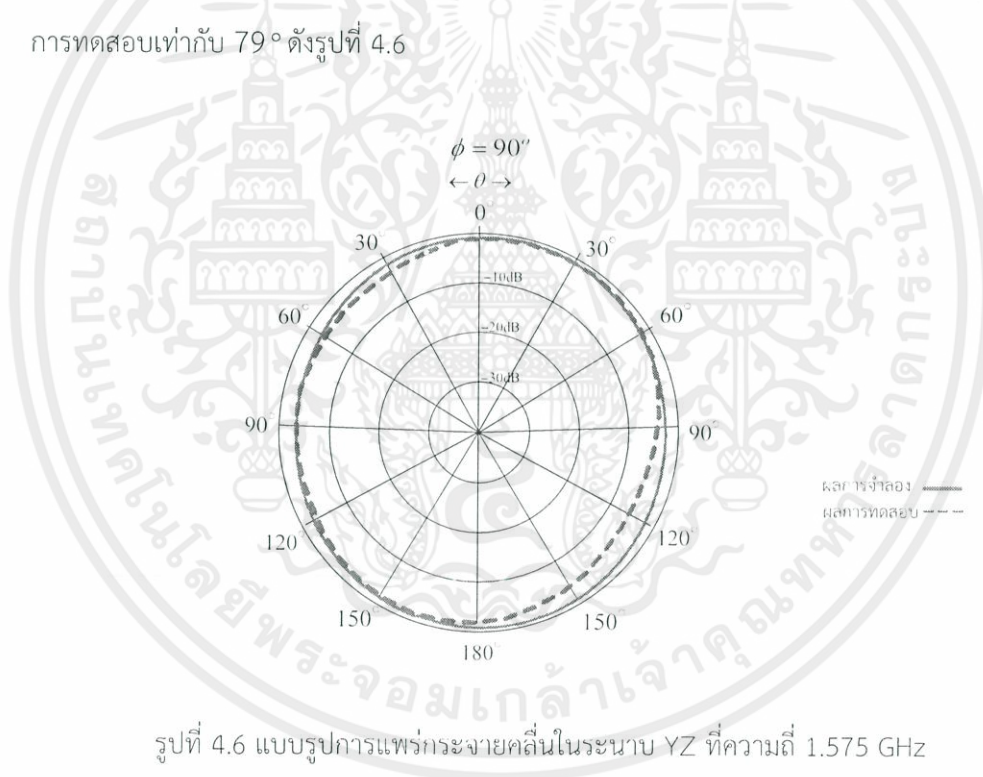
Frequency (GHz)	ระยะ Far Field (m)
1.575	0.70

โดยการทดสอบจะต้องทำการทดสอบในระนาบ XZ และระนาบ YZ โดยการทดสอบในระนาบ XZ จะจัดการวางสายอากาศในส่วนของโพรบให้ขนานกับพื้นระนาบทั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่ง โดยนำสายอากาศส่งติดตั้งทั้งแผ่นและสายอากาศรับไปติดตั้งบนแท่นหมุนที่ควบคุมด้วยเครื่องหมุนอัตโนมัติ พร้อมกับบันทึกค่าของกำลังสนามในแต่ละองศาจนครบ 360° โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคจรช่วยในการวิเคราะห์ โดยการแสดงค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองโปรแกรม CST Microwave Studio และค่าที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์โคจรช่วย โดยทำการทดสอบที่ย่านความถี่ GPS 1.575 GHz ซึ่งพบว่ามีรูปแบบรอบตัว มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง จากการจำลองเท่ากับ 149.5° และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง จากการทดสอบเท่ากับ 142° ดังรูปที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.5 แบบรูปแพร่กระจายคลื่นระนาบ XZ ที่ความถี่ 1.575 GHz ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการทดสอบในระนาบ YZ จะต่างจากการทดสอบในระนาบของสนามไฟฟ้า คือ การวางโพรบให้ตั้งฉากกับพื้นระนาบทั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่งโดยนำสายอากาศส่งติดตั้งทั้งแผ่นและสายอากาศรับไปติดตั้งบนแท่นหมุนที่ควบคุมด้วยเครื่องหมุนอัตโนมัติ พร้อมกับบันทึกค่าของกำลังสนามในแต่ละองศาจนครบ 360° องศาโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายช่วยในการวิเคราะห์ โดยการแสดงค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองโปรแกรม CST Microwave Studio และค่าที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โดยทำการทดสอบที่ย่านความถี่ GPS 1.575 GHz ซึ่งพบว่าการแพร่กระจายแบบรอบตัว มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง จากการจำลองเท่ากับ 85.4° และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง จากการทดสอบเท่ากับ 79° ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ YZ ที่ความถี่ 1.575 GHz

4.4.3 อินพุตอิมพีแดนซ์

เนื่องจากตัวเชื่อมต่อส่วนใหญ่มีมาตรฐานการสร้างที่ 50 โอห์ม ฉะนั้นจึงควร ออกแบบสายอากาศให้มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ใกล้เคียง 50 โอห์ม มากที่สุด ซึ่งแสดงดัง

ตารางเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.2

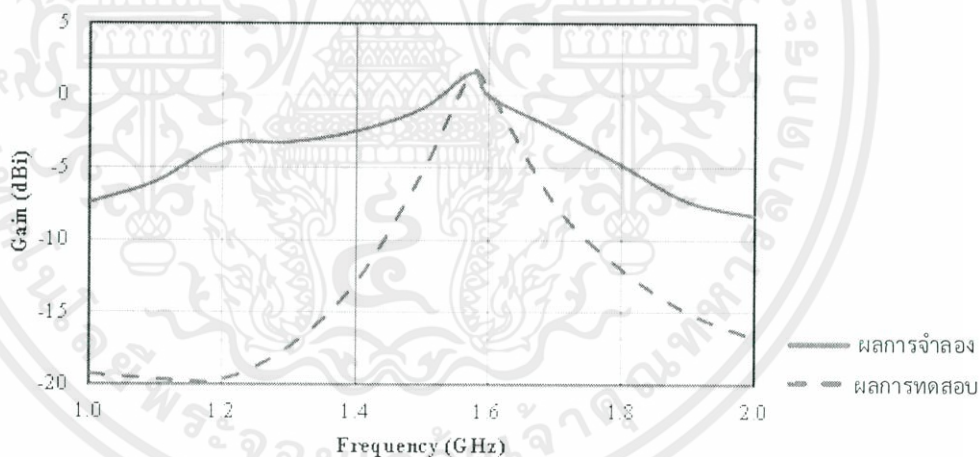
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 อินพุตอิมพีแดนซ์

ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์	จำลอง	ทดสอบ
ย่านความถี่ GPS 1.575GHz	$50.50+j0.775$	$52.535+j3.2441$

4.4.4 อัตราขยาย (Gain)

ค่าอัตราขยาย คือ กำลังงานที่สายอากาศแผ่ออกไป โดยทั่วไปถ้าไม่กำหนดทิศทางใช้สภาพเงาเชิงทิศทางในทิศทางที่สายอากาศแผ่พลังงานได้ดีที่สุดโดยแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดสอบดังภาพที่ 4.7 และสรุปได้ดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.7 อัตราขยายเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ

จากรูปที่ 4.7 ได้นำค่าอัตราขยายตั้งแต่ความถี่ 1.0 GHz – 2.0 GHz มาทำการสร้างกราฟ โดยจากการจำลองมีค่าอัตราขยายตั้งแต่ -19.23 dBi ถึง -16.77 dBi ที่ความถี่ 1.575 GHz ได้ค่าอัตราขยาย 1.66 dBi และที่แบนด์วิดท์ 1.57 – 1.58 GHz ได้ค่าอัตราขยาย 1.59 dBi – 1.61 dBi จากการทดสอบ มีค่าอัตราขยายตั้งแต่ -7.41 dBi ถึง -8.33 dBi ที่ความถี่ 1.575 GHz ได้ค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยาย 1.57 dBi และที่แบนด์วิดธ์ 1.57 GHz – 1.58 GHz ได้ค่าอัตราขยาย 1.42 dBi – 1.51 dBi

ตารางที่ 4.3 อัตราขยาย

Frequency	จำลอง	ทดสอบ
1.575 GHz	1.66 dBi	1.57 dBi

โดยสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการจำลองและค่าจากการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปสมรรถนะสายอากาศ

พารามิเตอร์	จำลอง	ทดสอบ
$ S_{11} $ (dB)	-33.94	-16.38
แบนด์วิดธ์ (GHz)	1.562 – 1.589	1.567 – 1.583
เปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ (%)	1.9	1.2
อินพุตอิมพีแดนซ์ (Ω)	50.50 + j0.775	52.535+j3.2441
อัตราขยาย (dBi)	1.66	1.57
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	Almost Omni-directional	Almost Omni-directional
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ XZ)	149.5°	142°
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ YZ)	85.4°	79°

จากตารางที่ 4.4 หากพิจารณา $|S_{11}|$ พบว่าค่าที่ได้จากการจำลองคือ -33.94 dB ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบคือ -16.38 dB จะเห็นได้ว่าค่าดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนจากที่ได้จำลองในโปรแกรม CST Microwave Studio เนื่องจากการจำลองในโปรแกรมนั้นจะเป็นค่าในอุดมคติ มีความผิดพลาดน้อยมาก แต่เมื่อสร้างสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกจริงค่า FR-4 ที่ใช้ในแผ่นทองแดงก็ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ลดลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สรุปผลการทดสอบ

จากผลการจำลอง และ ผลการทดสอบ ได้ค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองคือ -33.94 dB ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบคือ -16.38 dB จะเห็นได้ว่าค่าดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนจากที่ได้จำลองในโปรแกรม CST Microwave Studio เนื่องจากการจำลองในโปรแกรมนั้นจะเป็นค่าในอุดมคติ มีความผิดพลาดน้อยมาก แต่เมื่อสร้างสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกจริงค่า FR-4 ที่ใช้ในแผ่นทองแดงก็ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ลดลงไป

