

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่สำหรับเครื่องรับ
สัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ

DUAL-BAND QUADRIFILAR HELICAL ANTENNA FOR RADIO BEACON RECEIVER
OF LOW EARTH ORBIT SATELLITE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2555
KMITL-2012-EN-M-010-028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DUAL-BAND QUADRIFILAR HELICAL ANTENNA FOR RADIO BEACON RECEIVER
OF LOW EARTH ORBIT SATELLITE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012
KMITL-2012-EN-M-010-028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2012

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่สำหรับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ
Thesis Title Dual-Band Quadrifilar Helical Antenna for Radio Beacon Receiver of Low Earth Orbit Satellite
นักศึกษา นางสาวรัศมีทัต แผนสมบุรณ์
รหัสประจำตัว 53611409
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพานิชย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2012-EN-M-010-028

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์		
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์		
ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน		
ดร.สถาพร พรหมวงศ์		
รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพานิชย์		

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2555 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

KING MONKULUTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุช์ชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่สำหรับเครื่องรับสัญญาณ ปีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ
นักศึกษา	นางสาวรัศมีทัต แผนสมบุรณ์
รหัสประจำตัว	53611409
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับเครื่องรับสัญญาณปีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำของสถานีภาคพื้นดิน โดยนำเสนอการออกแบบสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่แบบใหม่ที่มีคุณสมบัติการทำงานในสองแถบความถี่คือ 150 MHz และ 400 MHz ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศดังกล่าวเป็นการรวมเอาโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขนสองชุดที่ทำงานต่างความถี่เข้าด้วยกัน โดยสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลม โพลาริซวงกลมทั้งสองแถบความถี่และมีอัตราขยาย 2.26 dBic และ 2.52 dBic ซึ่งผลการจำลองจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสายอากาศ รวมทั้งทำการสร้างและทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบครึ่งทรงกลม โดยมีความกว้างครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ที่ความถี่ 150 MHz มีค่าเท่ากับ 100 องศา และ 70 องศาตามลำดับ ที่ความถี่ 400 MHz มีค่าเท่ากับ 115 องศา และ 90 องศา ตามลำดับ โดยมีช่วงกว้างแถบความถี่ครอบคลุมจากความถี่ 145 MHz ถึง 153 MHz และจากความถี่ 384 MHz ถึง 406 MHz โดยมีอัตราส่วนแบนด์ที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz คือ 2 dB และ 1 dB ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การโพลาริซวงกลมทั้งสองแถบความถี่ ดังนั้นสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับสายอากาศเครื่องรับสัญญาณปีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ

Thesis	Dual-Band Quadrifilar Helical Antenna for Radio Beacon Receiver of Low Earth Orbit Satellite
Student	Miss Rassamitut Pansomboon
Student ID.	53611409
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2012
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

In this thesis, dual-band quadrifilar helical antenna (QHA) is proposed for the radio beacon receiver in the application of the ground station of the low earth orbit (LEO) satellite. The new configuration of the QHA is proposed to achieve the dual operating frequencies at 150 MHz and 400 MHz, which it is the combination of two bifilar helical antennas (BHA). The antenna achieves the hemispherical radiation pattern and dual-band operation of circular polarization. The gains equal to 2.26 dBic and 2.52 dBic at 150 MHz and 400 MHz, respectively. The simulated results are demonstrated the antenna performance. The prototype antenna was fabricated and measured for its characteristics. The pattern is hemispherical radiation pattern. The half-power beamwidths in E-plane and H-plane at 150 MHz are 100degree and 70 degree respectively, and half-power beamwidths in E-plane and H-plane at 400 MHz are 115 degree and 90 degree, respectively. The bandwidth covers from 145 MHz to 153 MHz and from 384 MHz to 406 MHz. The axial ratios of the beam peak direction at the resonant frequency of 150 MHz and 400 MHz are 2 dB and 1 dB, respectively. Therefore, the results of the proposed antenna can be used for the radio beacon receiver of low earth orbits satellite.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากรองศาสตราจารย์ ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และเป็นผู้ช่วยเหลือแนะนำทางด้านการศึกษา รวมทั้งยังอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าอย่างดียิ่งตลอดมา ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมพล โกศสวัสดิ์ และดร. รวีภัทร ผุดผ่อง ผู้ซึ่งให้คำแนะนำเกี่ยวกับการศึกษาออกแบบสำหรับงานวิจัยของข้าพเจ้า ขอขอบคุณในความเมตตาจากห้อง Communication, Signal Processing and Storage Research Group (CSSRG) ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์อันเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับงานวิจัยของข้าพเจ้า ขอขอบคุณความร่วมมือระหว่างสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ที่สนับสนุนทางด้านทุนการศึกษาของข้าพเจ้าที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณพี่ๆ และสมาชิกในท้องปฏิบัติกรสื่อสารไร้สายทุกท่านสำหรับคำแนะนำ กำลังใจ และข้อคิดดีๆ ตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณศุภกิต แก้วดวงตา ที่คอยแนะนำแนวทางตลอดจนแนวคิดในการวิจัยรวมถึงการสนับสนุนงานวิจัยของข้าพเจ้าในทุกๆ ด้าน และคุณณัฐเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน ที่คอยช่วยเหลืองานวิจัยของข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าทุกคน ที่มอบความปรารถนาดีอันเป็นกำลังใจที่สำคัญแก่ข้าพเจ้า อีกทั้งยังส่งเสริมทางด้านการศึกษาของข้าพเจ้าอย่างดียิ่ง รวมถึงให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่องของข้าพเจ้า จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วง คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัศมีทัต แผนสมบุรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	5
1.3 เนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	8
2.1 กล่าวนำ.....	8
2.2 หลักการสื่อสารของดาวเทียม.....	8
2.2.1 ดาวเทียม.....	8
2.2.1.1 ระบบควบคุมตำแหน่งและวงโคจร.....	8
2.2.1.2 ระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียม.....	9
2.2.1.3 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า.....	9
2.2.1.4 ระบบสื่อสารของดาวเทียม.....	9

IV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1.5 ระบบสายอากาศของดาวเทียม	9
2.2.2 สถานีภาคพื้นดิน	10
2.2.2.1 ส่วนของความถี่วิทยุ.....	11
2.2.2.2 ส่วนของความถี่เบสแบนด์.....	11
2.3 หลักการส่งสัญญาณของดาวเทียมวงโคจรต่ำที่มีการส่งสัญญาณบีคอน	11
2.4 งานวิจัยที่มีมาก่อน.....	13
2.5 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ.....	16
2.5.1 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศเกลียว	16
2.5.2 สายอากาศเกลียวสองแขนและสายอากาศเกลียวสี่แขน.....	19
2.5.3 ระบบการป้อนสัญญาณ.....	22
2.5.3.1 การทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $1/4$	23
2.5.3.2 การทำบาลันแบบเจาะช่องโคแอกเซียล.....	25
2.5.3.3 การทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วง สายอากาศ.....	27
2.6 สรุป.....	29
บทที่ 3 ผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศ.....	30
3.1 กล่าวนำ.....	30
3.2 การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศ	30
3.2.1 ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม.....	30
3.2.2 ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสองแขน	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2.1 สายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม	34
3.2.2.2 สายอากาศเกลียวสองแขนจากการคำนวณจากสูตร	37
3.2.3 สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่.....	44
3.3 สรุป.....	50
บทที่ 4 ผลการจำลองโครงสร้างสายอากาศ.....	52
4.1 กล่าวนำ.....	52
4.2 การจำลองโครงสร้างของสายอากาศ.....	53
4.2.1 การจำลองโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขนแถบความถี่เดียว	53
4.2.1.1 สายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz	53
4.2.1.2 สายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz	57
4.2.2 การจำลองโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่.....	61
4.3 สรุป.....	68
บทที่ 5 ผลการทดสอบและการประยุกต์ใช้งาน.....	70
5.1 กล่าวนำ.....	70
5.2 การสร้างสายอากาศ	70
5.3 การทดสอบสายอากาศและผลการทดสอบ	71
5.3.1 การทดสอบและผลการทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบ ความถี่	72

VI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.2 การทดสอบและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เกลียวสี่แขนสองแถบความถี่	73
5.3.3 การทดสอบและผลการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสี่แขน สองแถบความถี่.....	76
5.3.4 การทดสอบและผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสอง แถบความถี่	78
5.4 การประยุกต์ใช้งาน.....	82
5.5 สรุป.....	85
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	86
6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม.....	86
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	89
เอกสารอ้างอิง.....	90
ประวัติผู้เขียน	92

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้งานของสัญญาณบีคอน.....	4
1.2 ดาวเทียมวงโคจรต่ำที่มีการส่งสัญญาณบีคอนและความถี่ใช้งาน.....	4
3.1 สรุปประสิทธิภาพของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz	33
3.2 สรุปพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนาจากบ่วงสี่เหลี่ยม สำหรับความถี่ 150 MHz และ 400 MHz.....	37
3.3 สรุปขนาดของพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการ คำนวณที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz	44
3.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่.....	46
3.5 สรุปขนาดของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่	49
4.1 คุณสมบัติของสายอากาศที่ทำการจำลอง	52
4.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศและโครงสร้างสร้างสายอากาศที่ความถี่ 150 MHz	53
4.3 คุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz.....	56
4.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศและโครงสร้างสร้างสายอากาศที่ความถี่ 400 MHz	57
4.5 คุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz.....	60
4.6 พารามิเตอร์ของสายอากาศและโครงสร้างสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่	62
4.7 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่	67
5.1 ขนาดทางกายภาพที่ใช้สร้างสายอากาศต้นแบบ	71
5.2 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่.....	81
6.1 สรุปขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่	87

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 วงโคจรดาวเทียม.....	2
1.2 เส้นทางสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	2
1.3 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศแบบเกลียวสี่แขน	6
2.1 องค์ประกอบของการสื่อสารดาวเทียมพื้นฐาน.....	10
2.2 บล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดิน.....	10
2.3 ระบบสายอากาศสำหรับชี้ติดตามดาวเทียมโดยอัตโนมัติ	12
2.4 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับสัญญาณบีคอนอนาล็อก.....	13
2.5 สายอากาศแบบเกลียวสี่แขน	14
2.6 สายอากาศแบบปลายกันหอย	14
2.7 สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่โดยวิธีการโครงข่ายแมตซิง	15
2.8 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศเกลียวสี่แขนขนาด $3\lambda/4$	16
2.9 โครงสร้างของสายอากาศเกลียวทั้ง 3 ชนิด	17
2.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวโหมดต่างๆ.....	18
2.11 พารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียว	18
2.12 สายอากาศเส้นลวดบ่วงสี่เหลี่ยมและการไหลของกระแส.....	20
2.13 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสองแขนที่เกิดจากการหมุนครึ่งรอบ	20
2.14 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสี่แขนประกอบด้วยโครงสร้าง B1 และ B2.....	21
2.15 การทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$	23
2.16 วงจรสมมูลของสายโคแอกเซียล.....	24
2.17 การทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ กับสายอากาศเกลียว.....	24
2.18 การทำบาลันแบบเจาะช่องโคแอกเซียลกับสายอากาศไดโพล	25

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
2.19 การเชื่อมต่อของการทำบาแลนแบบเจาะช่องโคแอกเซียลกับสายอากาศเกลียว.....	26
2.20 การทำบาแลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วงสายอากาศ กับสายอากาศเกลียว	28
2.21 การทำบาแลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วงสายอากาศ กับสายอากาศเกลียวสี่แฉก	29
3.1 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม	31
3.2 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 150 MHz	32
3.3 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 400 MHz	32
3.4 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสองแฉก.....	33
3.5 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเกลียวสองแฉกที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วง สี่เหลี่ยมที่ความถี่ 150 MHz.....	34
3.6 เปรียบเทียบผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่ความถี่ 150 MHz ของสายอากาศบ่วง สี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแฉก	35
3.7 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่ความถี่ 400 MHz ของสายอากาศเกลียวสองแฉก.....	35
3.8 เปรียบเทียบผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียว สองแฉกที่ความถี่ 400 MHz	36
3.9 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเกลียวสองแฉกที่ความถี่ 150 MHz	39
3.10 เปรียบเทียบผลการจำลอง $ S_{11} $ ระหว่างสายอากาศเกลียวสองแฉกที่ได้จากการคำนวณ จากสูตรกับสายอากาศเกลียวสองแฉกที่ได้จากการพัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม	39
3.11 ผลการเปรียบเทียบ $ S_{11} $ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{1d} ของสายอากาศเกลียวสองแฉก ที่ความถี่ 150 MHz.....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.12 ผลการเปรียบเทียบ $ S_{11} $ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{1d} ของสายอากาศเกลียวสองแขน โดยที่พารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 24.8 เซนติเมตร	41
3.13 ผลการเปรียบเทียบการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{1d} ของสายอากาศเกลียว สองแขนโดยที่พารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 34.6 เซนติเมตร.....	41
3.14 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่ความถี่ 400 MHz ของสายอากาศเกลียวสองแขน.....	42
3.15 ผลการเปรียบเทียบ $ S_{11} $ ระหว่างสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณจากสูตร กับสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม	43
3.16 ผลการเปรียบเทียบ $ S_{11} $ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{2d} ของสายอากาศเกลียวสองแขน.....	43
3.17 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสี่แขนและการป้อนสัญญาณ	45
3.18 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่	46
3.19 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{2d}	47
3.20 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{2d}	48
4.1 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศสองแขนที่ความถี่ 150 MHz	54
4.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz	54
4.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ ความถี่ 150 MHz	55
4.4 อัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz	55
4.5 อัตราขยายของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz.....	56

XI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.6 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz.....	58
4.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz.....	58
4.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz.....	59
4.9 อัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz.....	59
4.10 อัตราขยายของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz.....	60
4.11 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่.....	63
4.12 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่.....	63
4.13 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่.....	65
4.14 อัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่.....	65
4.15 อัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 150 MHz.....	66
4.16 อัตราขยายของของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 400 MHz.....	67
5.1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ.....	70
5.2 การทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศต้นแบบ.....	72
5.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศต้นแบบ.....	73
5.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ.....	74
5.5 เปรียบเทียบผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าความถี่ 150 MHz ที่ได้จากการทดสอบกับการจำลอง.....	74

สารบัญรูป (ต่อ)

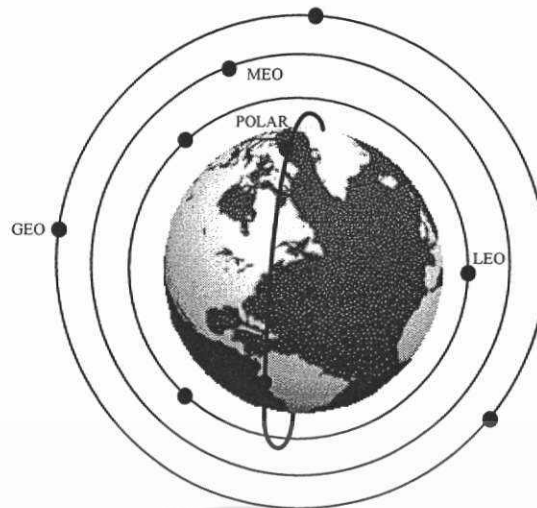
รูป	หน้า
5.6 เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กความถี่ 150 MHz ที่ได้จากการทดสอบกับการจำลอง	75
5.7 เปรียบเทียบผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าความถี่ 400 MHz ที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง	75
5.8 เปรียบเทียบผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กความถี่ 400 MHz ที่ได้จากการทดสอบกับการจำลอง	76
5.9 เปรียบเทียบผลอัตราส่วนแกนของสายอากาศความถี่ 150 MHz ที่ได้จากการทดสอบ กับผลการจำลอง	77
5.10 เปรียบเทียบผลอัตราส่วนแกนของสายอากาศความถี่ 400 MHz ที่ได้จากการทดสอบ กับผลการจำลอง.....	78
5.11 เปรียบเทียบผลอัตราขยายของสายอากาศความถี่ 150 MHz ที่ได้จากการทดสอบ กับผลการจำลอง.....	79
5.12 เปรียบเทียบผลอัตราขยายของสายอากาศความถี่ 400 MHz ที่ได้จากการทดสอบ กับผลการจำลอง.....	80
5.13 วิธีการทดสอบการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ในการรับ สัญญาณปีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ.....	82
5.14 ผลการทดสอบการรับสัญญาณดาวเทียม Cosmos 2407 ซึ่งมีการแพร่กระจายสัญญาณ ในย่านความถี่สูงมาก	83
5.15 ผลการทดสอบการรับสัญญาณดาวเทียม Cosmos 2407 ซึ่งมีการแพร่กระจายสัญญาณ ในย่านความถี่สูงยิ่ง	84

บทที่ 1

บทนำ

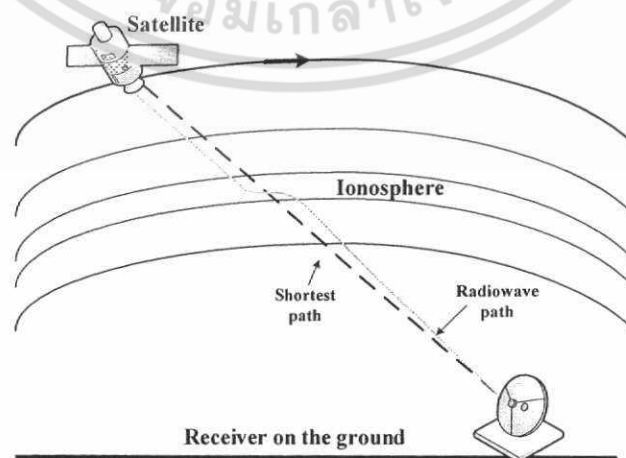
1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์และความสำคัญของปัญหา

ดาวเทียมเป็นอุปกรณ์การสื่อสารโทรคมนาคมที่มีการโคจรรอบวัตถุชนิดหนึ่งนั่นก็คือโลก ซึ่งอุปกรณ์การสื่อสารดังกล่าวได้ถูกพัฒนามาจากแนวความคิดของ เซอร์ อาร์เธอร์ ซี คลาร์ก (Arthur C. Clarke) โดยแนวคิดดังกล่าวต้องการการเชื่อมต่อการสื่อสารระหว่างซีกโลกหนึ่งไปยังอีกซีกโลกหนึ่ง โดยดาวเทียมทำหน้าที่เป็นสถานีถ่ายทอดสัญญาณในอวกาศ หรือหน่วยทวนสัญญาณ (Repeater) สำหรับการรับ-ส่งสัญญาณ จากพากหนึ่งไปยังอีกพากหนึ่งของพื้นโลก สำหรับประเภทของวงโคจรดาวเทียมสามารถแบ่งได้ตามความสูงของวงโคจร โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ ดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary earth orbit หรือ GEO) วงโคจรของดาวเทียมชนิดนี้อยู่ห่างจากพื้นโลกมากกว่า 35,786 กิโลเมตรขึ้นไป และอัตราเร็วในการโคจรรอบโลกมีค่าเท่ากับอัตราการโคจรรอบตัวเองของโลก ดังนั้นดาวเทียมชนิดนี้จะมีวงโคจรตามโลกในบริเวณนั้นเสมอๆ โดยไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของวงโคจร สำหรับดาวเทียมโคจรค้างฟ้ามีประโยชน์สำหรับการรับ-ส่งสัญญาณที่ใช้งานร่วมกับสายอากาศ เพราะไม่จำเป็นต้องทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศตามวงโคจรของดาวเทียมเหมือนแบบอื่นๆ โดยทั่วไปการใช้งานของระบบดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าสำหรับการสื่อสารนั้นมีมากมายหลายชนิด ตัวอย่างเช่น การให้บริการการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ การให้บริการการถ่ายทอดสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างประเทศ และการใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียม สำหรับดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง (Medium earth orbit หรือ MEO) วงโคจรของดาวเทียมดังกล่าวจะอยู่เหนือพื้นโลกช่วงระหว่าง 2,000 กิโลเมตร ถึง 35,786 กิโลเมตร โดยใช้เวลาสำหรับการโคจรรอบโลกประมาณ 6 ชั่วโมง โดยทั่วไปดาวเทียมที่ใช้ระบบวงโคจรระดับกลางจะถูกใช้ในเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global positioning system หรือ GPS) สำหรับดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low earth orbit หรือ LEO) วงโคจรของดาวเทียมชนิดนี้จะอยู่เหนือพื้นโลกไม่เกิน 2,000 กิโลเมตร ซึ่งอยู่ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ การโคจรของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำใช้ความเร็วประมาณ 27,400 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยสามารถครอบคลุมพื้นที่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8,000 กิโลเมตร และเวลาสำหรับการโคจรรอบโลกประมาณ 90 นาที โดยทั่วไปการใช้งานของดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้นสามารถนำมาใช้งานทางด้านการสำรวจทรัพยากร ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ดาวเทียมวิทยุสมัครเล่น และดาวเทียมจารกรรม สำหรับวงโคจรดาวเทียมแสดงในรูปที่ 1.1 [1]



รูปที่ 1.1 วงโคจรดาวเทียม [1]