ส่วนค่าอัตราขยาย (Gain) นั้น จากผลการจำลอง มีค่าอัตราขยายเท่ากับ 1.66 dBi และเมื่อทำการทดสอบพบว่า มีอัตราขยายเท่ากับ 1.57 dBi โดยอัตราขยายจากการทดสอบนี้มีค่าใกล้เคียงกับการจำลองมาก ซึ่งค่าอัตราขยายดังกล่าวอาจจะมีค่าน้อยเนื่องจากสายอากาศมีขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้ก็ถือว่ามีความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง โดยในขั้นตอนการพัฒนาอาจต้องปรับปรุงคุณลักษณะบางอย่างและพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการจะนำไปใช้งานจริงได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนั้นยังพบว่า สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบ Almost Omni-directional มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ XZ) มีค่าเท่ากับ 149.5° ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ YZ) มีค่า 85.4°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

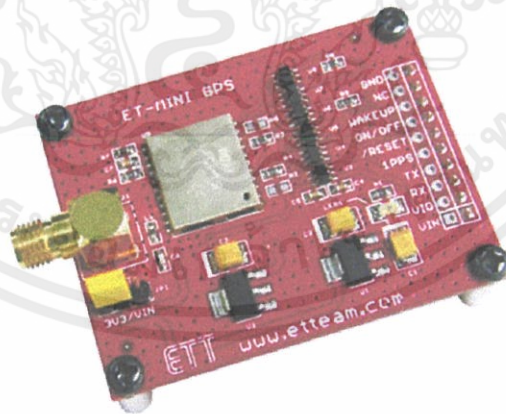
การประยุกต์การใช้งาน

หลังจากทำการทดสอบสายอากาศ ต่อไปจะเป็นการนำสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งมาประยุกต์ใช้งานกับโมดูล EET รุ่น ET-GPS START KIT โดยจะนำเสนอหน้าที่เบื้องต้นของโมดูล แนะนำโปรแกรม GPSFox ซึ่งเป็นโปรแกรมแสดงผลที่จะนำมาใช้งาน รวมไปถึงขั้นตอนวิธีการทดสอบ และผลการทดสอบในการเชื่อมต่อกันระหว่าง โมดูล EET รุ่น ET-GPS START KIT กับ สายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

5.1 โมดูล และ GPSFox

5.1.1 โมดูล

โมดูล[11] คือ โมดูลคือโปรแกรมเสริมความสามารถสำเร็จรูปชนิดหนึ่ง ซึ่งจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ สามารถดาวน์โหลดและนำมาติดตั้งใช้งานได้ทันที เช่นระบบ Login แกลลอรีรูปภาพ นาฬิกา ปฏิทิน ตัวนับผู้เยี่ยมชม แบนเนอร์ เป็นต้น ส่วนเสริมชนิดนี้ นำไปใช้เสริมความสามารถในส่วนที่ระบุตำแหน่งเพื่อเชื่อมต่อกับเอาต์พุตภายนอกได้โดยเราจะนำไปใช้งานในส่วนของอุปกรณ์ที่รับสัญญาณ GPS จากดาวเทียม ซึ่งรุ่นของโมดูลที่ใช้คือ ET-GPS START KIT แสดงภาพของโมดูลดังกล่าวดังรูปที่ 5.1

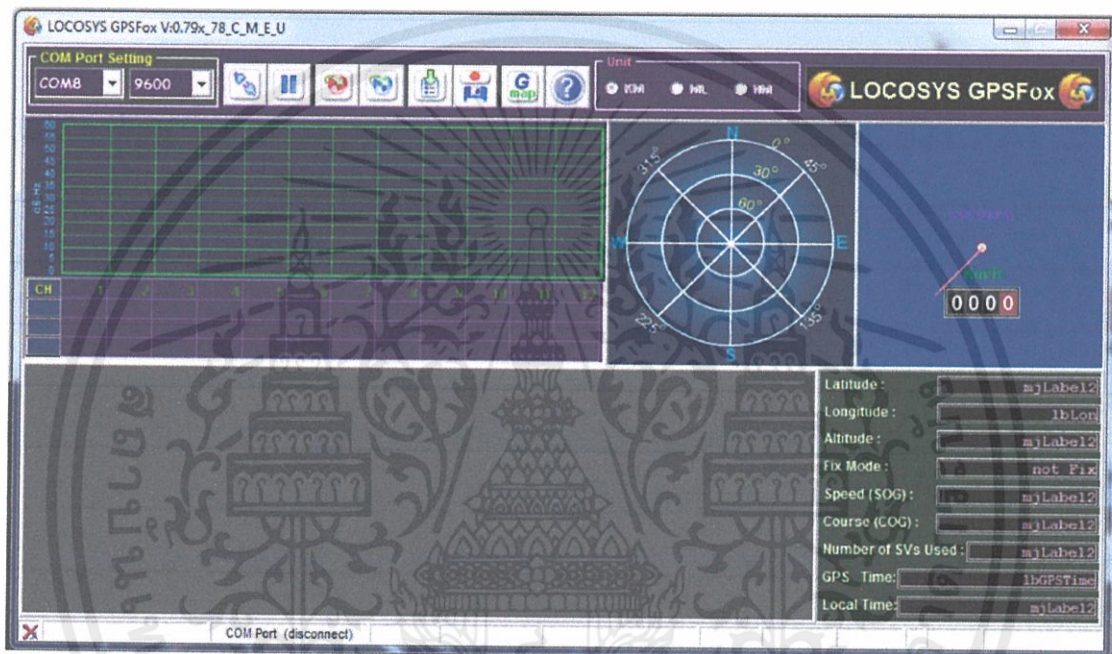


รูปที่ 5.1 โมดูล EET รุ่น ET-GPS START KIT [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 GPSFox