สำหรับดาวเทียมวงโคจรต่าง ๆ นั้น จะมีการส่งสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสูงประมาณ 80 กิโลเมตร ถึง 1,200 กิโลเมตร จากพื้นโลก ซึ่งชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่มีไอออนไนส์ (Ionized) ซึ่งมีปริมาณไอออนและอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก มีผลทำให้เกิดความแปรปรวนของประจุ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบการสื่อสาร เมื่อคลื่นความถี่วิทยุสัญญาณเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเกิดการหักเหจากเส้นทางตรง (เส้นประ) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ทำให้ดัชนีการหักเหภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีค่าที่แตกต่างจากบริเวณด้านนอก ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ไม่สม่ำเสมอส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดอย่างฉับพลันซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน (Scintillation) ซึ่งทำให้สัญญาณดาวเทียมมีสมรรถนะต่ำหรือส่งผลทำให้สัญญาณการสื่อสารขาดหาย (Out of lock) รวมถึงการหน่วงเวลาที่ไม่ปกติ (Irregular delay) มีผลทำให้เกิดผลกระทบต่อกรับและส่งข้อมูลต่อระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม [2]



รูปที่ 1.2 เส้นทางสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน (Scintillation) นี้มีผลกระทบต่อระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมในย่านความถี่สูงมาก (Very high frequency หรือ VHF) ถึง ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency หรือ UHF) ซึ่งตัวแปรสำคัญสำหรับการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ได้แก่ ปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ (Total electron content หรือ TEC) เป็นปริมาณที่บอกถึงความหนาแน่นของพลาสมาหรืออิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งค่าปริมาณดังกล่าวมีประโยชน์สำหรับการศึกษาการเคลื่อนตัวของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ [3] สำหรับการวัดค่าปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จำเป็นต้องมีการติดต่อสื่อสารระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณภาคพื้นดิน ซึ่งมีหลายวิธีที่ใช้ในการทดสอบ เช่นการวิเคราะห์จากดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง การวิเคราะห์จากดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ เป็นต้น ซึ่งวิธีที่พบมาก คือการวิเคราะห์ปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบุตำแหน่งซึ่งอยู่ในวงโคจรระดับกลาง แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวบางครั้งไม่สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ เนื่องจากดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรระดับกลางนั้นใช้เวลาในเคลื่อนที่ผ่านโลกใช้ระยะเวลา 6 ถึง 7 ชั่วโมง ทำให้ไม่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วได้ สำหรับวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เลือกรับสัญญาณจากดาวเทียมวงโคจรต่ำในการหาค่าปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ โดยสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ คือสัญญาณบิตคอน สำหรับสัญญาณบิตคอนที่ใช้ในดาวเทียมนั้นเดิมใช้เป็นสัญญาณที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของดาวเทียมให้กับสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งจำเป็นต้องมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของดาวเทียมสูง ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นอาจส่งผลกระทบต่อการระบุตำแหน่งได้จากความสามารถดังกล่าวเราจึงนำเอาสัญญาณบิตคอนมาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น สำหรับการใช้น้ำสัญญาณบิตคอนที่ส่งมาจากดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้นยังสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วได้เนื่องจากดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้นการโคจรผ่านโลกจะใช้เวลาน้อยกว่าดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง

สำหรับสัญญาณบิตคอนนั้น การสื่อสารในยุคก่อนเป็นสัญญาณที่รู้จักในรูปแบบของสัญญาณเตือนที่อยู่บนยอดเขาหรือประภาคารเพื่อกระจายสัญญาณการเตือนภัยของการบุกรุก ภัยพิบัติทางธรรมชาติ หรือ เหตุฉุกเฉินต่างๆ แต่ในปัจจุบันสัญญาณบิตคอนเป็นสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ อัลตราโซนิก เลเซอร์หรือเป็นสัญญาณที่ใช้ระบุตำแหน่ง สำหรับสัญญาณบิตคอนที่ใช้ระบุตำแหน่งบนดาวเทียมนั้นทำหน้าที่ในการควบคุมการระบุตำแหน่งอย่างแม่นยำ ซึ่งสายอากาศจะทำการระบุตำแหน่งไปยังพื้นที่ครอบคลุมบนพื้นโลกที่ต้องการ ทำให้ในปัจจุบันสัญญาณบิตคอนจึงถูกนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่ง การวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มของสัญญาณ ซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานกับระบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1.1 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้งานของสัญญาณบีคอน [4]

ความถี่	การประยุกต์ใช้งาน
824 MHz - 849 MHz	ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ขั้นสูง
1,850 GHz - 1,910 GHz	การติดต่อสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับระบบทั่วโลก
902 MHz - 928 MHz	โครงข่ายเฉพาะกิจทางด้านอุตสาหกรรมสำหรับสัญญาณอนาล็อก
2.4 GHz - 2.5 GHz	โครงข่ายเฉพาะกิจทางด้านอุตสาหกรรมสำหรับสัญญาณดิจิทัล
902 MHz - 928 MHz	โครงข่ายไร้สายทางอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และทางการแพทย์ สำหรับสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณผสม
2.4 GHz - 2.5 GHz	โครงข่ายไร้สายทางอุตสาหกรรมสำหรับสัญญาณดิจิทัล
1,575.42 MHz	ระบบระบุตำแหน่งทั่วโลก
121.5 MHz - 406 MHz	การค้นหาและการช่วยเหลือ
100 KHz - 1 MHz	ควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่
300 GHz - 810 THz	ระบบติดตามสถานที่

จากความสามารถของสัญญาณบีคอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มของสัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมมายังภาคพื้นดิน จึงได้มีการนำสัญญาณบีคอนที่ส่งมาจากดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ โดยสัญญาณบีคอนที่ส่งจากดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้น ใช้งานที่ความถี่ 150 MHz และที่ความถี่ 400 MHz ซึ่งอยู่ในย่านความถี่สูงมากและย่านความถี่สูงยิ่งตามลำดับ สำหรับรายชื่อของดาวเทียมวงโคจรต่ำที่มีการส่งสัญญาณบีคอนแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ดาวเทียมวงโคจรต่ำที่มีการส่งสัญญาณบีคอนและความถี่ใช้งาน

ชนิดดาวเทียม	ย่านความถี่ในการใช้งาน (MHz)	
	ความถี่สูงมาก	ความถี่สูงยิ่ง
OSCAR 23 (KITSAT 1)	149.99	399.97
OSCAR 25 (KITSAT B)	149.99	399.97
OSCAR32 (TECHSAT 1b)	149.99	399.97
OSCAR31 (TMSAT-1)	149.98	399.94
RADCAL	150.01	400.03

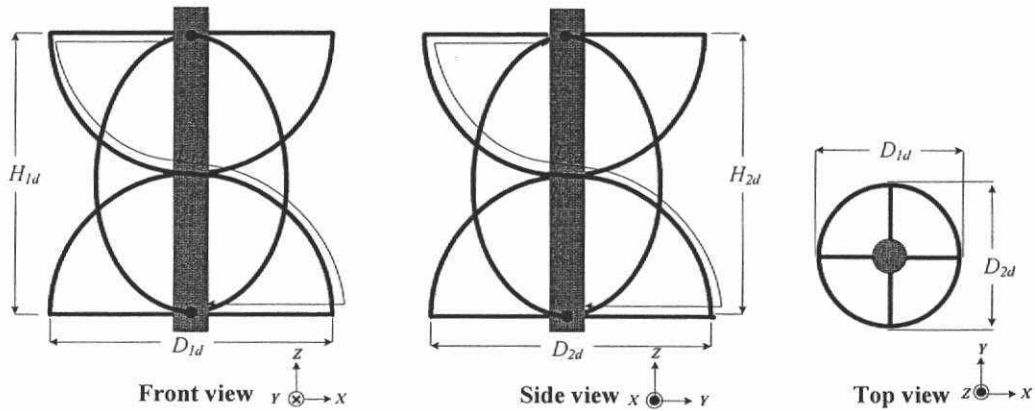
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 ดาวเทียมวงโคจรต่ำที่มีการส่งสัญญาณบีคอนและความถี่ใช้งาน (ต่อ)

ชนิดดาวเทียม	ย่านความถี่ในการใช้งาน (MHz)	
	ความถี่สูงมาก	ความถี่สูงยิ่ง
FORMOSAT-3	150.01	400.03
C/NOFS	150.01	400.03
DMSF	150.01	400.03
COSMOS 2407	149.97	399.92
COSMOS 2414	149.97	399.92
COSMOS 2429	150.03	400.08

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบ สร้างและทดสอบสายอากาศสองย่านความถี่สำหรับระบบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบีคอน ซึ่งใช้งานที่ย่านความถี่ 150 MHz และ 400 MHz โดยมีช่วงกว้างความถี่ 149.825 MHz ถึง 150.175 MHz และ ช่วงกว้างความถี่ 399.825 MHz ถึง 400.175 MHz ตามลำดับ ซึ่งจะครอบคลุมในช่วงความถี่ที่บีคอนใช้งานดังตารางที่ 1.2 มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบครึ่งทรงกลม เนื่องจากการรับสัญญาณดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้น ดาวเทียมจะโคจรจากทางฝั่งตะวันออกไปยังฝั่งตะวันตกของซีกโลก ซึ่งแบบรูปการแพร่กระจายแบบครึ่งทรงกลมจะทำให้สายอากาศสามารถรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมได้ โดยโครงสร้างทางสายอากาศมีลักษณะเป็นเกลียวขดลวด ซึ่งมีชื่อเรียกว่า สายอากาศเกลียวสี่แขน (Quadfilar helical antenna) โดยมีโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศแบบเกลียวสี่เส้น

สำหรับผลการจำลองคุณลักษณะของสายอากาศจะใช้โปรแกรม CST Microwave Studio [4] ในการจำลองผลเพื่อหา $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศ และอัตราขยาย ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นการออกแบบสายอากาศให้สามารถทำงานในสองแถบย่านความถี่ โดยกำหนดขอบเขตให้สายอากาศมี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลมทั้งสองย่านความถี่ และมีการโพลาไรซ์วงกลมทั้งสองแถบย่านความถี่ เมื่อทำการจำลองผลแล้วได้ค่าคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการจำลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของคุณสมบัติของสายอากาศ. จากการศึกษาสายอากาศที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบและสร้างสายอากาศที่มีลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลม สำหรับสายอากาศแถบความถี่คู่ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบีคอน

1.3 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย ตลอดจนแนวความคิดและวิธีการในการพิจารณาสายอากาศ

บทที่ 2 การอธิบายทฤษฎี หลักการสื่อสารของดาวเทียมวงโคจรต่ำ หลักการการส่งสัญญาณบีคอนของดาวเทียมวงโคจรต่ำ ทฤษฎีของสายอากาศที่เกี่ยวข้อง รวมถึงตัวอย่างของสายอากาศที่มีการใช้งานมาก่อน

บทที่ 3 การศึกษาพารามิเตอร์โครงสร้างของสายอากาศแบบเกลียวสองเส้น และโครงสร้างของสายอากาศแบบเกลียวสี่เส้น

บทที่ 4 ผลการจำลองสายอากาศแบบเกลียวสองเส้น และผลการจำลองสายอากาศแบบเกลียวสี่เส้น ที่เกิดจากการรวมกันของสายอากาศแบบเกลียวสองเส้น โดยอาศัยผลการจำลองจากโปรแกรม CST Microwave Studio ซึ่งพิจารณาจาก $|S_{11}|$ ที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในสองแถบย่านความถี่ และอัตราขยายของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 ผลการทดสอบสายอากาศแถบความถี่คู่ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น การโพลาไรซ์ของสายอากาศ และอัตราขยายของสายอากาศ จากนั้นนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศจากนั้นจะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศ

บทที่ 6 สรุปเนื้อหาโดยรวมของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะตลอดจนการวิจารณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นของงานวิจัย รวมถึงแนวทางการพัฒนาสำหรับการออกแบบสายอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

สำหรับระบบการติดต่อสื่อสารของดาวเทียมนั้น เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างดาวเทียมที่อยู่ ในอวกาศกับทางสถานีภาคพื้นดิน โดยทางสถานีภาคพื้นดินจะทำหน้าที่ในการส่งและรับข้อมูลจาก ดาวเทียมแล้วนำมาประมวลผลเพื่อนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งในการรับและส่งข้อมูล สายอากาศที่ใช้ใน สถานีภาคพื้นดินนั้นจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการรับสัญญาณวิทยุ เพราะสายอากาศจะทำหน้าที่ใน การแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุไปยังผู้ใช้งาน [5] ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารของดาวเทียมนั้นมีการ นำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่น การใช้ระบบดาวเทียมในการกระจายข่าว การใช้ระบบ ดาวเทียมในการระบุหาตำแหน่งบนพื้นโลก การใช้ระบบดาวเทียมกับระบบโทรศัพท์ หรือการใช้ระบบ ดาวเทียมในการศึกษาทางภูมิศาสตร์ สภาพแวดล้อม ซึ่งความสามารถของการติดต่อสื่อสารของ ดาวเทียมดังกล่าว ทำให้ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารหรือการส่งข้อมูลต่างๆ ของมนุษย์สามารถทำได้ อย่างสะดวกสบาย และมีอิสระมากขึ้น [6] สำหรับในบทนี้ได้ทำการอธิบายทฤษฎี หลักการสื่อสาร ของดาวเทียม หลักการทำงานของสัญญาณบิตอนที่ใช้กับดาวเทียม ทฤษฎีของสายอากาศที่เกี่ยวข้อง รวมถึงตัวอย่างของสายอากาศที่มีการใช้งานมาก่อน

2.2 หลักการสื่อสารของดาวเทียม

สำหรับดาวเทียมนั้นเราสามารถแบ่งประเภทของดาวเทียมตามความสูงของวงโคจรของ ดาวเทียม โดยสามารถแบ่งประเภทของดาวเทียมได้ 3 ประเภท คือดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง และดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ ซึ่งได้นำเสนอประเภทของดาวเทียมไว้ใน บทที่ 1 สำหรับดาวเทียมในวงโคจรต่างๆนั้น ระบบการติดต่อสื่อสารของดาวเทียมจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ดาวเทียมที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ ระบบควบคุมและสั่งการ และสถานีดาวเทียม ภาคพื้นดิน

2.2.1 ดาวเทียม

ในการที่จะควบคุมระบบสื่อสารไมโครเวฟในอวกาศนั้น เป็นงานที่ไม่ง่ายเลย ดังนั้นดาวเทียม จึงมีราคาแพงและทำการซ่อมบำรุงได้ยาก ดังนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบให้ดาวเทียมยังคง สามารถปฏิบัติงานได้แม้ว่าจะเกิดสภาวะแวดล้อมไม่ปกติ ซึ่งดาวเทียมจะต้องทำตัวเสมือนกับ สถานีกลางอากาศเพื่อติดต่อกับสายอากาศบนภาคพื้นดินได้ตลอดเวลา สำหรับดาวเทียมนั้นมี ส่วนประกอบที่สำคัญ ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับสถานีภาคพื้นดินดังต่อไปนี้ [5]

2.2.1.1. ระบบควบคุมตำแหน่งและวงโคจร จะเป็นมอเตอร์จรวดที่คอยทำการ ปรับเปลี่ยนวงโคจรที่ถูกต้องเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนของวงโคจรเนื่องจากแรงภายนอกมากระทำ

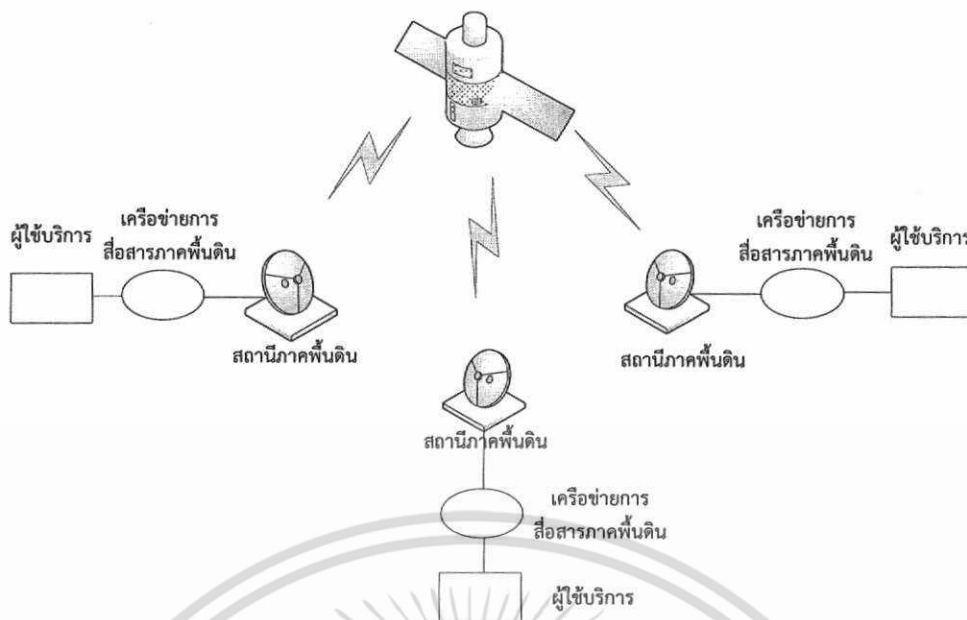
2.2.1.2. ระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียม (Telemetry tracking and command หรือ TT&C) ระบบนี้จะเป็นระบบที่มีทั้งส่วนที่อยู่บนตัวดาวเทียม และอยู่ที่สถานีภาคพื้นดิน โดยระบบระยะไกล (Telemetry) จะส่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับสัญญาณควบคุมต่างๆ บนดาวเทียม แล้วส่งมายังสถานีควบคุมภาคพื้นดิน ส่วนระบบติดตาม (Tracking) เป็นระบบที่อยู่บนภาคพื้นดินซึ่งคอยจัดการเกี่ยวกับข้อมูลทางตำแหน่งของตัวดาวเทียม ซึ่งการรับสัญญาณระบบระยะไกลจากดาวเทียม และข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและวงโคจรจากระบบติดตามก็จะทำให้สถานีควบคุมภาคพื้นดินสามารถส่งสัญญาณควบคุม (Command) ไปยังตัวดาวเทียมเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมให้ถูกต้อง

2.2.1.3. ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า เป็นระบบที่คอยสนับสนุนส่วนของระบบสื่อสารให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

2.2.1.4. ระบบสื่อสารของดาวเทียม ระบบนี้เป็นส่วนประกอบหลักของดาวเทียม โดยที่ระบบอื่นๆ เป็นเพียงส่วนที่คอยสนับสนุนการทำงานของระบบนี้เท่านั้น สำหรับส่วนสื่อสารของดาวเทียมจะประกอบด้วยระบบสายอากาศซึ่งคอยรับและส่งสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้างในย่านความถี่ไมโครเวฟ นอกจากนี้ยังมีส่วนภาครับ-ภาคส่ง และภาคขยายกำลังของสัญญาณสำหรับหน่วยหนึ่งๆ ที่เป็นทั้งตัวรับและตัวส่งสัญญาณ เรียกว่า ทรานส์ปอนเดอร์ (Transponder)

2.2.1.5. ระบบสายอากาศของดาวเทียม ระบบนี้รวมอยู่ในระบบสื่อสาร ซึ่งระบบของสายอากาศจะสามารถสร้างลำคลื่น (Beam) ลงมายังพื้นโลกเป็นรูปร่างต่างๆ เพื่อให้เหมาะกับพื้นที่รับบริการในพื้นที่โลกได้อย่างเหมาะสม

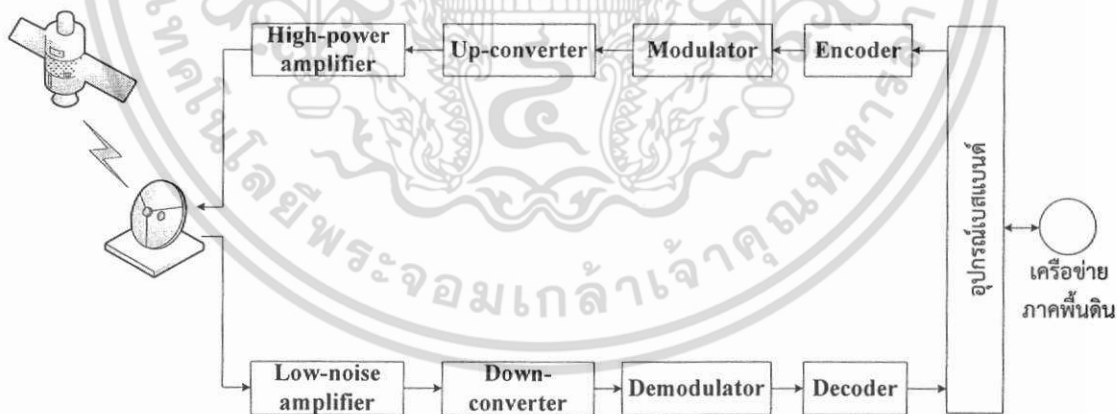
สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน ดาวเทียมจะทำการส่งสัญญาณผ่านสายอากาศดาวเทียม จากนั้นทางฝั่งภาคพื้นดินจะทำการรับสัญญาณผ่านทางสายอากาศ โดยมีการติดต่อสื่อสารแสดงในรูปที่ 2.1 จากรูปที่ 2.1 การติดต่อสื่อสารระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดินมีหลักการทำงานอย่างละเอียดดังต่อไปนี้ เริ่มจากผู้ใช้งานทำการส่งสัญญาณความถี่เบสแบนด์ (Base band signal) ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังสถานีภาคพื้นดินโดยเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน (Terrestrial network) ซึ่งอาจจะเป็นสายโทรศัพท์หรือสายสัญญาณที่สร้างขึ้นมาสำหรับงานนี้ โดยเฉพาะ เมื่อมาถึงสถานีภาคพื้นดินสัญญาณจะถูกมอดูเลต (Modulate) และถูกขยายจากนั้นจึงถูกส่งออกไปยังดาวเทียม ดาวเทียมเมื่อได้รับสัญญาณแล้วก็จะทำการกรองเอาเฉพาะในช่วงความถี่ที่ต้องการ แล้วทำการขยายสัญญาณและส่งกลับลงมายังพื้นโลกอีกครั้งหนึ่ง สถานีภาคพื้นดินที่ทำการรับสัญญาณจากดาวเทียมก็จะทำการในกระบวนการที่ย้อนกลับกับตอนที่ส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม คือ ทำการขยายสัญญาณที่รับมาแล้วทำการดีมอดูเลต (Demodulate) กลับไปเป็นสัญญาณเบสแบนด์ และส่งต่อไปยังผู้ใช้โดยผ่านทางเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของการสื่อสารดาวเทียมพื้นฐาน [5]