GPSFox คือโปรแกรมแสดงผลของการเชื่อมต่อกันระหว่างโมดูล ET-GPS START KIT กับสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกซึ่งจะมีฟังก์ชันในการทำงานที่ตรงแก่ความต้องการและไม่ยุ่งยากซับซ้อนสำหรับผู้ใช้งาน แสดงรูปแบบของโปรแกรกดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 โปรแกรม GPSFox

สำหรับฟังก์ชันการใช้งานหลักของโปรแกรมคือ แสดงถึงความสามารถของสายอากาศว่าสามารถเชื่อมต่อกับดาวเทียมได้กี่ดวง โดยจะมีการบอกจำนวนของดาวเทียมไว้อย่างชัดเจน อีกทั้งจะสามารถระบุตำแหน่งที่เราอยู่ในรูปแบบพิกัด Coordinate ได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิธีการทดสอบ

1. ทำการติดตั้งโปรแกรม GPSFox ในคอมพิวเตอร์
2. เชื่อมต่อสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกกับโมดูล ET-GPS START KIT
3. นำสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งและ โมดูล ET-GPS START KIT ติดตั้งบริเวณหลังคารถ เพื่อให้ตรงกับลักษณะการจะนำไปใช้งานจริง
4. กดปุ่มเชื่อมต่อGPSในโปรแกรม GPSFox (Connect to GPS) เพื่อให้ โมดูล ET-GPS START KITทำงานร่วมกับสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกและจะแสดงพิกัดในโปรแกรม GPSFox หากมีการเชื่อมต่อและสามารถระบุพิกัดได้
5. นำพิกัดที่ได้จากโปรแกรม GPSFox ไปค้นหาสถานที่Google map เพื่อที่จะเปรียบเทียบผลจากการแสดงพิกัดจากโปรแกรม GPSFox ว่ามีความถูกต้องและแม่นยำหรือไม่

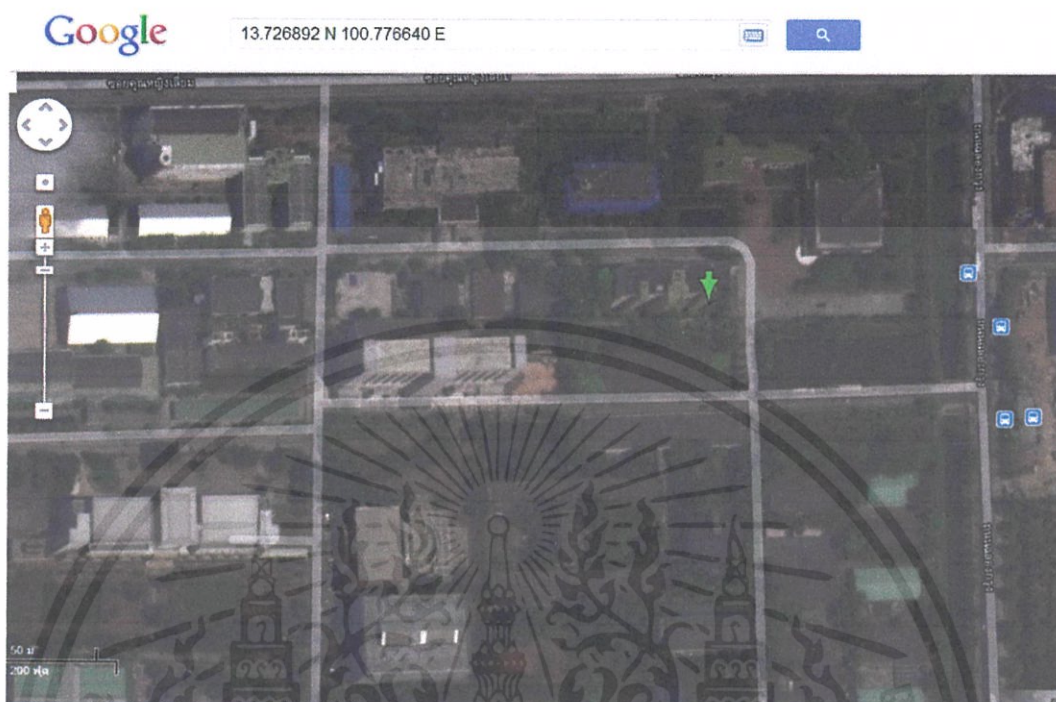
สำหรับการทดสอบสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกนั้น ได้ทำการทดสอบในวิธีการดังกล่าวทั้งหมด 3 จุดนั้นคือ 1. ตึก5ชั้นคณะวิศวกรรมศาสตร์ 2. ตึกECC (ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์) และ 3.สนามกีฬาพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง

5.3 ผลการทดสอบ

5.3.1 ตึก 5 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์

เมื่อนำสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกเชื่อมต่อกับโมดูล ET-GPS START KIT โปรแกรม GPSFox ก็สามารถเชื่อมต่อสัญญาณกับดาวเทียมได้และสามารถแสดงพิกัดของตึก 5 ชั้นคณะวิศวกรรมศาสตร์ออกมา นั่นคือ 13.726892 N 100.776640 E แสดงดังรูปที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

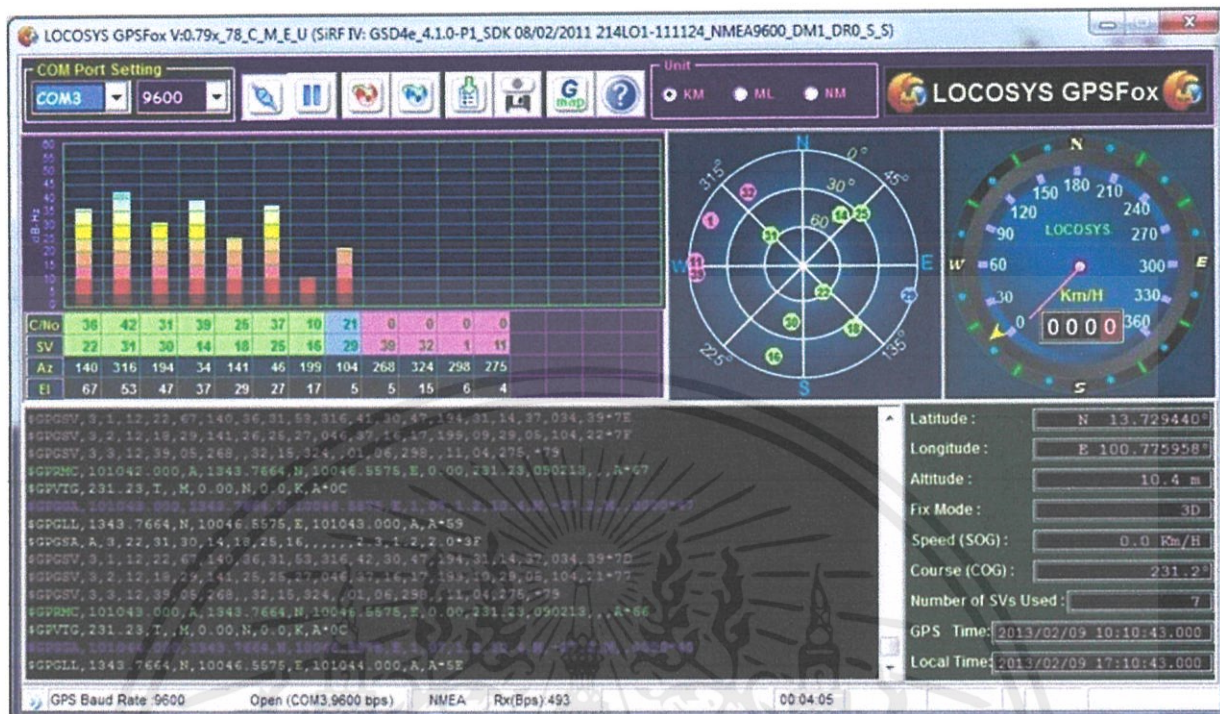


รูปที่ 5.4 ตำแหน่งและพิกัดของ ตึก 5 ชั้นคณะวิศวกรรมศาสตร์จาก Google Map [13]

5.3.2 ตึก ECC (ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

เมื่อนำสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกเชื่อมต่อกับโมดูล ET-GPS START KIT โปรแกรม GPSFox ก็สามารถเชื่อมต่อสัญญาณกับดาวเทียมได้และสามารถแสดงพิกัดของตึกECC (ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์)ออกมา นั่นคือ 13.729440 N 100.775958 E แสดงดังรูปที่ 5.5

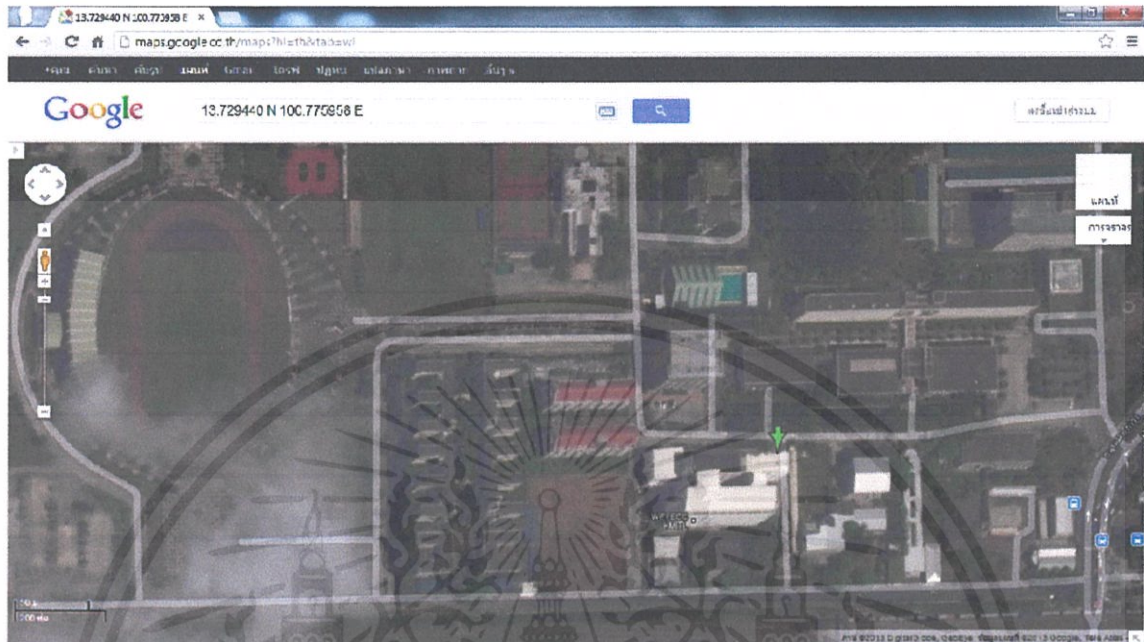
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 พิกัดตำแหน่งจากโปรแกรม GPSFox