2.2.2 สถานีภาคพื้นดิน

สำหรับสถานีภาคพื้นดินจะเป็นสถานที่ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณและส่งสัญญาณให้กับดาวเทียม ซึ่งจากหลักการการสื่อสารระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดินที่กล่าวมาข้างต้น ในส่วนของภาครับสัญญาณนั้น สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลได้ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดิน [5]

จากรูปที่ 2.2 เราสามารถอธิบายหลักการทำงานได้ว่า เมื่อสัญญาณดิจิทัลที่อยู่ในเลขฐานสองที่ถูกจากวงจรตัดต่อ ถูกส่งเข้าไปยังด้านส่งของสถานีภาคพื้นดินและถูกดำเนินการต่างๆ เช่น การมัลติเพล็กซ์ เป็นต้น โดยอุปกรณ์ย่านความถี่เบสแบนด์จะสามารถส่งข้อมูลต่างๆ ไปยังดาวเทียมได้อย่างเหมาะสม สำหรับสัญญาณรบกวนและความไม่เป็นอุดมคติของช่องสัญญาณสื่อสารต่างๆ จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ในข่าวสารที่ถูกส่งไปแต่จะถูกใช้เพื่อจำกัดหรือลดอัตราการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดของข้อมูล เพื่อที่จะส่งสัญญาณข่าวสารดิจิทัลความถี่เบสแบนด์ ผ่านไปยังช่องสัญญาณดาวเทียม เราจึงจำเป็นต้องแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้อยู่ในรูปคลื่นพาหุในความถี่ที่เหมาะสมสำหรับช่องสัญญาณ ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า การมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาหุแบบดิจิทัล (Digital carrier modulation) เมื่อทำการมอดูเลตจนได้สัญญาณความถี่วิทยุในขาขึ้นที่จะส่งไปดาวเทียม สัญญาณนั้นจะถูกขยายกำลังโดยเครื่องขยายที่มีกำลังสูง (High power amplifier หรือ HPA) แล้วจึงส่งผ่านสายอากาศไปยังดาวเทียม จากนั้นเมื่อดาวเทียมทำการส่งข้อมูลลงมายังสถานีภาคพื้นดิน สายอากาศจะรับสัญญาณความถี่วิทยุขนาดเล็กที่ได้จากดาวเทียม เราจึงต้องขยายสัญญาณนี้ด้วยภาคสัญญาณที่มีระดับของสัญญาณรบกวนต่ำ (Low noise amplifier หรือ LNA) เพื่อให้ค่า Signal-to-noise ratio ของสัญญาณดีขึ้น ทำให้ค่าบิตผิดพลาดน้อยลง สำหรับสัญญาณความถี่วิทยุที่ส่งลงมาจากดาวเทียมจะถูกดีมอดูเลตเพื่อเอาข้อมูลออกมา ในการดีมอดูเลตนั้น อัตราบิตผิดพลาดจะขึ้นกับอัตราส่วนของคลื่นพาหุกับสัญญาณรบกวน สำหรับภาคถอดรหัส (Decode) จะทำการแยกแยะสัญญาณข่าวสารหรือสัญญาณรบกวน เมื่อได้ข่าวสารมาแล้วก็จะป้อนให้กับอุปกรณ์ย่านความถี่เบสแบนด์ตัวอื่นๆ เพื่อทำการจัดการต่อไป ซึ่งในทางปฏิบัตินั้น เราสามารถแบ่งสถานีภาคพื้นดินออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

2.2.2.1 ส่วนของความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปลงความถี่ขึ้นและตัวแปลงความถี่ลง (Up converter และ Down converter) ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุที่มีกำลังสูง (High power amplifier หรือ HPA) ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (Low noise amplifier หรือ LNA) และสายอากาศ

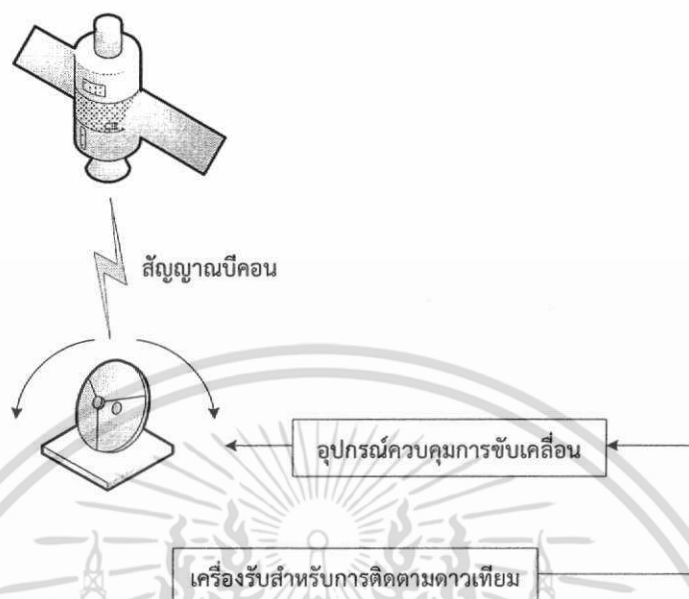
2.2.2.2 ส่วนของความถี่เบสแบนด์ ประกอบด้วยอุปกรณ์เบสแบนด์ต่างๆ เช่น ตัวเข้ารหัส ตัวถอดรหัส ตัวมอดูเลต และตัวดีมอดูเลต

2.3 หลักการส่งสัญญาณของดาวเทียมวงโคจรต่ำที่มีการส่งสัญญาณบิตคอน

สำหรับดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำมีวงโคจรอยู่สูงจากพื้นโลกไม่เกิน 2,000 กิโลเมตร ซึ่งอยู่ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยวงโคจรของดาวเทียมชนิดนี้จะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้ตำแหน่งของดาวเทียมมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสถานีภาคพื้นดินจึงจำเป็นต้องมีระบบขับเคลื่อนเพื่อติดตามดาวเทียม สำหรับระบบขับเคลื่อนเพื่อติดตามดาวเทียมมีอีกชื่อว่า Antenna tracking subsystem โดยสายอากาศของสถานีภาคพื้นดินจะทำการชี้ตำแหน่งไปยังดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา จึงมีความจำเป็นต้องใช้ระบบการขับเคลื่อนในการหมุนสายอากาศ เพื่อที่จะติดตามดาวเทียมได้ตลอดเวลาในขณะที่ดาวเทียมมีการเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งระบบขับเคลื่อนสายอากาศเพื่อติดตามดาวเทียมแบบอัตโนมัติ กระทำได้โดยการรับสัญญาณบิตคอน (Beacon) ซึ่งเป็นสัญญาณที่เป็นลักษณะเฉพาะเพื่อการบอกตำแหน่งของดาวเทียมซึ่งถูกส่งจากดาวเทียม แสดงดังรูปที่ 2.3 สำหรับการรับสัญญาณบิตคอนของสถานีภาคพื้นดินนั้น สายอากาศจะถูกเคลื่อนที่อย่างช้าๆ ในทิศทางหนึ่งและถ้าระดับสัญญาณที่ได้รับลดลง สายอากาศจะถูกขับเคลื่อนกลับในทิศทางตรงกันข้ามอย่างช้าๆ

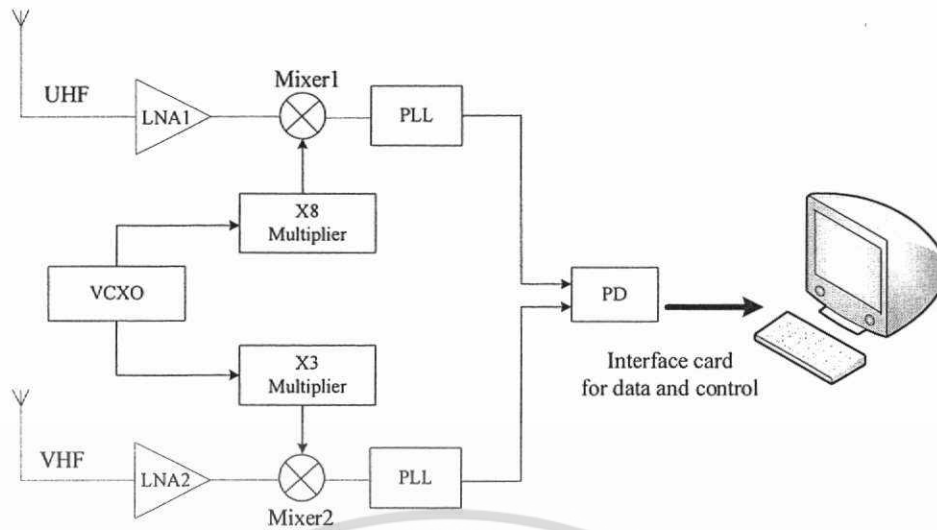
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทีละชั้น ซึ่งขั้นตอนอย่างนี้จะถูกดำเนินไปซ้ำๆกัน เพื่อให้ทิศทางของงานสายอากาศที่ถูกควบคุมได้รับระดับสัญญาณสูงสุด [5]



รูปที่ 2.3 ระบบสายอากาศสำหรับชี้ติดตามดาวเทียมโดยอัตโนมัติ [5]

สำหรับสัญญาณบีคอนที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ นอกจากจะใช้ในการบอกตำแหน่งของดาวเทียม ในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์หาค่าปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิเนื่องจากในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นที่ดาวเทียมจะทำการส่งสัญญาณผ่านมายังสถานีภาคพื้นดิน โดยเป็นชั้นบรรยากาศที่มีไอออนและอิเล็กตรอนจำนวนมาก ซึ่งความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของประจุเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบสื่อสาร โดยปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ไม่สม่ำเสมอนี้ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ซินทิเลชั่น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารดาวเทียมในย่านความถี่สูงมาก และความถี่สูงยิ่ง สำหรับดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้นจะส่งสัญญาณบีคอนมาให้กับสถานีภาคพื้นดินที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ซึ่งในการรับสัญญาณบีคอนนั้นทางสถานีภาคพื้นดินจะมีเครื่องรับสัญญาณบีคอนโดยเฉพาะ ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรมเครื่องรับสัญญาณบีคอนแบบอนาล็อกในรูปที่ 2.4

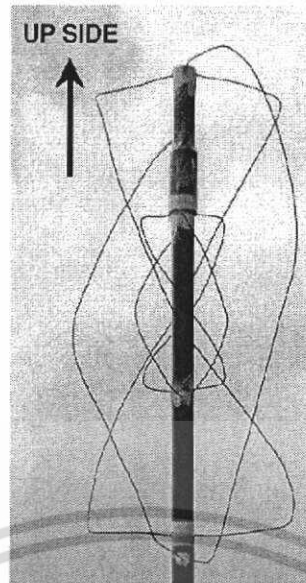


รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับสัญญาณบีคอนอนาล็อก [2]

ซึ่งเครื่องรับสัญญาณบีคอนแบบอนาล็อก ที่ใช้ในการศึกษาค่าอิเล็กทรอนิกส์นั้น มีการทำงานดังต่อไปนี้ เมื่อสายอากาศรับสัญญาณในช่วงความถี่สูงมากและความถี่สูงยิ่ง สัญญาณที่ได้จะผ่าน Low noise amplifier (LNA) จากนั้นแปลงความถี่ให้ต่ำลง ผ่านวงจรเฟสล็อกลูป (Phase lock loop หรือ PLL) จากนั้นทำการคำนวณผลต่างเฟส แล้วจึงนำค่าต่างเฟสที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่า TEC สำหรับการรับสัญญาณบีคอน สายอากาศจึงเป็นส่วนที่มีความสำคัญ ซึ่งในหัวข้อต่อไปจะทำการกล่าวถึงสายอากาศที่จะนำมาใช้งานในระบบเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ

2.4 งานวิจัยที่มีมาก่อน

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศที่ใช้สำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบีคอนที่มีมาก่อนหน้า เช่น สายอากาศเกลียวสี่แฉกของ M. Yamamoto และคณะ สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 2008 โดยสายอากาศเกลียวสี่แฉกนั้นทำงานที่ความถี่ในย่านความถี่สูงมากที่ความถี่ 150 MHz และความถี่ที่อยู่ในย่านความถี่สูงยิ่งที่ความถี่ 400 MHz โดยมีลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบเสมือนรอบทิศทาง (Quasi omni-directional) มีการโพลาไรซ์เชิงวงกลมและมีอัตราขยายเท่ากับ 5.6 dBi โดยแสดงโครงสร้างของสายอากาศในรูปที่ 2.5 [13]



รูปที่ 2.5 สายอากาศแบบเกลียวสี่แกน [13]

สายอากาศตัวต่อมาที่จะนำเสนอเป็นสายอากาศแบบลายกันหอย (Embroidered spiral antenna) ของ R.D. Seager และคณะที่สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 2009 มีลักษณะเป็นไดโพลไขว้ โดยใช้วัสดุฐานรองที่มี ϵ_r เท่ากับ 1.229 โดยแสดงในรูป 2.6 ซึ่งมีการโพลาไรซ์เชิงวงกลมหมุนขวา (Right-Handed CP) มีอัตราส่วนเชิงแกน (Axial ratio) และอัตราขยายเท่ากับ 4 dB ถึง 5 dB และ 7 dBic ตามลำดับ โดยสายอากาศออกแบบให้ใช้กับดาวเทียม COSPAS/SARSAT [14]

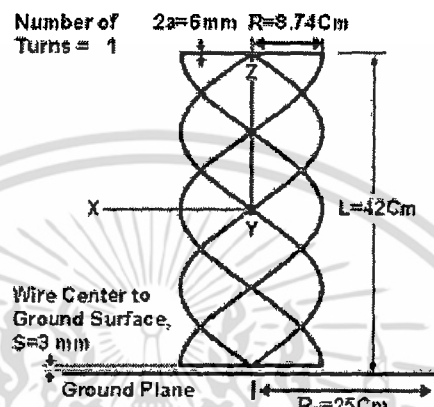


รูปที่ 2.6 สายอากาศแบบลายกันหอย (Embroidered spiral antenna) [14]

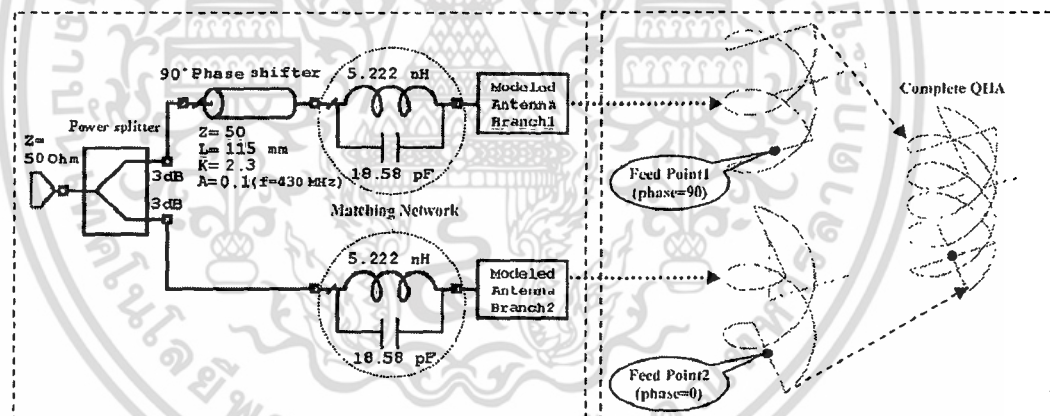
ต่อไปจะเป็นการนำเสนอสายอากาศเกลียวสี่แกน ที่ทำงานแบบสองแถบความถี่ (Dual-band antenna) ที่มีมาก่อน เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบสายอากาศสองแถบความถี่ สำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบีคอน เริ่มจากการวิจัยของ M. Hosseini และคณะ ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในปี ค.ศ. 2005 ได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการออกแบบสายอากาศเกลียวสี่แขน สำหรับการ
ทำงานในสองแถบย่านความถี่ให้ได้ผลดีที่สุด โดยไม่คำนึงถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยออกแบบ
แบบให้สายอากาศสามารถทำงานที่ความถี่ 401 MHz และ 460 MHz ซึ่งในการออกแบบได้ใช้วิธีการ
โครงข่ายแมตซิง ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายต่อการทำให้เกิดสายอากาศแบบสองแถบความถี่ โดยแสดง
ขนาดของการสร้างสายอากาศในรูปที่ 2.7 (ก) และวงจรโครงข่ายแมตซิงที่เชื่อมต่อกับสายอากาศใน
รูปที่ 2.7 (ข) [15]



(ก) โครงสร้างและขนาดของสายอากาศเกลียวสี่แขน (Quadrifilar helical antenna)



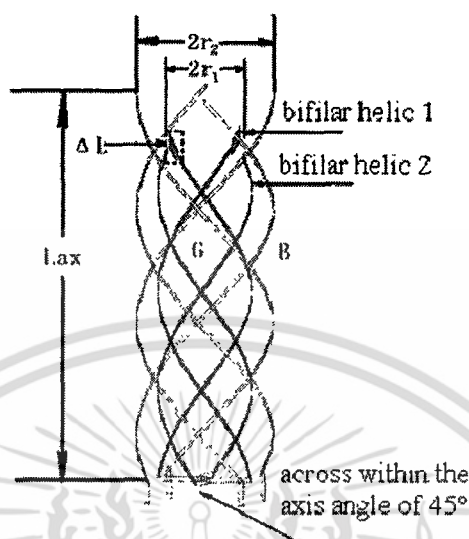
(ข) วงจรโครงข่ายแมตซิงและการเชื่อมต่อกับสายอากาศ

รูปที่ 2.7 สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่โดยวิธีการโครงข่ายแมตซิง [15]

สายอากาศตัวต่อมาของ W.X. fei และคณะที่ถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 2006 เป็นการออกแบบ
สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ แบบปิดโดยออกแบบสำหรับรับสัญญาณ GPS และ BD โดย
สายอากาศทั้งสองออกแบบมาให้มีขนาด $3\lambda/4$ โดยมีการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศโดยรวม
วิธีการป้อนสัญญาณโครงข่ายกับทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยไมโครสตริปขนาดครึ่งหนึ่งของช่วง
สายอากาศ (Microstrip infinite balun) ซึ่งการป้อนสัญญาณด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้คุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสดีเยี่ยมและทำให้มีพีแดนซ์แมตซ์ที่ดีขึ้น ซึ่งทำให้สายอากาศมีมุมที่กว้างขึ้นสำหรับการโพลาไรซ์เชิงวงกลม โดยแสดงโครงสร้างของสายอากาศในรูปที่ 2.8 [16]



รูปที่ 2.8 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศเกลียวสี่แขนขนาด $3\lambda/4$ [16]

2.5 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ

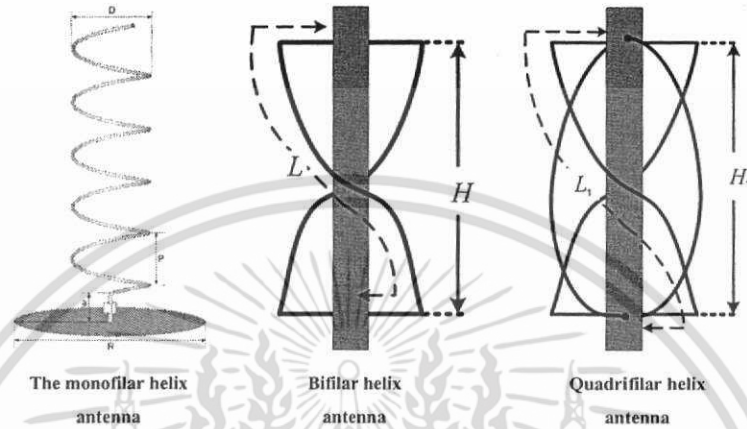
สำหรับทฤษฎีและหลักการของสายอากาศเป็นการนำเสนอทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศที่จะนำไปประยุกต์งานกับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ คุณสมบัติต่างๆของสายอากาศที่จะนำไปใช้ในการพิจารณาในการออกแบบสายอากาศ ซึ่งจะช่วยให้การออกแบบสายอากาศตรงกับความต้องการในการนำไปประยุกต์ใช้งานมากที่สุด