ทำการนำพิกัดดังกล่าวไปค้นหาจาก Google Map เพื่อดูว่าตำแหน่งที่ได้มีความถูกต้องหรือไม่ พบว่า พิกัดของ ตึก ECC (ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์) คือ 13.729440 N 100.775958 E ซึ่งตำแหน่งที่ได้มีความถูกต้องแสดงดังรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

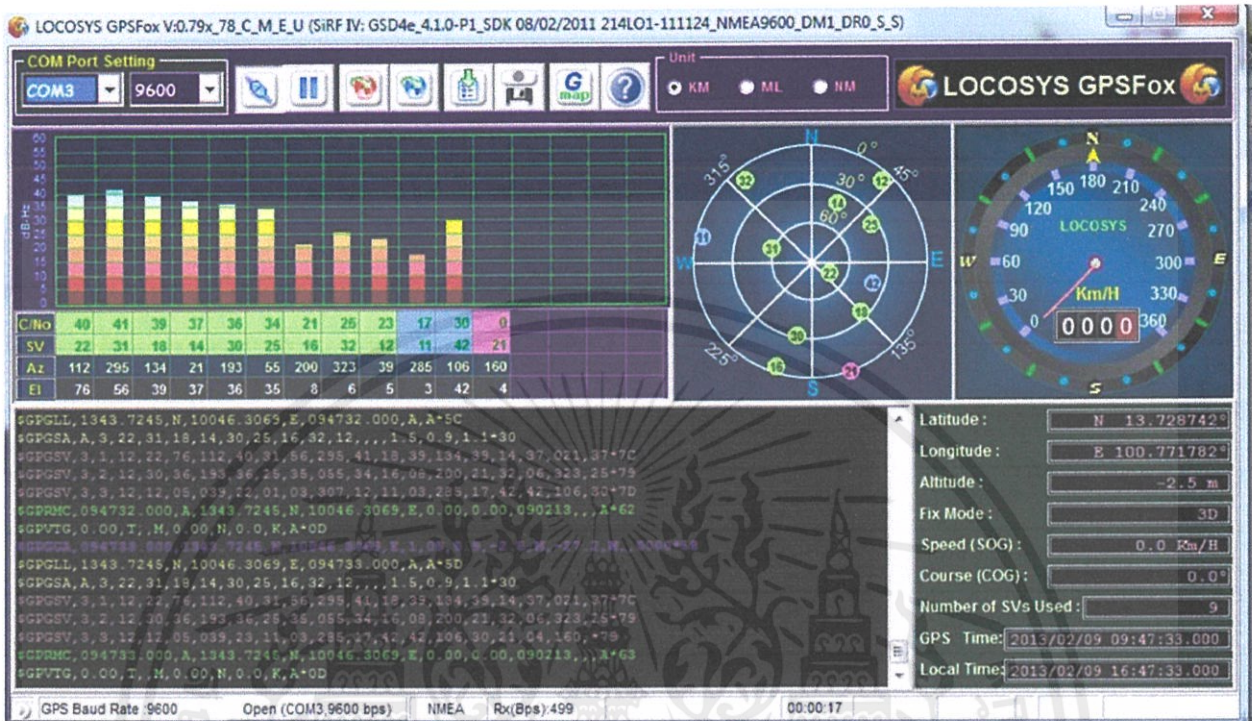


รูปที่ 5.6 ตำแหน่งและพิกัดของ ตึก ECC (ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์) จากGoogle Map [13]

5.3.3 สนามกีฬาพระจอมเกล้าลาดกระบัง

เมื่อนำสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกเชื่อมต่อกับโมดูล ET-GPS START KIT โปรแกรม GPSFox ก็สามารถเชื่อมต่อสัญญาณกับดาวเทียมได้และสามารถแสดงพิกัดของสนามกีฬาพระจอมเกล้าลาดกระบังออกมา นั่นคือ 13.728742 N 100.771782 E แสดงดังรูปที่ 5.7