2.5.1 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศเกลียว

สำหรับสายอากาศที่ใช้งานกับดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำนั้น ได้มีการพัฒนาให้มีอัตราการขยายที่สูง มีอิมพีแดนซ์ที่ต้องการ มีการโพลาไรซ์เชิงวงกลม ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะนำไปใช้ในการออกแบบสายอากาศเพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้งาน สำหรับสายอากาศเกลียวนั้นจะให้อัตราส่วนแอมพลิจูดที่ดีเยี่ยม มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลม ซึ่งเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานกับสายอากาศสำหรับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ เนื่องจากดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้น จะโคจรจากทางฝั่งตะวันออกไปยังฝั่งตะวันตก ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายครึ่งทรงกลม ซึ่งการให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบครึ่งทรงกลมของสายอากาศทำให้สามารถรับสัญญาณบีคอนในขณะที่ดาวเทียมโคจรผ่านได้ตลอดเวลา นอกจากนี้สายอากาศแบบเกลียวยังให้คุณสมบัติที่ดีของการโพลาไรซ์เชิงวงกลม โดยทฤษฎีของสายอากาศชนิดนี้ มีข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศมาจาก Kraus [7] และ [8] ซึ่ง Kraus ได้ประมาณค่าอัตราขยายมาจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจำนวนหลายๆค่า สำหรับสายอากาศเกลียว (Helix antenna)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นยังมีอีก 2 ชนิด คือ สายอากาศเกลียวสองแขน (Bifilar helix antenna หรือ BHA) และสายอากาศเกลียวสี่แขน (Quadrifilar helix antenna หรือ QHA) ซึ่งสายอากาศเกลียวสี่แขน จะเป็นโครงสร้างที่มีขนาดเล็กกว่าสายอากาศเกลียวปกติ และความกว้างลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นกว้างกว่าสายอากาศเกลียวปกติ ซึ่งเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้กับสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน โดยแสดงสายอากาศเกลียวทั้ง 3 ชนิด ในรูปที่ 2.9 [9]

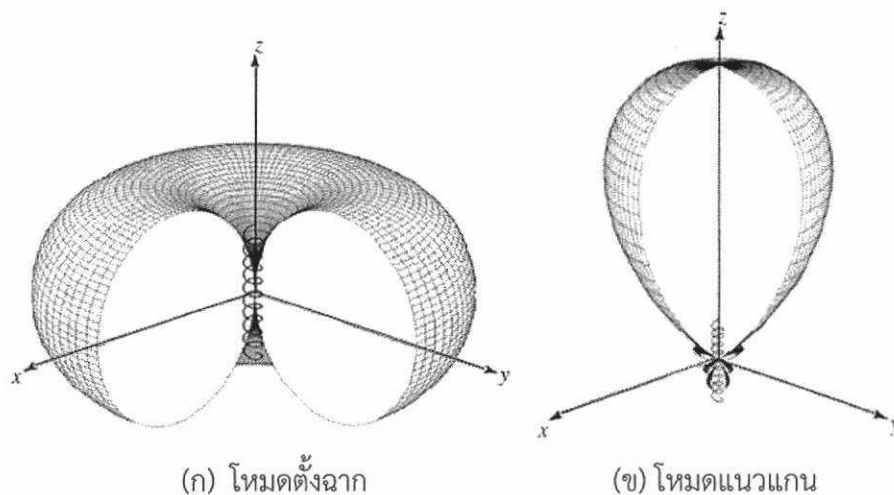


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสายอากาศเกลียวทั้ง 3 ชนิด [9]

สำหรับสายอากาศเกลียวนั้นสามารถทำงานได้ในหลายโหมด โดยแบ่งออกได้เป็น 2 โหมดหลัก คือ โหมดตั้งฉาก (Normal mode) กับโหมดแนวแกน (End-fire mode) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.6 สำหรับสายอากาศเกลียวที่อยู่ในโหมดตั้งฉากมีค่าที่สูงสุดอยู่ในแนวแกนปกติไปถึงตัวแกน z และบริเวณที่ใกล้กับตัวแกน z นั้นจะบวมเข้าไป ลักษณะดังกล่าวถูกเรียกว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว (Omnidirectional pattern) แสดงในรูปที่ 2.6ก โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะมีรูปร่างที่สมมาตรกัน ซึ่งแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้เป็นของสายอากาศไดโพลและสายอากาศบ่วงวงกลม สำหรับสายอากาศเกลียวที่อยู่ในโหมดแนวแกนจะให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะมีเพียงลำคลื่นเดียว (Directional pattern) ที่มีความเข้มในการแพร่กระจายสูงสุดตามแนวแกน ซึ่งสายอากาศเกลียวที่ทำงานอยู่ในโหมดแนวแกนนั้นนิยมนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากมันสามารถให้การโพลาไรซ์วงกลม และให้แบนด์วิธที่กว้าง ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน [10]

123010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

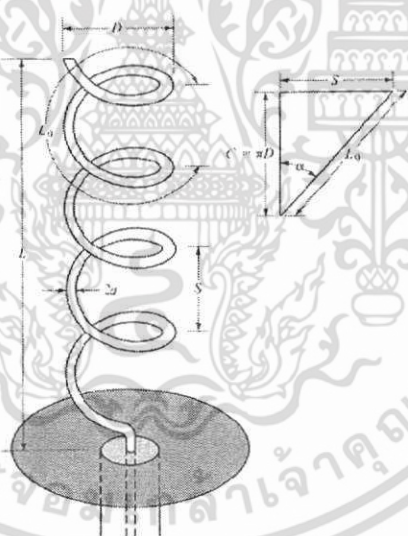


(ก) โหมดตั้งฉาก

(ข) โหมดแนวแกน

รูปที่ 2.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวโหนดต่างๆ [10]

ซึ่งสามารถแสดงพารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวที่อยู่โหนดแนวแกนได้ดังรูปที่ 2.11 โดยสายอากาศเกลียวจะมีมุมพิทซ์ (α) กับระยะห่าง (S) บนเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) สำหรับสายอากาศเกลียวนั้นสามารถให้ผลการโพลาไรซ์วงกลมและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นโหนดแนวแกน



รูปที่ 2.11 พารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียว [10]

โดยที่

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{S}{\pi D} \quad (2.1)$$

$$C = \pi D \quad (2.2)$$

$$L = \sqrt{(\pi D)^2 + S^2} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโหมดแนวแกนของสายอากาศเกลียวจะปรากฏเมื่อเส้นรอบวงของสายอากาศมีค่าเข้าใกล้หนึ่งความยาวคลื่น (λ) เส้นรอบวงของสายอากาศเกลียวจะอยู่ในระยะของความยาวคลื่น และมีมุมพิทซ์ (α) ในช่วงที่กำหนด โดยแสดงในสมการ 2.4 และ 2.5

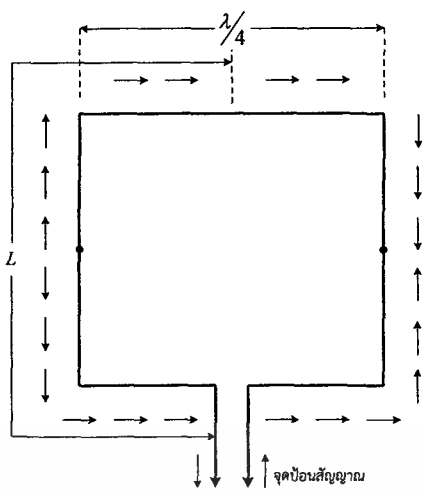
$$3\lambda/4 < C < 4\lambda/3 \quad (2.4)$$

$$12^\circ \leq \alpha \leq 14^\circ \quad (2.5)$$

ในขณะที่เส้นรอบวง (C) มีค่าประมาณ 1 ความยาวคลื่น ดังนั้นความสัมพันธ์ของทั้งสองข้อจะมีความยาวคลื่นประมาณครึ่งความยาวคลื่น เมื่อมีกระแสไหลบนเส้นลวดกระจายไปบนรอบของเกลียว ซึ่งกระแสที่ไหลนั้นจะไหลบริเวณผิวของเส้นลวด เพราะระยะห่างที่แตกต่างกันครึ่งความยาวคลื่นนั้นเป็นสาเหตุให้กระแสมีเฟสที่เปลี่ยนแปลงไป 180 องศา และกระแสทางด้านขวามือและซ้ายมือมีขนาดที่เท่ากัน สำหรับการโพลาไรซ์เชิงวงกลมนั้นเพราะกระแสที่กระจายออกทางด้านซ้ายและขวานั้นตั้งฉากกันทำให้มีแอมพลิจูดเหมือนกันและเฟสตรงกัน จากข้อกำหนดข้างต้นนั้น ทำให้เห็นว่าหนึ่งรอบของเกลียวสามารถทำให้เกิดการโพลาไรซ์เชิงวงกลมได้ ดังนั้นจำนวนรอบของเกลียวจำนวน N รอบ ก็จะมีกระแสไหลที่กระจายไปในเฟสและจะเพิ่มขึ้นตามองค์ประกอบของแนวแกนซึ่งเหมือนกับสายอากาศแถวลำดับ [9]

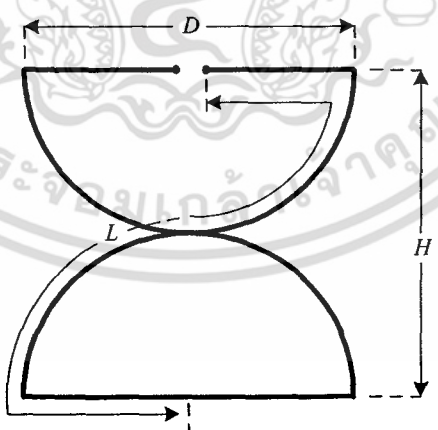
2.5.2 สายอากาศเกลียวสองแขนและสายอากาศเกลียวสี่แขน

สำหรับสายอากาศเกลียวสองแขน นั้นมักถูกนำเสนอเป็นสายอากาศแบบครึ่งรอบหรือครึ่งความยาวคลื่นซึ่งเป็นสายอากาศที่ถูกพัฒนามาจากสายอากาศเส้นลวดบ่วงสี่เหลี่ยม โดยความยาวรอบรูปของสายอากาศเส้นลวดบ่วงสี่เหลี่ยมนั้นมีความยาวรอบรูปเป็น 1 ความยาวคลื่น (λ) และมีการป้อนสัญญาณที่จุดกึ่งกลางปลายเปิดทางด้านล่างของสายอากาศ ซึ่งจะมีกระแสไหลรอบๆตัวสายอากาศโดยแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งแต่ละด้านของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมนั้นมีความยาวเป็น $1/4$ ของความยาวคลื่น ($\lambda/4$) นอกจากนี้ยังสามารถเรียกสายอากาศแบบบ่วงนี้ได้ว่าเป็นสายอากาศแบบศูนย์รอบ (สายอากาศที่ไม่มีการหมุน)



รูปที่ 2.12 สายอากาศเส้นลวดบ่วงสี่เหลี่ยมและการไหลของกระแส

สำหรับสายอากาศครึ่งความยาวคลื่นหรือสายอากาศเกลียวสองแขนนั้น เมื่อป้อนสัญญาณจะทำให้มีกระแสไหลในตัวสายอากาศ ซึ่งทำให้ด้านที่อยู่ตรงข้ามกันของสายอากาศมีกระแสที่ไหลภายในเท่ากัน ทำให้สายอากาศชนิดนี้เป็นสายอากาศแบบสมมูล จากแนวคิดดังกล่าวจึงได้นำมาพัฒนาเป็นสายอากาศเกลียวสี่แขน สำหรับโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขนที่มีการพัฒนามาจากสายอากาศวงบ่วงสี่เหลี่ยม โดยสมมติแบบทรงกระบอกลงในบ่วงของสายอากาศโดยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ขนาด $\lambda/4$ จากนั้นพันเส้นลวดจากด้านบนลงมายังด้านล่างโดยหมุนเพียงครึ่งรอบ โดยที่เส้นลวดทางด้านบนจะมีช่องว่างและทางด้านล่างของบ่วงจะเชื่อมต่อกัน โดยแสดงในรูป 2.13 และเมื่อมองจากทางด้านข้างของสายอากาศ จะเห็นเป็นเส้นโค้งที่เกิดขึ้นรอบๆ ทรงกระบอกที่สมมติขึ้น

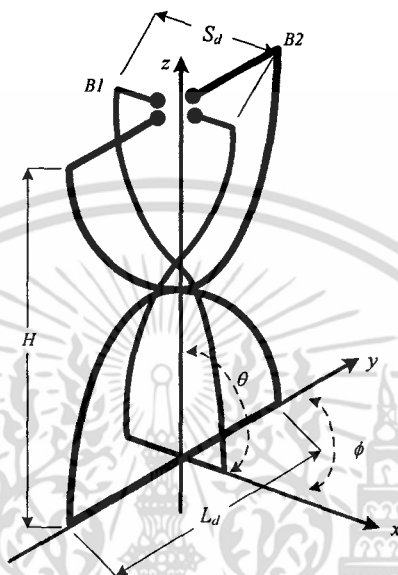


รูปที่ 2.13 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสองแขนที่เกิดจากการหมุนครึ่งรอบ

เมื่อมองเส้นโค้งจากด้านที่ตัดตรงระยะห่างทางด้านบนและด้านล่างจะมีขนาดที่ลดลง ซึ่งทำให้ความสูงของสายอากาศ (H) จะมีค่าน้อยกว่า $\lambda/4$ ซึ่งเป็นเฉพาะของการหมุนแบบครึ่งรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายอากาศเกลียวสองแขนครึ่งความยาวคลื่นนั้น คุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นแบบไม่เฉพาะเจาะจงทิศทางจึงทำให้มีลักษณะที่น่าสนใจ จากข้อสมมติฐานของ Kilgus, C.C เมื่อมองโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้จากทางด้านข้าง สายอากาศจะมีลักษณะเหมือนเส้นตรงหรือกึ่งวงกลม โดยกระแสที่กระจายบนสายอากาศจะมีการกระจายสัญญาณเป็นสัญญาณไซน์ซอซอด์ดอลซึ่งทำให้มีทิศทางของเฟสและมีการแพร่กระจายคลื่นแสดงออกมา



รูปที่ 2.14 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสี่แขนประกอบด้วยโครงสร้าง B1 และ B2

จากรูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขน ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศนั้นประกอบด้วย สายอากาศเกลียวสองแขน 2 ตัว คือ B1 และ B2 โดยที่ H คือความสูงของสายอากาศเกลียวสี่แขน S_d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ B1 และ L_d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ B2 โดยมีมุม θ อยู่ในระนาบ xz และมุม ϕ อยู่ในระนาบ xy ตามรูปที่ 2.12 สำหรับสายอากาศเกลียวสี่แขนนั้นจะมีโครงสร้างที่เกิดจากการบิดตัวของเส้นลวดจนกลายเป็นเกลียวในแนวแกน z โดยสายอากาศทั้งสองตัวจะวางตัวต่างกัน 90 องศา ซึ่งสายอากาศชนิดนี้จะให้การโพลาไรซ์เป็นเชิงวงกลม สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศจะป้อนที่จุดกึ่งกลางด้านบนหรือด้านล่างนั้นสามารถให้การกระจายกระแสนบนสายอากาศได้เหมือนกัน โดยยังคงให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและการโพลาไรซ์ที่เหมือนเดิม สำหรับสายอากาศเกลียวสองแขนนั้น แต่ละอันจะทำการป้อนสัญญาณทางด้านบนของสายอากาศและแขนของสายอากาศอาจจะเป็นเส้นลวดหรือแผ่นโลหะ ที่มีระยะในการเรโซแนนซ์ $L_{helical} = m\lambda/4$ โดยที่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กและมีมุมพิทซ์ที่ใหญ่ (30~60 องศา) ซึ่งสายอากาศเกลียวที่เป็นแบบวงจรเปิดจะมีค่า m เป็นเลขคี่และสายอากาศเกลียวที่เป็นวงจรแบบปิดนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อค่า m มีค่าเป็นเลขคู่ สำหรับจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศเกลียวสองแขนสามารถทำให้เกิดโหมดตามแนวแกนเกิดขึ้นทางด้านหน้าหรือทางด้านหลังในแนวแกน z โดยอัตราส่วนตามแนวแกนที่มีคุณสมบัติที่ดีจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศ สำหรับสายอากาศเกลียวสี่แกนแบบครึ่งความยาวคลื่นนั้น วงจรโดยพื้นฐานจะเป็นแบบ วงจรปิด ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการสำหรับสายอากาศเกลียวแบบครึ่งความยาวคลื่นโดยกำหนดจาก ความถี่ที่เรโซแนนซ์ตามสมการที่ 2.6

$$0.09\lambda \leq Ld \leq 0.125\lambda$$

$$H = \sqrt{(L_{total} - 2L_d)^2 - (2\pi \times L_d)^2} \quad (2.6)$$

ในการหาขนาดของสายอากาศเกลียวสองแกนขนาดใหญ่และขนาดเล็กสามารถคำนวณได้ จากสมการที่ 2.7 และ 2.8

สำหรับสายอากาศเกลียวสองแกนขนาดใหญ่

$$L_d \cong 0.173\lambda$$

$$H_1 \cong 0.260\lambda \quad (2.7)$$

สำหรับสายอากาศเกลียวสองแกนขนาดเล็ก

$$L_{total} \cong 1.120\lambda$$

$$S_d \cong 0.156\lambda$$

$$H_2 \cong 0.238\lambda \quad (2.8)$$

$$L_{2total} \cong 1.106\lambda$$

ซึ่งแน่นอนว่าสมการเหล่านี้ยังไม่สามารถที่หาขนาดของสายอากาศที่แน่นอนได้ แต่สามารถนำไปใช้ เป็นแนวทางในการออกแบบสายอากาศต่อไปได้ [8] และ [11]

2.5.3 ระบบการป้อนสัญญาณ

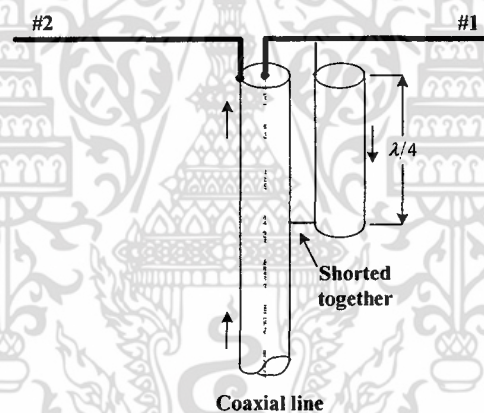
ในการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศเกลียวสี่แกนนั้น สายอากาศต้องการการป้อนสัญญาณ ด้วยสายโคแอกเชียลแบบไม่สมดุล ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่น่าสนใจมาก เพราะคุณสมบัติของสายอากาศ เกลียวสี่แกนนั้นพัฒนามาจากการการรวมกันของสายอากาศเกลียวสองแกน โดยปกติโครงสร้างของ สายอากาศนี้จะมีคุณสมบัติเป็นอุปกรณ์แบบสมดุล ซึ่งการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศด้วยสาย โคแอกเชียลวิธีดังกล่าว เรียกว่า บาลัน (Balun) สำหรับบาลัน คือ การทำให้กระแสที่ไหลภายใน สายอากาศนั้นมีความสมดุล โดยสายอากาศเกลียวสองแกนนั้นยังต้องการการกระตุ้นที่ทำให้เกิด ความสัมพันธ์ของเฟสที่ต่างกัน 90 องศา ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะนำไปสู่การทำงานของ สายอากาศเกลียวสี่แกน โดยสายอากาศเกลียวสี่แกนจะนำความสัมพันธ์จากเฟสที่ต่างกันอยู่ 90 องศา มาใช้ในการกำหนดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับ สายอากาศเกลียวสี่แกนด้วยสายโคแอกเชียล มีวิธีการทำบาลันและวิธีที่ใช้ในการป้อนเฟสด้วยกัน หลายวิธี เช่น วิธีการทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเชียลขนาด $\lambda/4$ (Folded balun) วิธีการ

ทำบาแลนแบบเจาะช่องโคแอกเซียล (Split coax balun) และ การทำบาแลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วงสายอากาศ (Infinite balun) เป็นต้น

สำหรับเทคนิคการป้อนสัญญาณของสายอากาศแบบครึ่งรอบ หรือสายอากาศเกลียวสี่แฉก ครึ่งความยาวคลื่นที่จะถูกนำเสนอตั้งต่อไปนี้เป็นเทคนิคการทำบาแลนสำหรับสายอากาศแบบสมมูลที่ต้องการป้อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียล ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์แมตซ์ให้กับสายอากาศ [12]

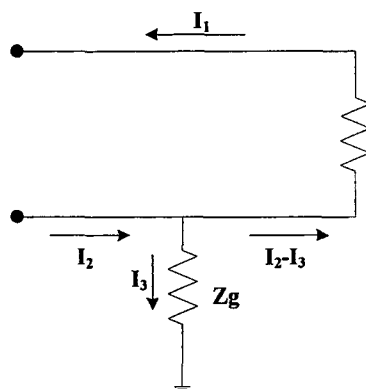
2.5.3.1 การทำบาแลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$

การทำบาแลนที่แสดงในรูป 2.15 แสดงรูปแบบของการทำบาแลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ ที่เป็นการเชื่อมต่อโดยตรงของสายโคแอกเซียลกับสายอากาศไดโพล (Dipole antenna) ลำดับแรกคือ การนำเอาปลายสุดของสายนำสัญญาณขนาด $\lambda/4$ เชื่อมต่อกับสายซิลด์ของสายโคแอกเซียลหลัก โดยส่วนอื่นๆถูกเชื่อมต่อเข้ากับด้านข้างของสายอากาศไดโพล ซึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับตัวนำสัญญาณตรงกลาง



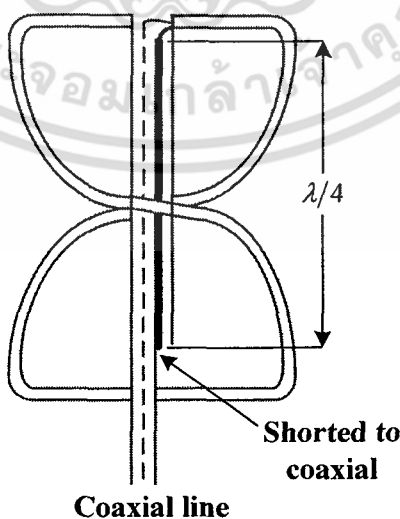
รูปที่ 2.15 การทำบาแลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ [10]

ซึ่งการทำบาแลนแบบนี้จะจำกัดการไหลของกระแส I_3 โดยการทำงานของมันสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 2.16 ซึ่งในรูปที่ 2.16 นั้นแรงดันระหว่างด้านข้างของสายอากาศไดโพลแต่ละอันและกราวด์นั้นจะมีค่าขนาด (Magnitude) ที่เท่ากันแต่มีเฟสต่างกัน 180 องศา ขณะที่กระแสที่ไหลบนด้านนอกของสายโคแอกเซียล ถ้ากระแสทั้งสอง I_1 และ I_2 มีค่าขนาดที่เท่ากัน โดยกระแส I_3 ต้องเป็นศูนย์ ตั้งแต่แขนที่ 2 ของสายอากาศไดโพลที่เชื่อมต่อโดยตรงกับสายซิลด์ของสายโคแอกเซียล ในขณะที่แขนที่ 1 ลดการเชื่อมต่อจะทำให้กระแส I_2 เพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะลดกระแสของกระแสทั้งสองลดลงเล็กน้อย



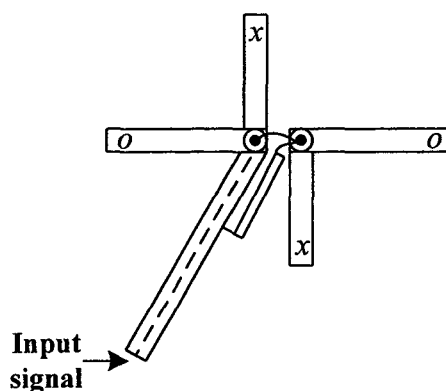
รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของสายโคแอกเซียล [10]

กระแสทั้งสอง คือ I_1 และ I_2 สามารถทำให้มีขนาดที่เท่ากัน ถ้าตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียลมีการเชื่อมต่อโดยตรงกับสายซิลด์ด้านนอก แต่ถ้าเอาตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียลเชื่อมต่อโดยตรงกับสายอากาศจะทำให้สายนำสัญญาณ (Transmission line) และสายอากาศประพฤติตัวเป็นวงจรแบบปิดและกำจัดการแพร่กระจายคลื่นทั้งหมด อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อตัวนำแบบขนานที่ไม่ได้เชื่อมต่อโดยตรงตามรูปที่ 2.15 สามารถอธิบายได้ว่าต้องการกำจัดกระแสโดยไม่ต้องกำจัดการแพร่กระจายคลื่น โดยกระแสที่ไหลบนซิลด์ด้านนอกของสายหลักจะถูกกำจัดกระแสที่ด้านล่างตอนปลายของส่วน $\lambda/4$ โดยจะทำให้มีขนาด (Magnitude) ที่เท่ากันแต่มีเฟสที่ต่างกัน ซึ่งกระแสที่อยู่ใน $\lambda/4$ จะเป็นส่วนของสายสั้นสมบูรณ์ จึงมีแนวคิดใหม่ที่ว่าเมื่อไม่มีกระแสไหลในพื้นที่ด้านนอกของซิลด์ด้านนอกของกระแสที่ไหลผ่านแล้วค้างอยู่ของสายโคแอกเซียลหลัก มันควรจะมีส่วนจะเป็นสายสั้นสมบูรณ์แบบขนาน โดยไม่ต้องทำให้มีความยาว $\lambda/4$ เพื่อให้เป็นอุปกรณ์แบบสมดุล ซึ่งการทำให้มีความยาวเป็น $\lambda/4$ เพื่อป้องกันการเสียหายของการทำงานแบบปกติของสายอากาศ



(ก) การทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ กับสายอากาศเกลียวสองแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

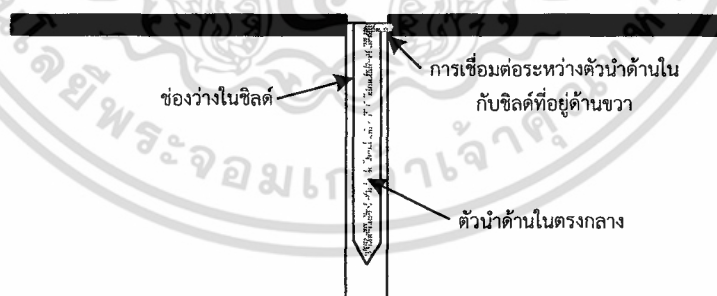


(ข) การทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ กับสายอากาศเกลียวสี่แขน
รูปที่ 2.17 การทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ กับสายอากาศเกลียว

จากรูปที่ 2.17 (ก) แสดงการเชื่อมต่อของสายอากาศเกลียวสองแขน และระยะห่างของสายนำสัญญาณขนาด $\lambda/4$ ที่เชื่อมต่อกับสายโคแอกเซียลทางด้านล่าง และได้แสดงการเชื่อมต่อกับสายอากาศเกลียวสี่แขนในรูปที่ 2.17 (ข) โดยมีสัญลักษณ์ตัว x กับ o บนแขนของเกลียว ซึ่งสัญลักษณ์ที่แสดงบนแขนนั้นจะมีการเชื่อมต่อเช่นเดียวกับบ่วงแบบเกลียวสองเส้น

2.5.3.2 การทำบาลันแบบเจาะช่องโคแอกเซียล

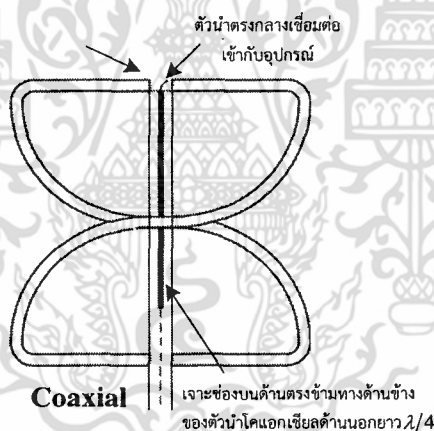
การทำบาลันแบบเจาะช่องโคแอกเซียลนั้นจะเชื่อมต่อเข้ากับแขนทั้งสองของสายอากาศไดโพล โดยด้านนอกของสายโคแอกเซียลนั้นถูกเชื่อมต่อเข้ากับแขนของไดโพลที่เหมือนกันจากรูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างและคุณสมบัติของ บาลันแบบเจาะช่องโคแอกเซียลนั้น ทำโดยการเจาะช่องในส่วนของซิลด์ด้านนอกซึ่งจะทำให้สายโคแอกเซียลจะสามารถรองรับได้ 2 โหมด และทำให้มีจำนวนของสายสัญญาณ 3 เส้น [6]



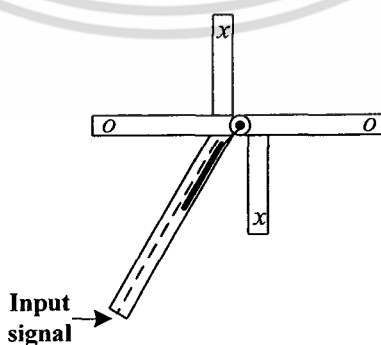
รูปที่ 2.18 การทำบาลันแบบเจาะช่องโคแอกเซียลกับสายอากาศไดโพล [6]

ซึ่งจากการวิเคราะห์การทำแบบบาลันแบบเจาะช่องโคแอกเซียลจะมีลักษณะเหมือนกับการทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ ซึ่งปลายของช่องเจาะจะเหมือนกับการเชื่อมต่อกับกราวด์ของซิลด์ทั้งสองของสายโคแอกเซียลในการทำบาลันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ สำหรับรูปแบบของวงจรแบบปิดที่จุดปลายของช่องเจาะจะอยู่ในโหมดที่ไม่สมดุล

(Unbalanced mode) ซึ่งมันจะปรับเปลี่ยนไปสู่วงจรแบบปิดของสายอากาศไดโพล โดยการลัดวงจรในโหมดไม่สมดุลที่อินพุต การปรับปรุงให้มีความสมมาตรจึงทำให้คุณสมบัติของการทำบาเลนแบบเจาะช่องโคแอกเซียลดีกว่า การทำบาเลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ สำหรับความยาวสายพิเศษของการเชื่อมต่อกับตัวนำตรงกลางของการทำบาเลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ ทำให้มีการเลื่อนเฟสไปสู่แขนที่ 2 และมีลำคลื่น (Beam) แบบเอียง เพราะฉะนั้นการทำบาเลนแบบเจาะช่องโคแอกเซียลเป็นบาเลนที่ดีที่สุดสำหรับการทำบาเลนที่ความถี่สูง สำหรับปัญหาเฟสเลื่อนของการเชื่อมต่อจะเกิดขึ้นเหมือนกับการทำบาเลนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วงสายอากาศของสายอากาศล็อกเพอริโอดิก (Log-periodic antenna) ซึ่งได้แสดงรายละเอียดการเชื่อมต่อทั้งหมดของสายอากาศเกลียวสองแขนกับสายอากาศเกลียวสี่แขนซึ่งแสดงในรูป 2.19 (ก) และ รูปที่ 2.19 (ข) โดยรูปที่ 2.19 (ก) แสดงจุดกึ่งกลางและตัวนำด้านนอกของสายโคแอกเซียลที่ถูกเชื่อมต่อและความยาวของด้านนอกของสายโคแอกเซียลที่เจาะช่องยาว $\lambda/4$ และรูปที่ 2.19 (ข) แสดงการเชื่อมต่อของการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบเกลียวสี่แขนโดยที่สัญลักษณ์ตัว x และ o ที่แสดงอยู่บนแขนของสายอากาศ ซึ่งมีสัญลักษณ์ที่เหมือนกัน คือเป็นการเชื่อมต่อเหมือนกับบ่วงของเกลียวสองแขน



(ก) การทำบาเลนแบบเจาะช่องโคแอกเซียลกับสายอากาศเกลียวสองแขน



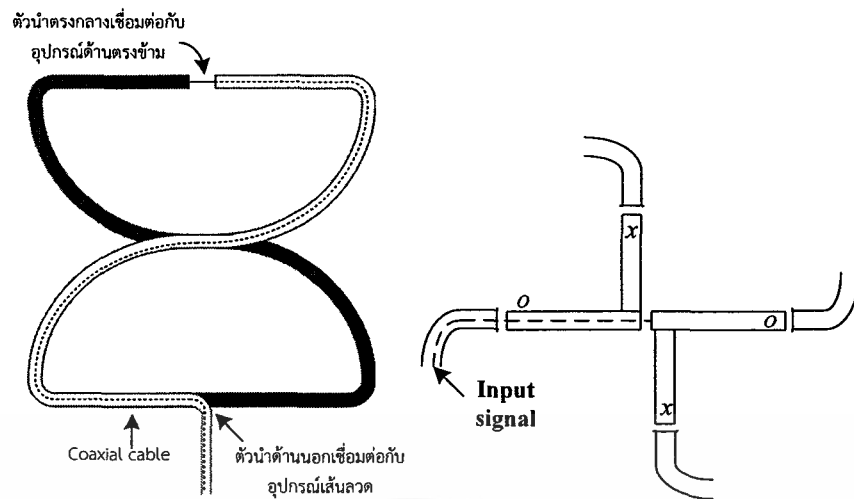
(ข) การทำบาเลนแบบเจาะช่องโคแอกเซียลกับสายอากาศเกลียวสี่แขน

รูปที่ 2.19 การเชื่อมต่อของการทำบาเลนแบบเจาะช่องโคแอกเซียลกับสายอากาศเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.3 การทำบอลลูนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วง สายอากาศ

ในการทำบอลลูนแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วงสายอากาศ แสดงในรูปที่ 2.20 จะเห็นว่าการป้อนสัญญาณของสายโคแอกเซียลภายในบ่วงจะมีรูปร่างที่มาจาก รูปแบบของบ่วงแบบเกลียวสองเส้น ในรูปที่ 2.20 (ข) ที่บริเวณปลายสายของโคแอกเซียล ตัวนำด้านในจะถูกเชื่อมต่อกับด้านที่อยู่ตรงข้ามหรือครึ่งที่สองของบ่วงแบบเกลียวสองแขน ซึ่งนำไปสู่รูปแบบของการป้อนสัญญาณ โดยด้านปลายส่วนอื่นๆของครึ่งที่สองของบ่วงแบบเกลียวสองเส้นจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับพื้นผิวด้านด้านนอกของสายสัญญาณ ซึ่งจะทำให้กลายเป็นบ่วงแบบปิด ส่วนจุดที่อยู่ตรงข้ามกับบ่วงแบบเกลียวสองแขนจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับตัวนำภายในสายโคแอกเซียล โดยส่วนของครึ่งที่สองของบ่วงแบบเกลียวสองเส้นจะเป็นวัสดุที่เป็นเส้นลวด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมือนกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของสายโคแอกเซียล ซึ่งกระแสที่กำลังไหลบนตัวนำด้านในของสายโคแอกเซียลจะถูกปล่อยออกมาบริเวณจุดป้อนสัญญาณ โดยกระแสจะไหลไปบนครึ่งที่สองของบ่วงแบบเกลียวสองแขน ส่วนกระแสที่กำลังไหลอยู่ตัวนำด้านนอกของสายโคแอกเซียล มาจนถึงปลายสาย กระแสจะสามารถไหลได้เพียงทิศทางเดียวโดยกระแสจะไหลไปรอบๆบนตัวนำด้านนอกของปลายสายโคแอกเซียล ซึ่งกระแสที่ไหลบนตัวนำด้านนอกของสายโคแอกเซียล กระแสนั้นจะกลายเป็นกระแสที่สายอากาศต้องการ เพราะบริเวณด้านนอกของสายโคแอกเซียลจะยื่นออกมาจากจุดป้อนสัญญาณไปจนถึงจุดที่อยู่ด้านตรงข้าม ซึ่งจะทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่น สำหรับด้านนอกของสายโคแอกเซียลในส่วนที่อยู่ตรงข้ามกับปลายของสายโคแอกเซียล ก็กำลังจะเกิดการแพร่กระจายคลื่น เนื่องจากผลกระทบจากพื้นผิว (Skin effect) โดยกระแสที่กำลังไหลอยู่ในสายโคแอกเซียลเพียงบางส่วนนั้น กระแสที่กำลังไหลอยู่บนสายโคแอกเซียลกับสายอากาศจะถูกแยกออกจากกันได้โดยสิ้นเชิง ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะทำให้กระแสไหลไปอยู่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ และถ้าสายโคแอกเซียลนั้นมีขนาดที่สมมาตรกับบ่วงแบบเกลียวสองแขน จะทำให้กระแสที่ไหลอยู่เกิดการเชื่อมต่อกัน และทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งกระแสที่ไหลภายในสายโคแอกเซียลนั้นจะอยู่ในโหมดไม่สมดุล และการแสที่อยู่บนบ่วงแบบเกลียวสองแขนจะกลายเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในโหมดสมดุล

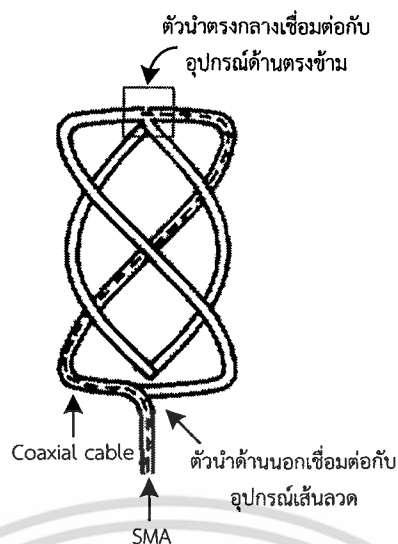


(ก) สายอากาศเกลียวสองแขน

(ข) สายอากาศเกลียวสี่แขน

รูปที่ 2.20 การทำบอลลินแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียล ขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วงสายอากาศกับสายอากาศเกลียว

ซึ่งวิธีการทำบอลลินแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วงสายอากาศ ได้แสดงในรูปที่ 2.21 โดยเลือกใช้สายโคแอกเซียลเคเบิลชนิดเซมิริจิด (Semi-rigid coaxial cable) เป็นแขนด้านหนึ่งของบ่วงแบบเกลียวสองแขน โดยที่ตัวนำตรงกลางของจุดป้อนสัญญาณของสายโคแอกเซียลเป็นตัวเชื่อมต่อกับเส้นลวดด้านตรงข้าม การทำการเชื่อมต่อแบบนี้ก่อให้เกิดกระแสของเฟสที่อยู่ตรงข้ามมีขนาดที่เท่ากัน โดยกระแสจะไหลไปบนพื้นผิวด้านนอกของสายโคแอกเซียลและเส้นลวดที่อยู่ติดกัน ซึ่งวิธีการนี้จะไม่ช่วยเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์แมตซ์ซึ่งตามที่ต้องการ เพราะการทำบอลลินแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของบ่วงสายอากาศ จะไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ โดยการป้อนสัญญาณแบบนี้จะผลิตคลื่นนิ่ง โดยกระแสที่มีการกระจายออกนั้นจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณและที่จุดกึ่งกลางของเส้นลวดที่กำลังเชื่อมต่อเข้าด้วยกันที่บริเวณปลายของเกลียวทั้งสอง และกระแสที่มีการกระจายออกไปจะเป็นศูนย์ในบริเวณครึ่งหนึ่งของเกลียว



รูปที่ 2.21 การทำลวดแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาดครึ่งหนึ่งของวงสายอากาศกับสายอากาศเกลียวสี่แขน

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของหลักการสื่อสารดาวเทียม เช่น หลักการการสื่อสารจากดาวเทียมมายังสถานีภาคพื้นดิน หลักการส่งสัญญาณของดาวเทียมวงโคจรต่ำที่มีการส่งสัญญาณบีคอน นอกจากนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศเกลียว รวมทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์คุณลักษณะและประสิทธิภาพของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างลำคลื่น ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ค่าอัตราขยาย ช่วงแถบความถี่ และการโพลาไรซ์ เป็นต้น และสุดท้ายได้นำเสนอถึงทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศเกลียวสองแขนและสายอากาศเกลียวสี่แขนพร้อมทั้งหลักการป้องกันสัญญาณให้กับสายอากาศ

บทที่ 3

ผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศ

3.1 กล่าวนำ

สำหรับสายอากาศเกลียวสี่แฉกเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้เป็นสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน เนื่องจากธรรมชาติของสายอากาศชนิดนี้สามารถทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบครึ่งทรงกลม และให้การโพลาริซวงกลม นอกจากนี้สายอากาศชนิดนี้ยังเอื้อต่อการทำให้เป็นสายอากาศที่สามารถทำงานแบบสองแถบความถี่ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้เลือกสายอากาศแบบเกลียวสี่แฉก มาประยุกต์ใช้งานสำหรับเป็นสายอากาศของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบีคอน ซึ่งในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสี่แฉกในบทที่ 3 นี้สายอากาศจะถูกจำลองให้สามารถทำงานได้สองความถี่ คือ 150 MHz และ 400 MHz ซึ่งสายอากาศเกลียวสี่แฉกที่สองแถบความถี่ เกิดจากการรวมกันของสายอากาศเกลียวสองแฉกที่ทำงานคนละความถี่ ซึ่งในการศึกษาจะเริ่มศึกษาจากสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นต้นแบบของสายอากาศเกลียวสองแฉก โดยมีความยาวแต่ละด้านของสายอากาศเป็น $\lambda/4$ ของความยาวคลื่น ต่อมาทำการศึกษาผลกระทบของสายอากาศแบบวง เมื่อหมุนสายอากาศให้เป็นเกลียว 180 องศา จำนวน 1 รอบ ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้กลายเป็นสายอากาศเกลียวสองแฉก จากนั้นทำการศึกษายสายอากาศเกลียวสองแฉกที่ได้จากการคำนวณ แล้วทำการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ ระหว่างสายอากาศเกลียวสองแฉกที่เกิดจากการหมุนของสายอากาศวงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแฉกที่ได้จากการคำนวณ โดยวิเคราะห์ผลกระทบจาก $|S_{11}|$ ต่อมาจึงทำการหาขนาดของสายอากาศเกลียวสองแฉกจากผลกระทบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ สุดท้ายเป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสี่แฉกสองแถบความถี่ที่เกิดจากการรวมสายอากาศเกลียวสองแฉก โดยมีขนาดของสายอากาศที่ได้จากการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ข้างต้น ซึ่งการศึกษผลกระทบค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

3.2 การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศ

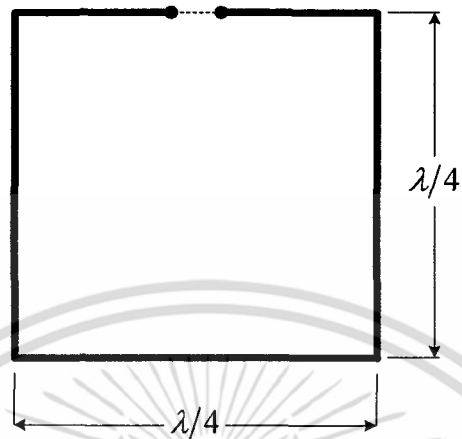
ในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศ ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบจาก $|S_{11}|$ ซึ่งจะต้องมีค่าต่ำกว่า -10 dB ซึ่งในการศึกษาได้ทำการจำลองสายอากาศและทำการวิเคราะห์ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ซึ่งการศึกษผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศ มีดังต่อไปนี้