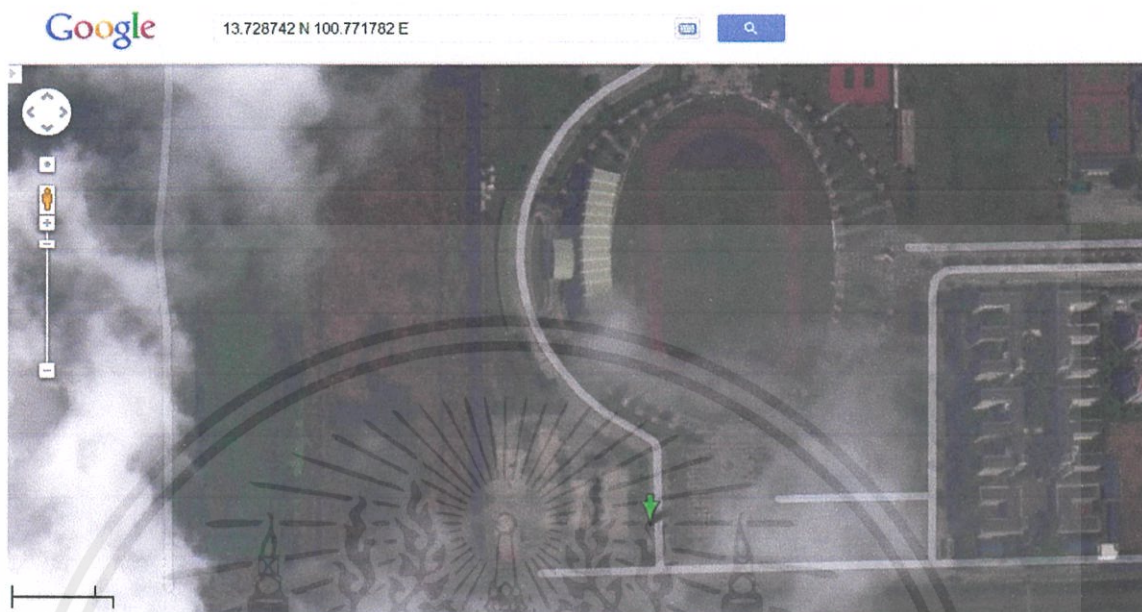
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 พิกัดตำแหน่งจากโปรแกรม GPSFox

ทำการนำพิกัดดังกล่าวไปค้นหาจาก Google Map เพื่อดูว่าตำแหน่งที่ได้มีความถูกต้องหรือไม่ พบว่า พิกัดสนามกีฬาพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง คือ 13.728742 N 100.771782 E ซึ่งตำแหน่งที่ได้มีความถูกต้องแสดงดังรูปที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ตำแหน่งและพิกัดของสนามกีฬาพระจอมเกล้าลาดกระบังจาก Google Map [13]

5.4 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการนำสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกทำงานร่วมกันกับโมดูล ET-GPS START KIT และโปรแกรม GPSFox พบว่าผลการระบุตำแหน่งมีความแม่นยำสูง โดยสามารถระบุเป็นพิกัดเพื่อแสดงตำแหน่งได้ถูกต้อง (อ้างอิงจาก Google Map) แต่ทั้งนี้ในการใช้งานก็ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้วย นั่นคือหากสภาพอากาศไม่แจ่มใสมีฝนตกแรง ความสามารถในการระบุตำแหน่งก็อาจจะลดลงหรือไม่แม่นยำเท่าที่ควร และไม่เหมาะสำหรับการใช้งานในภาคพื้นดิน เนื่องจากสายอากาศระบบระบุตำแหน่งนี้ได้ออกแบบมาสำหรับการใช้งานกับรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองของการจำลองสายอากาศและผลการทดลองจากชิ้นงานสายอากาศจริง ทำให้คณะผู้จัดทำได้ทราบว่า เมื่อทำไปเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีแล้วก็ยังคงมีความแตกต่างบ้าง บางประการ ต้องพยายามหาทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

6.1 สรุปผล

โครงการนี้ได้นำเสนอสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกแบบไมโครสตริป โดยมีวัตถุประสงค์คือต้องการให้สายอากาศใช้งานได้ที่ความถี่ 1.575 GHz ครอบคลุมแบนด์วิดท์ 1.57 GHz – 1.58 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 Ω มีค่าอัตราขยายสูง และมีการโพลารไรซ์เป็นแบบวงกลม เริ่มต้นจากการจำลองสายอากาศโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ซึ่งจะนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศมาเป็นเงื่อนไขในการพิจารณาหาสายอากาศที่เหมาะสม โดยจะพิจารณาที่ค่า $|S_{11}|$ ต้องมีค่าต่ำกว่า -10 dB ซึ่งค่อนข้างยากและลำบากในช่วงแรก ถึงแม้จะมีแม่แบบในการสร้างให้ดูเป็นแบบอย่างก็ตาม สุดท้ายนั้นเมื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างสายอากาศ ผลที่ได้ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งจากผลการจำลองสายอากาศจากโปรแกรม จึงสามารถนำมาใช้งานได้ในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยมีโครงสร้างสายอากาศที่ทำการสร้างดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจากการทดสอบสายอากาศนี้ พบว่ามีผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลอง และมีคุณลักษณะของสายอากาศที่สามารถนำมาใช้งานสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกได้จริง นั่นคือสายอากาศสามารถรับความถี่ 1.575 GHz และสามารถใช้ในระบบระบุตำแหน่งกับ Module GPS ชนิด ET-GPS START KIT ได้ นอกไปเหนือไปจากนี้ยังได้มีการปรับปรุงคุณลักษณะต่างๆจนได้สายอากาศที่มีขนาดเล็กเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานจริง

จากผลการจำลอง และ ผลการทดสอบ ได้ค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองคือ -33.94 dB ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบคือ -16.38 dB จะเห็นได้ว่าค่าดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนจากที่ได้จำลองในโปรแกรม CST Microwave Studio เนื่องจากการจำลองในโปรแกรมนั้นจะเป็นค่า

เอกสารนี้เป็นในอุดมคติ มีความผิดพลาดน้อยมาก แต่เมื่อสร้างสายอากาศสำหรับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริงค่า FR-4 ที่ใช้ในแผ่นทองแดงก็ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบทำให้ประสิทธิภาพที่ลดลงไป

ส่วนค่าอัตราขยาย (Gain) นั้น จากผลการจำลอง มีค่าอัตราขยายเท่ากับ 1.66 dBi และเมื่อทำการทดสอบพบว่าอัตราขยายเท่ากับ 1.57 dBi โดยอัตราขยายจากการทดสอบนี้มีค่าใกล้เคียงกับการจำลองมาก ซึ่งค่าอัตราขยายดังกล่าวอาจจะมีค่าน้อยเนื่องจากสายอากาศมีขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้ก็ถือว่ามีความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง โดยในขั้นตอนการพัฒนาอาจต้องปรับปรุงคุณลักษณะบางอย่างและพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการจะนำไปใช้งานจริงได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนั้นยังพบว่า สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบ Almost Omni-directional มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ XZ) มีค่าเท่ากับ 149.5° ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ YZ) มีค่า 85.4°

ตารางที่ 6.1 สรุปสมรรถนะสายอากาศ

พารามิเตอร์	จำลอง	ทดสอบ
$ S_{11} $ (dB)	-33.94	-16.38
แบนด์วิดท์ (GHz)	1.562 – 1.589	1.567 – 1.583
เปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ (%)	1.9	1.2
อินพุตอิมพีแดนซ์ (Ω)	$50.50 + j0.775$	$52.535 + j3.2441$
อัตราขยาย (dBi)	1.66	1.57
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	Almost Omni-directional	Almost Omni-directional
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง(ระนาบ XZ)	149.5°	142°
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบ YZ)	85.4°	79°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับแนวทางในการพัฒนาสายอากาศระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกนั้น ในความเป็นจริง การสร้างสายอากาศเพื่อใช้งานจริงจะแตกต่างจากในทฤษฎีมาก ถึงแม้จะมีโปรแกรมจำลองสายอากาศช่วยก็ตาม ก็ไม่ควรเชื่อมั่นในผลจากการจำลองมากนัก แต่ควรจะดูแนวโน้มในการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ว่าผลเป็นอย่างไรบ้าง เพื่อจะได้นำไปปรับปรุง และออกแบบสายอากาศที่มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการและสามารถนำไปใช้งานได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Global5 Co., Ltd. “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ GPS.” <http://www.global5thailand.com/thai/gps.htm>.
- [2] Learning center for Earth Science and Astronomy. “วงโคจรของดาวเทียม.” <http://www.lesa.biz/astronomy/space-technology/satellite/orbits>.
- [3] PacktLib books. “Behind location based services GPS.” <http://packtlib.packtpub.com/library/windows-phone-7-5-building-location-aware-applications/ch01lv1sec05>.
- [4] Yothin Boonnarat “ระบบ GPS ระบบบอกพิกัดตำแหน่งผ่านทางดาวเทียม.” <http://rsu-itm640.blogspot.com/2010/08/gps.html>.
- [5] Wikipedia. “Global Positioning System.” http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System.
- [6] Asst.Prof.Kosol Nithisopa Assoc.Prof.Dr.Numyoot Songthanapitak Assoc.Prof.Noppin Anantrasirichai, “Simple-Shape of Wideband Slot Antenna fed by CPW”, http://eerg.eng.rmutp.ac.th/PDF_Research/research_15.pdf
- [7] Constantine A Balanis **Antenna Theory Analysis and Design** Third Edition John Wiley & Sons. Inc. 2005.
- [8] Zhi-Hong Tu, Qing-Xin Chu, “Compact Circular Polarized Antenna for GPS and CNSS Applications”, *IEEE Proceedings Asia-Pacific Microwave Conference* 2010.
- [9] K.F. Tong, T.P. Wong, “Circular Polarized U-Slot Antenna”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.55, no.8, pp.2382-2385, August 2007.
- [10] J.Y. Sze, Chung I.G. Hsu, Z.W. Chen, and C.C. Chang, “Broadband CPW-Fed Circularly Polarized Square Slot Antenna with Lightning-Shaped Feedline and Inverted-L Ground Plane”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.58, no.3, pp.973-988, March 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] ชำนาญ เฉลิมยุทธ. “Input Module.”http://www.9engineer.com/au_main/PLC/Input%20%20Module.htm
- [12] Thai easy elec. “GPS Module.”<http://www.thaieasyelec.com/Wireless-Module/GPS/GP-2106-Breakout-Board.html>.
- [13] Google Inc. “Google maps.”<https://maps.google.co.th/maps>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้