3.2.1 การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศวงสี่เหลี่ยม

สำหรับโครงสร้างของสายอากาศวงสี่เหลี่ยมนั้นทุกด้านจะมีขนาดเป็น $\lambda/4$ ของความยาวคลื่น ซึ่งสายอากาศชนิดนี้เป็นสายอากาศที่ไม่มีการหมุนตัวสายอากาศ ดังนั้นเส้นรอบรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจะมีค่าเท่ากับความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน และสายอากาศชนิดนี้เป็นสายอากาศเส้นลวด โดยแสดงโครงสร้างของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมในรูปที่ 3.1 และสามารถคำนวณความยาวคลื่นได้ตามสมการที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

คำนวณหาความยาวคลื่นของสายอากาศ $\lambda = c/f$ (3.1)

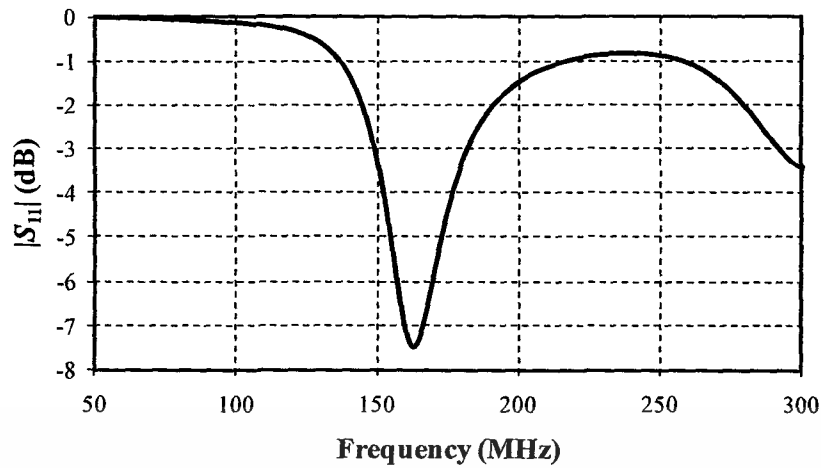
สำหรับความถี่ 150 MHz $\lambda = \frac{3 \times 10^8}{150 \times 10^6}$ (3.2)

$$\lambda = 200 \text{ cm}$$

สำหรับความถี่ 400 MHz $\lambda = \frac{3 \times 10^8}{400 \times 10^6}$ (3.3)

$$\lambda = 75 \text{ cm}$$

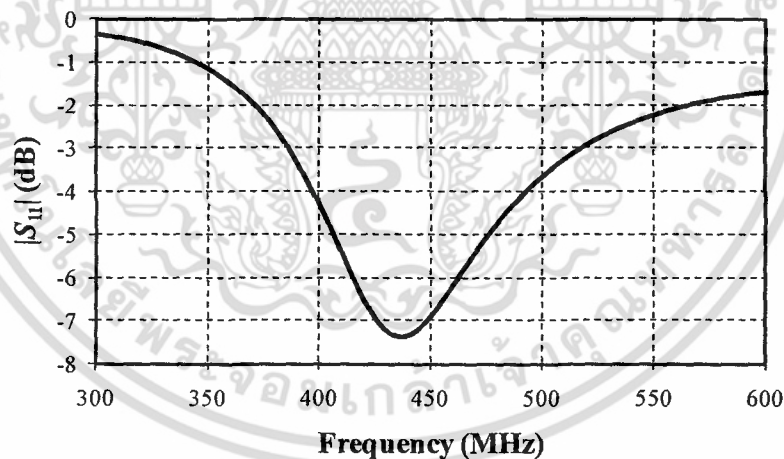
สำหรับความถี่ 150 MHz มีความยาวคลื่น (λ) 200 เซนติเมตร ดังนั้นแต่ละด้านกว้างของสายอากาศมีความยาว 50 เซนติเมตร และด้านยาวมีความยาว 50 เซนติเมตร ซึ่งในการจำลองวัสดุที่นำมาใช้เป็นท่อทองแดงกลางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (W_d) ขนาด 0.8 เซนติเมตร ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 150 MHz

จากรูปที่ 3.2 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมสำหรับความถี่ 150 MHz มีค่าเพียง -3 dB ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจาก $|S_{11}|$ ที่จะสามารถนำไปใช้งานได้จะต้องมีค่าต่ำกว่า -10 dB สำหรับ $|S_{11}|$ ที่ต่ำที่สุดคือ -7.5 dB ที่ความถี่ 163 MHz

สำหรับความถี่ 400 MHz มีความยาวคลื่น (λ) 75 เซนติเมตร ทำให้แต่ละด้านของสายอากาศมีขนาด 18.75 เซนติเมตร ซึ่งสามารถแสดงผล $|S_{11}|$ ของสายอากาศได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 400 MHz

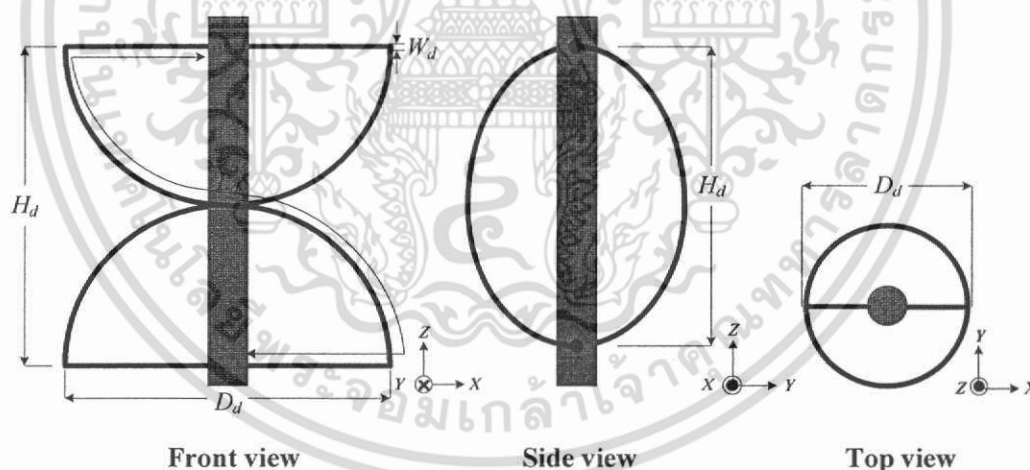
จากรูปที่ 3.3 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 400 MHz ซึ่งมี $|S_{11}|$ คือ -4 dB โดยมี $|S_{11}|$ ที่ต่ำที่สุดคือ -7.4 dB ที่ความถี่ 438 MHz สามารถสรุปประสิทธิภาพของสายอากาศดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปประสิทธิภาพของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz

ความถี่ที่ออกแบบ (MHz)	150	400	โครงสร้างสายอากาศ
ลักษณะบ่วง	บ่วงใหญ่	บ่วงเล็ก	
ความยาวคลื่น (cm)	200	75	
ความกว้างบ่วง (cm)	50	18.75	
ความยาวบ่วง (cm)	50	18.75	
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทองแดง (cm)	0.8	0.8	
$ S_{11} $ (dB) ของความถี่ที่ออกแบบ	-3	-4	
ความถี่ (MHz) ที่ได้ $ S_{11} $ ต่ำที่สุด	163	438	
$ S_{11} $ (dB) ของความถี่ที่ได้ต่ำที่สุด	-7.5	-7.4	

3.2.2 ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสองแขน

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสองแขน ที่ถูกพัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณตามสูตร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากสมการที่ 2.24 และ 2.25 และทำการเปรียบเทียบผลกระทบพารามิเตอร์จาก $|S_{11}|$ สำหรับโครงสร้างของสายอากาศแบบเกลียวสองแขนแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสองแขน

โดยที่ D_d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศเกลียวสองแขน
 H_d คือ ความสูงของสายอากาศเกลียวสองแขน
 L_d คือ ความยาวส่วนโค้งของสายอากาศเกลียวสองแขน
 W_d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทองแดง

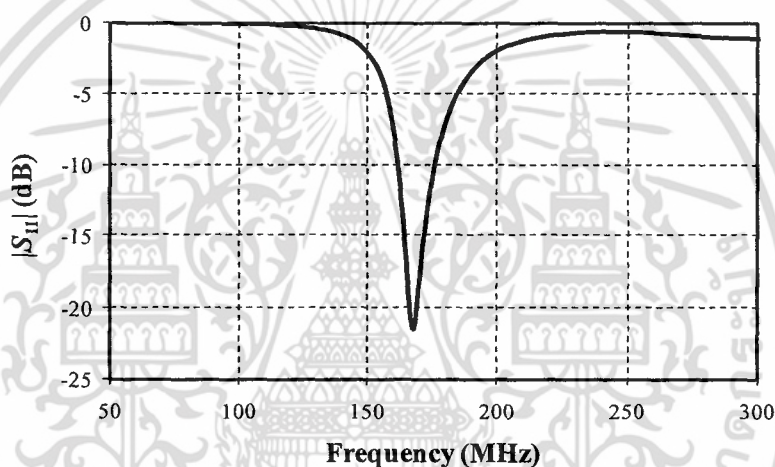
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1 สายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

สำหรับในหัวข้อนี้ได้นำเสนอโครงสร้างสายอากาศสองแขน ที่มีการพัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ทุกด้านมีขนาดเป็น $\lambda/4$ ของความยาวคลื่น ซึ่งมีการหมุนเกลียวด้วยมุม 180 องศา จำนวนรอบในการหมุน (N) 1 รอบ โดยใช้ท่อทองแดงกลวงเส้นผ่านศูนย์กลาง (W_d) 0.8 เซนติเมตร

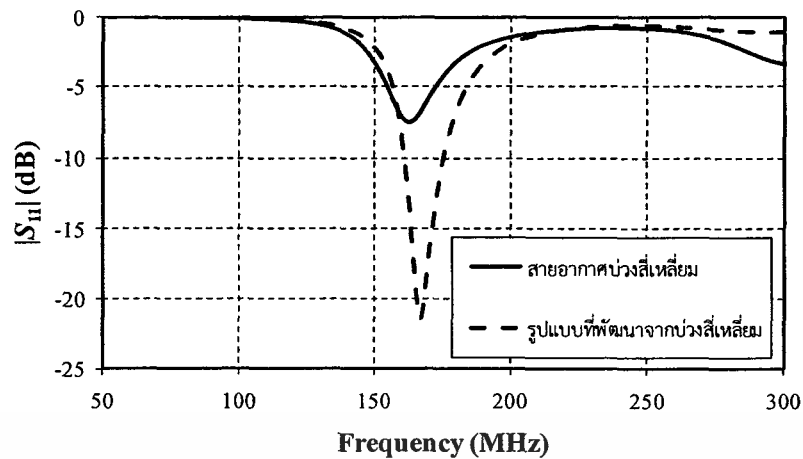
3.2.2.1.1 สายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ความถี่ 150 MHz

สำหรับความถี่ 150 MHz มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_{Id}) 50 เซนติเมตร และความสูงของสายอากาศ (H_{Id}) 50 เซนติเมตร ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 150 MHz

จากรูปที่ 3.5 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขน ที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมนั้น $|S_{11}|$ เท่ากับ -21 dB ที่ความถี่ 167 MHz จะสังเกตได้ว่าเมื่อสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมหมุนเกลียวด้วยมุม 180 องศา นั้น ช่วยให้ $|S_{11}|$ มีค่าที่ต่ำลง ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมในรูปที่ 3.6

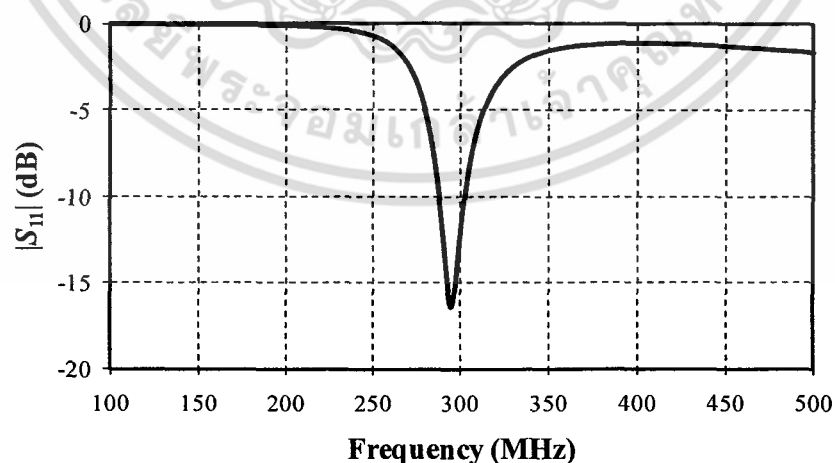


รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 150 MHz ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแขน

จากรูปที่ 3.6 เมื่อเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ สำหรับความถี่ 150 MHz ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแขน ทั้งสองมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความถี่ 150 MHz ทั้งคู่ แต่สายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนาจากบ่วงสี่เหลี่ยม มีแนวโน้มที่ทำให้ $|S_{11}|$ ของสายอากาศมีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB

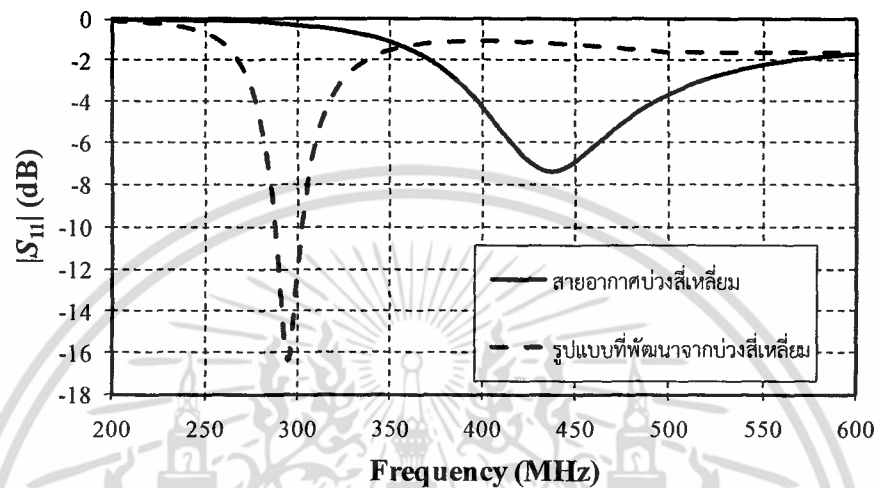
3.2.2.1.2 สายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ความถี่ 400 MHz

สำหรับความถี่ 400 MHz นั้น สายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_{2d}) 18.75 เซนติเมตร และความสูงของสายอากาศ (H_{2d}) 18.75 เซนติเมตร ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 400 MHz ของสายอากาศเกลียวสองแขน

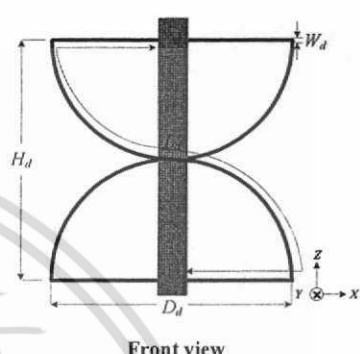
จากรูปที่ 3.7 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม โดย $|S_{11}|$ เท่ากับ -16 dB ที่ความถี่ 297 MHz จะสังเกตได้ว่าเมื่อสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมหมุนเกลียวด้วยมุม 180 องศา นั้นจะช่วยให้ $|S_{11}|$ มีค่าที่ต่ำลง แต่ยังไม่ตรงกับค่าที่นำไปใช้งาน จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz

จากรูปที่ 3.8 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความถี่ 400 MHz มากกว่าสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม แต่เมื่อสังเกตที่ผลการจำลอง $|S_{11}|$ สังเกตได้ว่าสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากบ่วงสี่เหลี่ยม สามารถให้ $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่า -3 dB สามารถสรุปประสิทธิภาพของสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุปพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนาจากบ่วงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางกายภาพ (cm)	ผลการจำลอง		โครงสร้างสายอากาศ
		ความถี่ที่ได้ $ S_{11} $ ต่ำสุด (MHz)	$ S_{11} $ (dB) ความถี่ที่ได้ต่ำที่สุด	
D_{1d}	50	167	-21	
H_{1d}	50			
W_{1d}	0.80			
N_1	0.50 รอบ			
มุมของสายอากาศ	180 องศา			
D_{2d}	18.75	297	-16	
H_{2d}	18.75			
W_{2d}	0.80			
N_2	0.50 รอบ			
มุมของสายอากาศ	180 องศา			

ซึ่งในหัวข้อถัดไปจะนำเสนอโครงสร้างสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณแล้วทำการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ ระหว่างสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณ เพื่อศึกษาว่าสายอากาศรูปแบบใดมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความถี่ที่จะนำไปใช้งานมากที่สุด

3.2.2.2 สายอากาศเกลียวสองแขนจากการคำนวณจากสูตร

สำหรับในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณ ในการหาขนาดของสายอากาศแบบเกลียวสองแขนขนาดใหญ่และขนาดเล็กสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14 และ 2.15 สำหรับสมการที่ 2.14 จะเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดสายอากาศแบบเกลียวสองแขนบ่วงใหญ่ที่ความถี่ 150 MHz ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณจะแสดงในสมการที่ 3.4 สมการที่ 3.5 และสมการที่ 3.6

สำหรับสายอากาศแบบเกลียวสองแขนความถี่ 150 MHz

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง} \quad D_{1d} &= 0.173\lambda \\
 D_{1d} &= 0.173 \times 200 \\
 D_{1d} &= 34.60\text{cm}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความสูงของสายอากาศ} \quad H_{1d} &= 0.26\lambda \\
 H_{1d} &= 0.26 \times 200 \\
 H_{1d} &= 52.00\text{cm}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวส่วนโค้งของสายอากาศ} \quad L_{1d} &= 1.120\lambda \\
 L_{1d} &= 1.120 \times 200 \\
 L_{1d} &= 224\text{cm}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

สำหรับสมการที่ 2.15 จะเป็นการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดสายอากาศแบบเกลียวสองแขนบ่วงเล็กที่ความถี่ 400 MHz ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณจะแสดงในสมการที่ 3.7 สมการที่ 3.8 และสมการที่ 3.9

สำหรับสายอากาศแบบเกลียวสองแขนความถี่ 400 MHz

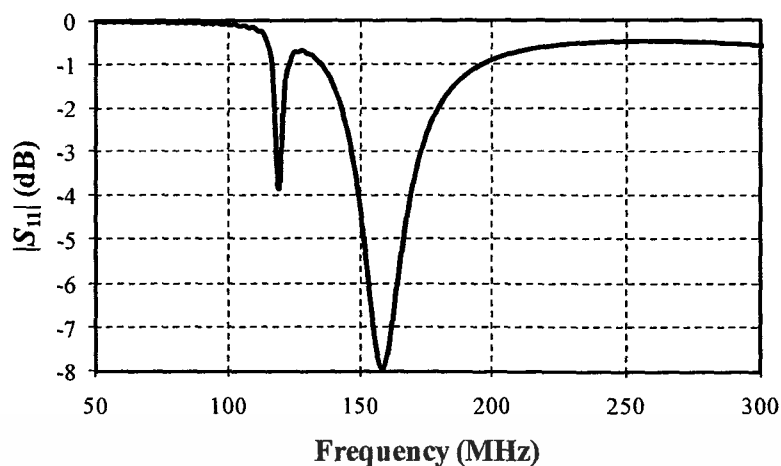
$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง} \quad D_{2d} &= 0.156\lambda \\
 D_{2d} &= 0.156 \times 75 \\
 D_{2d} &= 11.70\text{cm}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความสูงของสายอากาศ} \quad H_{2d} &= 0.238\lambda \\
 H_{2d} &= 0.238 \times 75 \\
 H_{2d} &= 17.85\text{cm}
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวส่วนโค้งของสายอากาศ} \quad L_{2d} &= 1.106\lambda \\
 L_{2d} &= 1.106 \times 75 \\
 L_{2d} &= 82.95\text{cm}
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

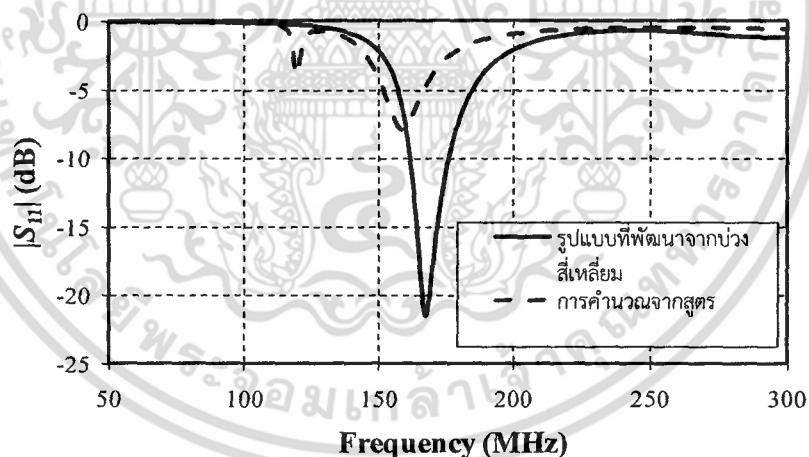
3.2.2.2.1. สายอากาศเกลียวสองแขนจากการคำนวณจากสูตรที่ความถี่ 150 MHz

จากการคำนวณตามสมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5 สามารถหาขนาดของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_{1d}) 34.6 เซนติเมตร และความสูงของสายอากาศ (H_{1d}) 52 เซนติเมตร



รูปที่ 3.9 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

จากรูปที่ 3.9 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณ สำหรับความถี่ 150 MHz โดย $|S_{11}|$ เท่ากับ -4 dB สำหรับ $|S_{11}|$ ที่ต่ำที่สุดคือ -8 dB ที่ความถี่ 157 MHz ซึ่งมีแนวโน้มเข้าใกล้ความถี่ 150 MHz มากขึ้น แต่ $|S_{11}|$ ยังไม่ต่ำกว่า -10 dB เมื่อเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ ระหว่างสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณกับสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการพัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม แสดงในรูปที่ 3.10

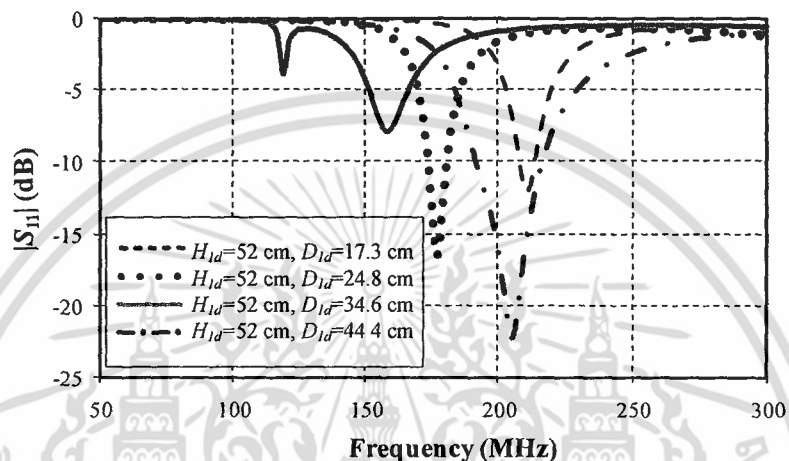


รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบผลการจำลอง $|S_{11}|$ ระหว่างสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณจากสูตรกับสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการพัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 3.10 สายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณ มีแนวโน้มที่จะทำให้เข้าใกล้ความถี่ 150 MHz มากกว่าสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการพัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม และมีแนวโน้มที่จะทำให้ $|S_{11}|$ มีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB ดังนั้นได้เลือกใช้ขนาดของ

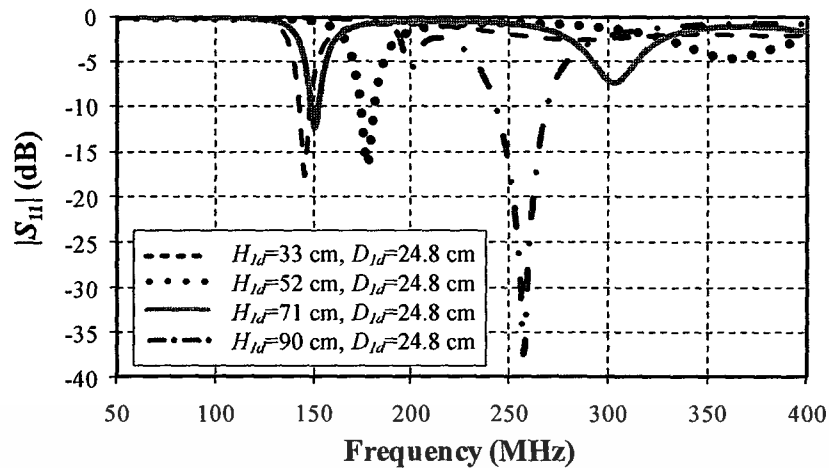
สายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณมาเป็นต้นแบบในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบเกลียวสองแขนเพื่อหาขนาดของสายอากาศที่เหมาะสมต่อไป

สำหรับการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสองแขนนั้น ได้กำหนดให้ความสูงของสายอากาศ (H_{1d}) มีความสูง 52 เซนติเมตร และทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ (D_{1d}) ให้มีความยาวที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11



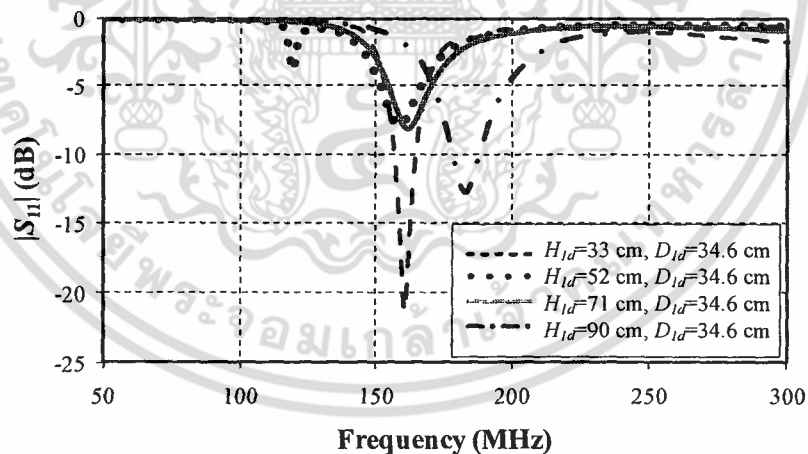
รูปที่ 3.11 ผลการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{1d} ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

จากรูปที่ 3.11 เมื่อทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{1d} ให้มีค่าต่างๆ จะสังเกตได้ว่าเมื่อพารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 24.8 เซนติเมตร และ 34.6 เซนติเมตานั้น สายอากาศมีแนวโน้มเข้าใกล้ความถี่ 150 MHz ดังนั้นในรูปที่ 3.12 และ 3.13 จึงทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศว่า ถ้าทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{1d} นั้นจะส่งผลกระทบต่อสายอากาศอย่างไร



รูปที่ 3.12 ผลการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{1d} ของสายอากาศ
เกลียวสองแกนโดยที่พารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 24.8 เซนติเมตร

จากรูปที่ 3.12 เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{1d} ให้มีค่าต่างๆ เมื่อ H_{1d} มีค่า 71 เซนติเมตร มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความถี่ 150 MHz ซึ่งมี $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB จากนั้นได้ลองเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{1d} ให้มีค่าต่างๆ เมื่อพารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 34.6 เซนติเมตร แสดงในรูปที่ 3.13 เพื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศที่พารามิเตอร์ D_{1d} เป็น 24.8 เซนติเมตร ว่าสายอากาศตัวใดจะมีแนวโน้มที่ทำให้เกิดความถี่ 150 MHz มากกว่ากัน



รูปที่ 3.13 ผลการเปรียบเทียบการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{1d} ของสายอากาศ
เกลียวสองแกนโดยที่พารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 34.6 เซนติเมตร

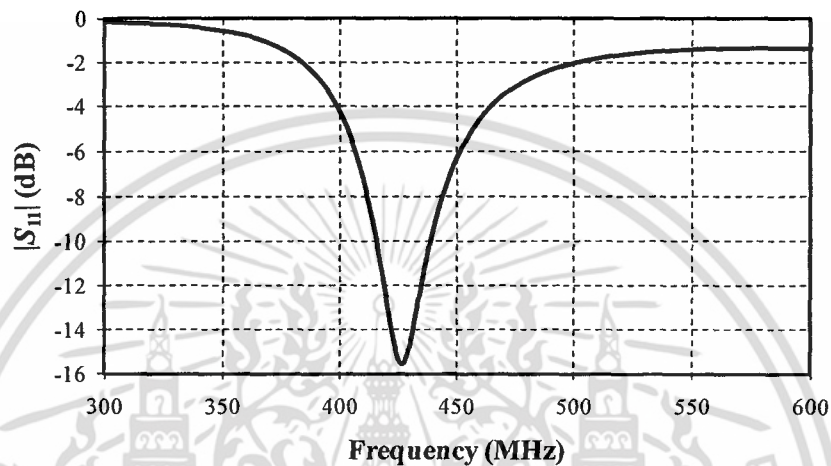
จากรูปที่ 3.13 เมื่อทำการเปลี่ยนความสูงของสายอากาศ (H_{1d}) ให้มีความสูงที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดความถี่ 150 MHz ดังนั้นสายอากาศเกลียวสองแกน สำหรับความถี่ 150 MHz จึงเหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ (D_{1d}) เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24.8 เซนติเมตร และความสูงของสายอากาศ (H_{1d}) เท่ากับ 71 เซนติเมตร ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ในการจำลองผลต่อไปเพื่อศึกษาแนวโน้มความสอดคล้องในการตอบสนองต่อความถี่ต่อไป

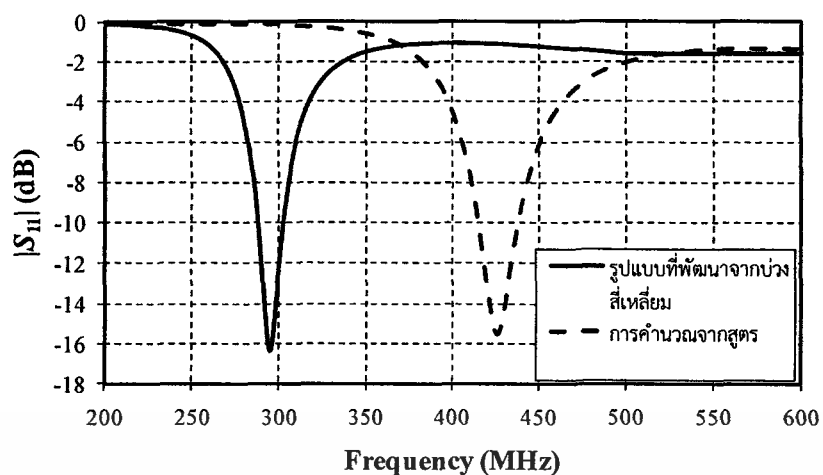
3.2.2.2.2. สายอากาศเกลียวสองแขนจากการคำนวณความถี่ 400 MHz

สำหรับความถี่ 400 MHz ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 2.25 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ (D_{2d}) 11.7 เซนติเมตร และความสูงของสายอากาศ (H_{2d}) 17.8 เซนติเมตร โดยแสดง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขน ในรูปที่ 3.14



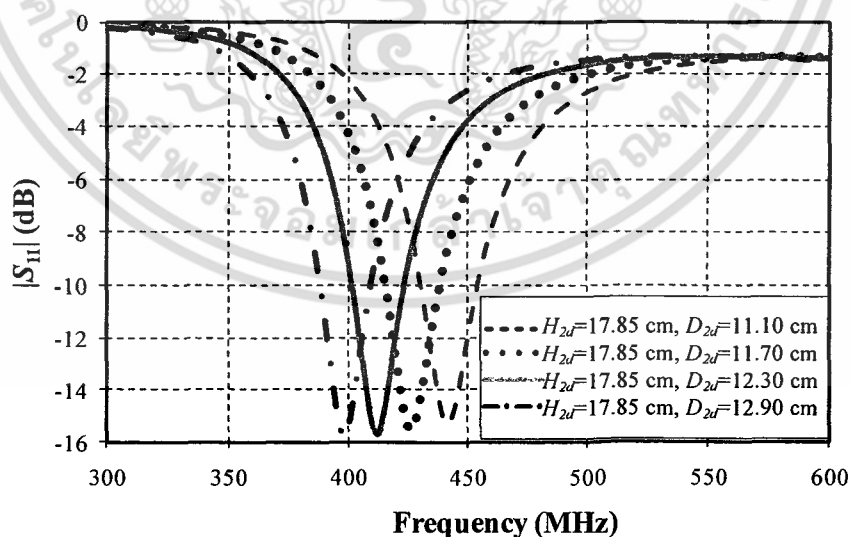
รูปที่ 3.14 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 400 MHz ของสายอากาศเกลียวสองแขน

จากรูปที่ 3.14 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งให้ $|S_{11}|$ เท่ากับ -16 dB ที่ความถี่ 427 MHz ซึ่งมีแนวโน้มเข้าใกล้ความถี่ 400 MHz จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการจำลอง $|S_{11}|$ ระหว่างสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณกับสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม แสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ผลการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ ระหว่างสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณจากสูตร กับสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนาจากสายอากาศบวงสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 3.15 สายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณ มีแนวโน้มที่สอดคล้องต่อการตอบสนองความถี่ 400 MHz มากกว่าสายอากาศเกลียวสองแขนที่พัฒนาจากสายอากาศบวงสี่เหลี่ยม และมีแนวโน้มที่จะทำให้ $|S_{11}|$ มีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB ดังนั้นได้เลือกใช้ขนาดของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณมาเป็นต้นแบบในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบเกลียวสองแขนเพื่อหาขนาดของสายอากาศที่เหมาะสมต่อไป ในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสองแขนนั้น ได้กำหนดให้พารามิเตอร์ H_{2d} มีค่า 17.85 เซนติเมตร และทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{2d} ให้มีค่าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.16

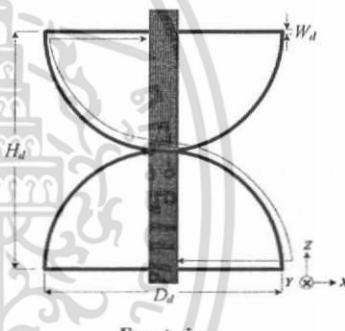


รูปที่ 3.16 ผลการเปรียบเทียบ $|S_{11}|$ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{2d} ของสายอากาศเกลียวสองแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.16 เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{2d} ให้มีค่าต่างๆ เมื่อพารามิเตอร์ D_{2d} มีค่า 12.9 เซนติเมตร และพารามิเตอร์ H_{2d} มีค่า 17.85 เซนติเมตร มีแนวโน้มจะทำให้เกิดความถี่ 400 MHz และมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -16 dB ดังนั้นจึงเลือกพารามิเตอร์ที่มีค่าดังกล่าวเป็นขนาดของสายอากาศเกลียวสองแขนความถี่ 400 MHz ซึ่งสามารถสรุปขนาดของพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณ สำหรับความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ที่จะนำไปใช้ในหัวข้อถัดไปดังตารางที่ 3.3

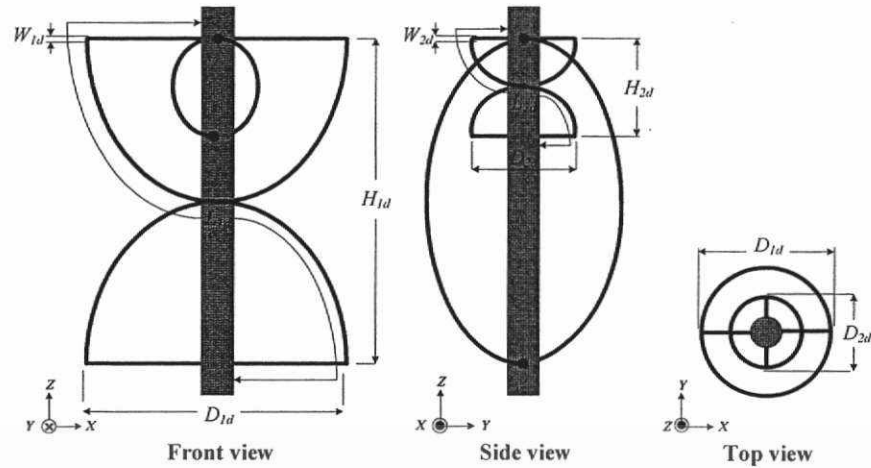
ตารางที่ 3.3 สรุปขนาดของพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางกายภาพ (cm)	ผลการจำลอง		โครงสร้างสายอากาศ
		ความถี่ที่ออกแบบ (MHz)	$ S_{11} $ (dB)	
D_{1d}	24.8	150	-12	
H_{1d}	71			
W_{1d}	0.80			
N_1	0.50 รอบ			
มุมของสายอากาศ	180 องศา			
D_{2d}	12.9	400	-16	
H_{2d}	17.85			
W_{2d}	0.80			
N_2	0.50 รอบ			
มุมของสายอากาศ	180 องศา			

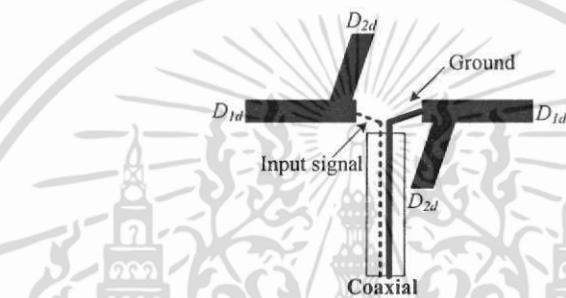
สำหรับหัวข้อถัดไปเป็นการนำเสนอสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ (Dual-band quadrifilar helix antenna) ซึ่งเกิดจากการนำสายอากาศเกลียวสองแขน ที่มีความถี่ที่แตกต่างกันมารวมกัน

3.2.3 สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่เกิดจากสายอากาศเกลียวสองแขนจำนวน 2 ชุด ที่มีขนาดแตกต่างกันและมีความถี่ที่แตกต่างกันมารวมกัน ซึ่งแขนของสายอากาศทั้ง 2 ชุดจะวางทำมุมต่างกัน 90 องศา โดยแสดงโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขน ในรูปที่ 3.17



(ก) โครงสร้างสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่



(ข) วิธีการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศเกลียวสี่แขนรูปที่ 3.17 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสี่แขนและการป้อนสัญญาณ

โดยที่	D_{1d}	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศเกลียวสองแขนบ่วงใหญ่
	D_{2d}	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศเกลียวสองแขนบ่วงเล็ก
	H_{1d}	คือ ความสูงของสายอากาศเกลียวสองแขนบ่วงใหญ่
	H_{2d}	คือ ความสูงของสายอากาศเกลียวสองแขนบ่วงเล็ก
	L_{1d}	คือ ความยาวส่วนโค้งของสายอากาศเกลียวสองแขนบ่วงใหญ่
	L_{2d}	คือ ความยาวส่วนโค้งของสายอากาศเกลียวสองแขนบ่วงเล็ก
	W_{1d}	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทองแดงของสายอากาศเกลียวสองแขนบ่วงใหญ่
	W_{2d}	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทองแดงของสายอากาศเกลียวสองแขนบ่วงเล็ก

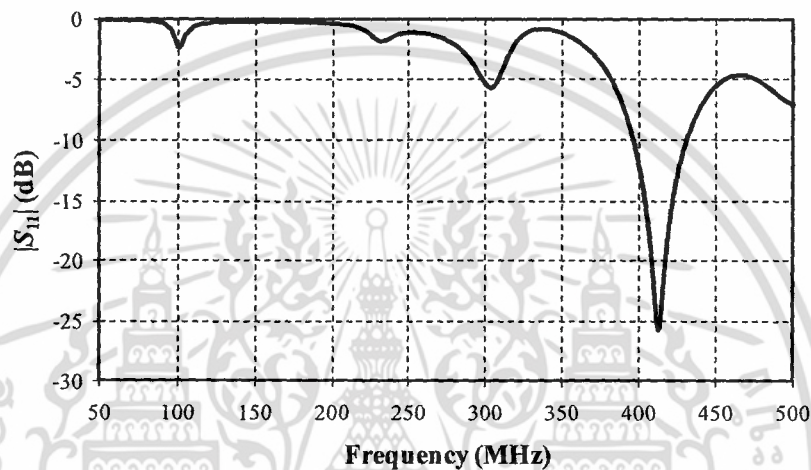
สำหรับสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ โครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยสายอากาศเกลียวสองแขน สำหรับความถี่ 150 MHz และสายอากาศเกลียวสองแขนสำหรับความถี่ 400 MHz สายอากาศทั้งสองมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยพารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ จะมีค่าดังตารางที่ 3.4 ซึ่งได้มาจากการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศในหัวข้อก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

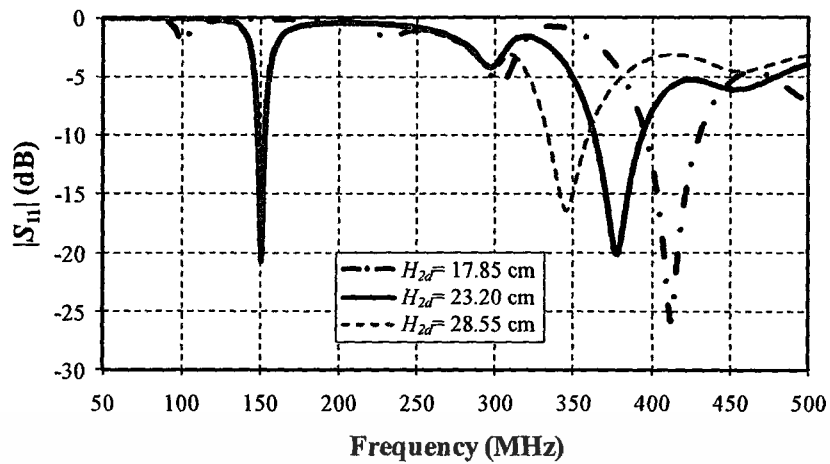
ความถี่ (MHz)	150		400	
ลักษณะบ่วง	ใหญ่		เล็ก	
พารามิเตอร์	D_{1d}	H_{1d}	D_{2d}	H_{2d}
ขนาด (cm)	24.80	71.00	12.90	17.85

สำหรับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ซึ่งมีค่ามาจากตารางที่ 3.5 เมื่อทำการจำลองหาผลของ $|S_{11}|$ ของสายอากาศสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

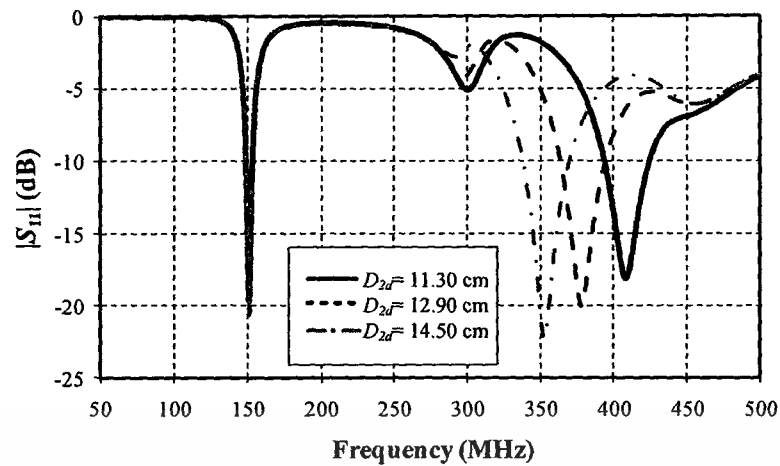
จากรูปที่ 3.18 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ที่ประกอบด้วยของสายอากาศเกลียวสองแขนที่มีพารามิเตอร์ของสายอากาศบ่วงใหญ่ D_{1d} มีค่า 24.8 เซนติเมตร H_{1d} มีค่า 71 เซนติเมตร และ พารามิเตอร์ของสายอากาศบ่วงเล็ก D_{2d} มีค่า 12.9 เซนติเมตร H_{2d} มีค่า 17.85 เซนติเมตร จะสังเกตเห็นว่า $|S_{11}|$ มีเพียงความถี่เดียวและเป็นความถี่ที่ไม่มีการนำไปใช้งาน ดังนั้นในส่วนต่อไปจะเป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำให้เกิดสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

ในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ เริ่มศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ H_{2d} ให้มีค่าต่างๆ โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 24.8 เซนติเมตร H_{1d} มีค่า 71 เซนติเมตร D_{2d} มีค่า 12.9 เซนติเมตร โดยศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์จาก $|S_{11}|$ แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่
เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ H_{2d}

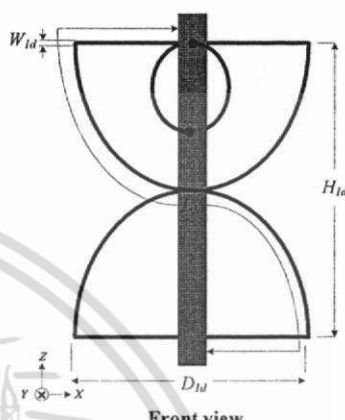
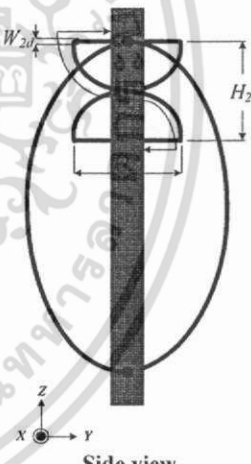
จากรูปที่ 3.19 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ เมื่อพารามิเตอร์ H_{2d} มีค่า 17.85 เซนติเมตร โดยที่ $|S_{11}|$ เท่ากับ -26 dB ที่ความถี่ 413 MHz ซึ่งตกเพียงความถี่เดียว ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ H_{2d} ให้มีค่า 23.20 เซนติเมตร ทำให้สายอากาศมีการเชื่อมต่อกันซึ่งทำให้สายอากาศสามารถทำงานได้สองความถี่ โดย $|S_{11}|$ เท่ากับ -21 dB ที่ความถี่ 150 MHz และ -20 dB ที่ความถี่ 379 MHz ตามลำดับ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ดีที่จะทำให้เกิดสายอากาศที่สามารถทำงานได้สองความถี่ จากนั้นจึงลองเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ H_{2d} ให้มากขึ้นโดยพารามิเตอร์ H_{2d} มีค่า 28.55 เซนติเมตร จากการเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ในครั้งนี้สายอากาศยังคงทำงานได้สองความถี่ ซึ่งมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -19 dB ที่ความถี่ 150 MHz และ -17 dB ที่ความถี่ 345 MHz ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ H_{2d} มีค่า 23.20 เซนติเมตรนั้นค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงที่จะทำให้เกิดสองความถี่ที่ต้องการใช้งาน ต่อมาทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ D_{2d} ให้มีค่าต่างๆ โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 24.8 เซนติเมตร พารามิเตอร์ H_{1d} มีค่า 71 เซนติเมตร และพารามิเตอร์ H_{2d} มีค่า 23.20 เซนติเมตร โดยศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์จาก $|S_{11}|$ ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ D_{2d}

จากรูปที่ 3.20 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ เมื่อพารามิเตอร์ D_{2d} มีค่า 11.30 เซนติเมตรสายอากาศมีการเชื่อมต่อกันซึ่งทำให้สายอากาศสามารถทำงานได้สองความถี่ โดยมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -19 dB ที่ความถี่ 150 MHz และ -14 dB ที่ความถี่ 400 MHz ซึ่ง $|S_{11}|$ ก็มีค่าต่ำกว่า -10 dB จากนั้นทำการเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ D_{2d} ให้มีค่า 12.90 เซนติเมตร ทำให้สายอากาศมีการเชื่อมต่อกันซึ่งทำให้สายอากาศสามารถทำงานได้สองความถี่ โดยมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -21 dB ที่ความถี่ 150 MHz และ -20 dB ที่ความถี่ 379 MHz ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ H_{2d} ให้มากขึ้นโดยพารามิเตอร์ D_{2d} มีค่า 14.50 เซนติเมตร จากการเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ในครั้งนี้สายอากาศยังคงทำงานได้สองความถี่ ซึ่งมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -21 dB ที่ความถี่ 150 MHz และ -22 dB ที่ความถี่ 354 MHz ตามลำดับ แต่จากการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์พบว่า เมื่อ D_{2d} มีค่า 12.90 เซนติเมตร และ D_{2d} มีค่า 14.50 เซนติเมตร ไปเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ D_{2d} ที่มีค่า 11.30 เซนติเมตรนั้น ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงที่จะทำให้เกิดสองความถี่ที่ต้องการใช้งาน ดังนั้นจึงได้เลือกใช้สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่มีขนาดของพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สรุปรูปขนาดของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางกายภาพ (cm)	ผลการจำลอง		โครงสร้างสายอากาศ
		ความถี่ที่ออกแบบ (MHz)	$ S_{11} $ (dB)	
D_{1d}	24.80	150	-19	
H_{1d}	71			
W_{1d}	0.80			
N_1	0.50 รอบ			
มุมของสายอากาศ	180 องศา			
D_{2d}	11.30	400	-14	
H_{2d}	23.20			
W_{2d}	0.80			
N_2	0.50 รอบ			
มุมของสายอากาศ	180 องศา			

จากตารางที่ 3.5 ขนาดของพารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ดังกล่าวจะนำไปใช้ในการจำลองเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศในบทที่ 4 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศโดยวิเคราะห์ผลมาจาก $|S_{11}|$ ซึ่งในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่นั้น เริ่มจากโครงสร้างของสายอากาศที่เป็นบ่วงสี่เหลี่ยมที่ทุกด้านของสายอากาศมีขนาดเป็น $\lambda/4$ ของความยาวคลื่น ที่ความถี่ 150 MHz ด้านกว้างของสายอากาศมีค่า 50 เซนติเมตร และด้านยาวของสายอากาศมีค่า 50 เซนติเมตร ซึ่งจากการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศดังกล่าวมีค่าเท่ากับ -8 dB ที่ความถี่ 163 MHz ต่อมาจึงทำการจำลองโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขน ที่ความถี่ 150 MHz ที่พัฒนามาจากโครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม โดยหมุนเกลียวของสายอากาศด้วยมุม 180 องศา เมื่อพารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 50 เซนติเมตร และพารามิเตอร์ H_{1d} มีค่า 50 เซนติเมตรด้วยเช่นกัน จากการวิเคราะห์โดยการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศดังกล่าวมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -21 dB ที่ความถี่ 167 MHz และเมื่อเปรียบเทียบที่ความถี่ 163 MHz เหมือนกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม โดยที่ $|S_{11}|$ เท่ากับ -13 dB จะสังเกตได้ว่าการหมุนเกลียวของสายอากาศช่วยทำให้ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ มีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB จากนั้นทำการศึกษาโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขนสำหรับความถี่ 150 MHz ที่ได้จากการคำนวณ มาทำการวิเคราะห์ $|S_{11}|$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ -8 dB ที่ความถี่ 157 MHz ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความถี่ 150 MHz มากที่สุด จึงเลือกใช้สายอากาศดังกล่าวในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ จากการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ความถี่ 150 MHz พารามิเตอร์ที่เหมาะสม มีค่าพารามิเตอร์ D_{1d} เท่ากับ 24.8 เซนติเมตร และความพารามิเตอร์ H_{1d} มีค่าเท่ากับ 71 เซนติเมตร

ที่ความถี่ 400 MHz ได้ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เช่นเดียวกับความถี่ 150 MHz ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่เป็นบ่วงสี่เหลี่ยมที่ทุกด้านของสายอากาศมีขนาดเป็น $\lambda/4$ ของความยาวคลื่น ที่ความถี่ 400 MHz ด้านกว้างของสายอากาศมีค่า 18.75 เซนติเมตร และด้านยาวของสายอากาศมีค่า 18.75 เซนติเมตร ซึ่งจากการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศดังกล่าวมีค่าเท่ากับ -7 dB ที่ความถี่ 456 MHz ต่อมาจึงทำการจำลองโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขน ที่ความถี่ 400 MHz ที่พัฒนามาจากโครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม โดยหมุนเกลียวของสายอากาศด้วยมุม 180 องศา เมื่อพารามิเตอร์ D_{2d} มีค่า 18.75 เซนติเมตร และพารามิเตอร์ H_{2d} มีค่า 18.75 เซนติเมตรด้วยเช่นกัน จากการวิเคราะห์โดยการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศดังกล่าวมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -16 dB ที่ความถี่ 297 MHz จะสังเกตได้ว่าการหมุนเกลียวของสายอากาศช่วยทำให้ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ มีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB จากนั้นทำการศึกษาโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขน สำหรับความถี่ 400 MHz ที่ได้จากการคำนวณ มาทำการวิเคราะห์ $|S_{11}|$ ซึ่งมีค่า -16 dB ที่ความถี่ 427 MHz ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความถี่ 400 MHz จึงเลือกใช้สายอากาศดังกล่าวในการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ จากการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ความถี่ 400 MHz พารามิเตอร์ที่เหมาะสม มีค่าพารามิเตอร์ D_{2d} เท่ากับ 12.90 เซนติเมตร และความพารามิเตอร์ H_{2d} มีค่าเท่ากับ 17.85 เซนติเมตร จากนั้นนำขนาดของพารามิเตอร์ทั้งสองความถี่มาประกอบเข้าด้วยกันเป็นสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ และทำการเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม ที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สายอากาศมีการทำงานสองความถี่ โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ พารามิเตอร์ D_{1d} มีค่า 24.80 เซนติเมตร พารามิเตอร์ H_{1d} มีค่า 71 เซนติเมตร พารามิเตอร์ D_{2d} มีค่า 11.30 เซนติเมตร และ พารามิเตอร์ H_{2d} มีค่า 23.20 เซนติเมตร จากการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ดังกล่าว $|S_{11}|$ เท่ากับ -20 dB ที่ความถี่ 150 MHz และ $|S_{11}|$ เท่ากับ -14 dB ที่ความถี่ 400 MHz สำหรับขนาดของพารามิเตอร์สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ จะนำไปใช้ในการจำลองเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศในบทที่ 4 ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองโครงสร้างสายอากาศ

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะแสดงผลการจำลองสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ โดยมีความถี่กลาง (Center frequency) ที่ใช้งานคือ 150 MHz และ 400 MHz ตามลำดับ สำหรับขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศนั้นได้มีการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศเพื่อหาขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดทั้งสองแถบความถี่แล้วในบทที่ 3 ดังนั้นในบทที่ 4 จะนำขนาดของพารามิเตอร์ดังกล่าวมาทำการจำลองโครงสร้างของสายอากาศ ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศต่อไป

โดยคุณสมบัติของสายอากาศที่ทำการจำลองนั้น คือ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) อัตราส่วนแกน (Axial ratio) การโพลาไรซ์ (Polarization) และอัตราขยาย (Gain) ที่ตอบสนองต่อแถบความถี่ที่ต้องการ ซึ่งในการศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศที่เหมาะสมนั้น จะถูกนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ต้นแบบต่อไป โดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของสายอากาศที่ทำการจำลอง

ความถี่กลาง	150 MHz และ 400 MHz
$ S_{11} $	ต่ำกว่า -10 dB
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	ครึ่งทรงกลม
อัตราส่วนแกน	ต่ำกว่า 3 dB
การโพลาไรซ์	วงกลม

ในการศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศ ที่เหมาะสมกับสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่นั้น ในขั้นแรกเป็นการจำลองสายอากาศเกลียวสองแขนที่ทำงานเพียงแถบความถี่เดียวเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของสายอากาศดังกล่าว ขั้นตอนต่อมาเป็นการจำลองสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ที่เกิดจากการรวมของสายอากาศเกลียวสองแขน ที่ทำงานคนละความถี่และตรวจสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

4.2 การจำลองโครงสร้างของสายอากาศ

ในหัวข้อนี้เป็นการจำลองโครงสร้างของสายอากาศ โดยขนาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้น ได้มาจากการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศในบทที่ 3 ซึ่งขนาดของพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการจำลองเป็นขนาดที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดความถี่ที่ใช้งาน

4.2.1 การจำลองโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขนแถบความถี่เดียว

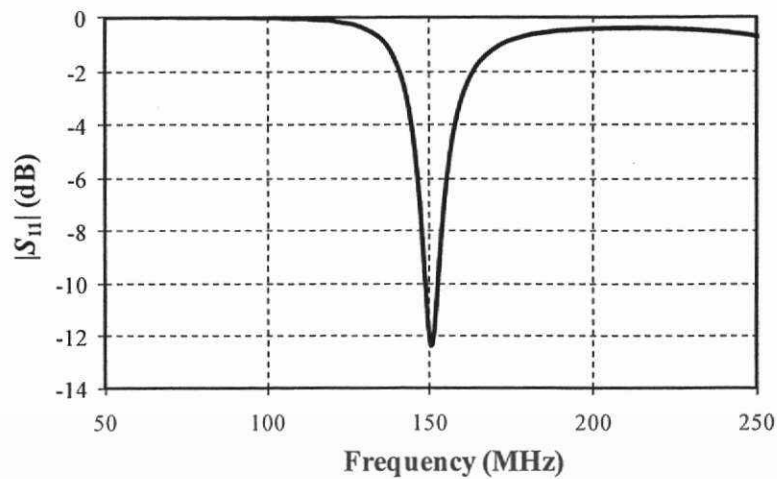
4.2.1.1 สายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

ในการจำลองโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz ซึ่งมีขนาดของพารามิเตอร์และโครงสร้างของสายอากาศดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศและโครงสร้างสายอากาศที่ความถี่ 150 MHz

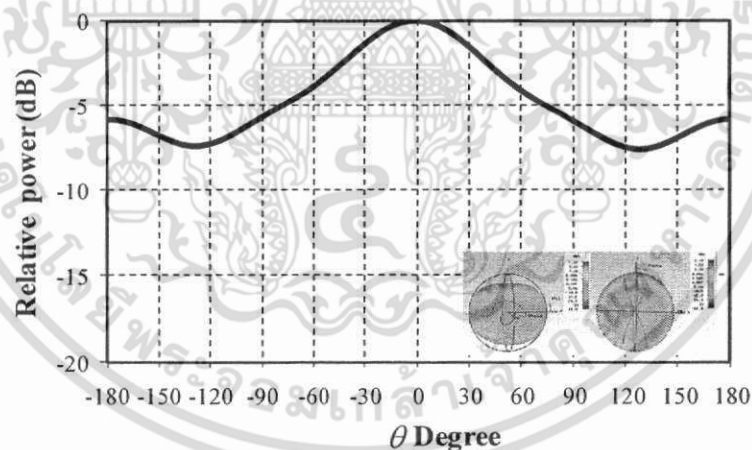
พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางกายภาพ (cm)	โครงสร้างสายอากาศ
D_{1d}	24.80	
H_{1d}	71	
W_{1d}	0.80	
N_1	0.50 รอบ	
มุมของสายอากาศ	180 องศา	

เมื่อทำการจำลองโครงสร้างของสายอากาศให้มีขนาดของพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.2 สามารถจำลองคุณสมบัติของสายอากาศสองแขนที่ความถี่ 150 MHz โดยแสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ในรูปที่ 4.1



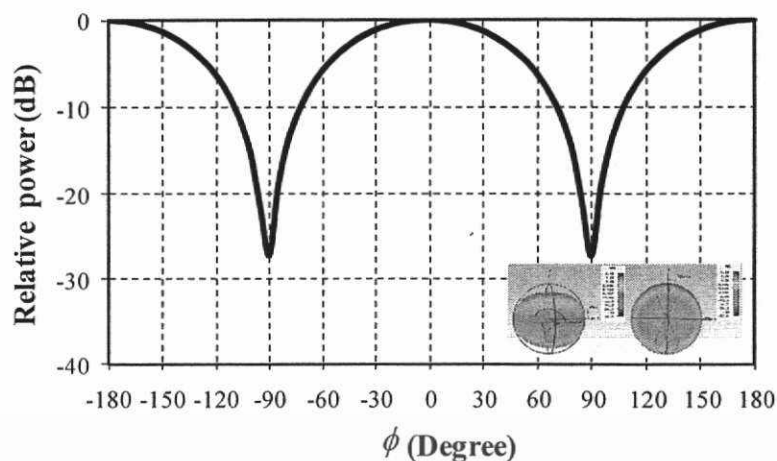
รูปที่ 4.1 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

จากผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศสองแขนที่ความถี่ 150 MHz นั้นสายอากาศดังกล่าวสามารถทำงานที่ความถี่ 150 MHz โดยมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -12 dB โดยสายอากาศมีช่วงกว้างแถบความถี่ 4 MHz โดยครอบคลุมความถี่ 149 MHz ถึง 153 MHz สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (*E*-plane) และ ระนาบสนามแม่เหล็ก (*H*-plane) ได้แสดงรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



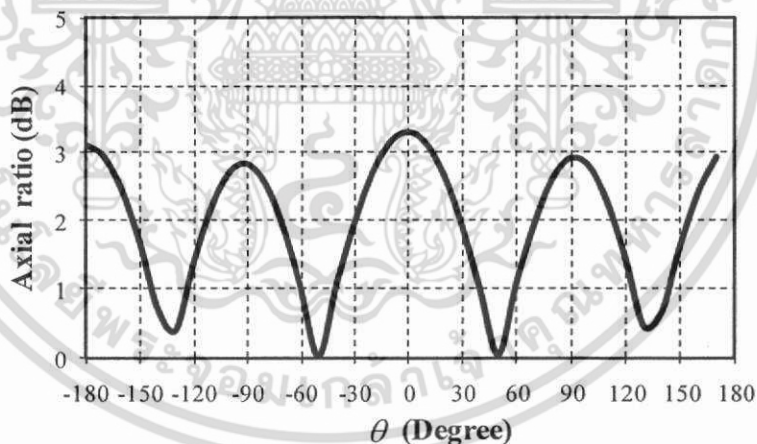
รูปที่ 4.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

จากรูปที่ 4.2 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวสองแขน ในระนาบสนามไฟฟ้า โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลมมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 258 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 100 องศา



รูปที่ 4.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

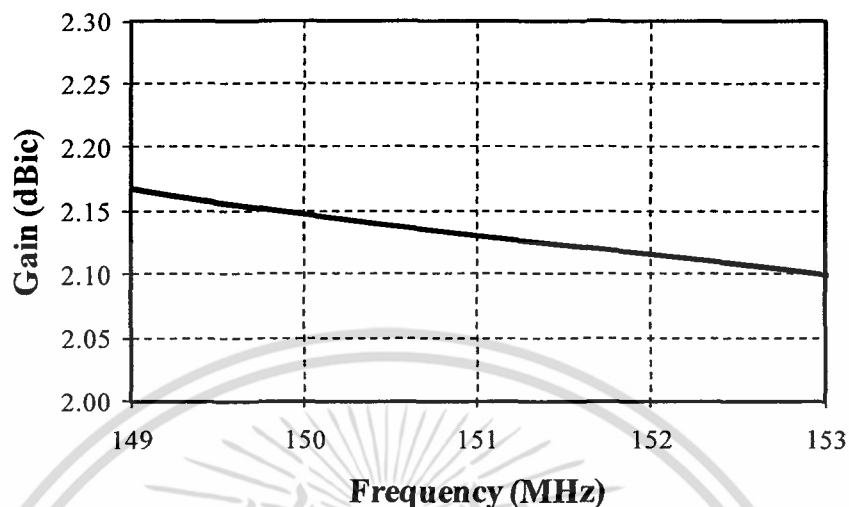
จากรูปที่ 4.3 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวสองแขนในระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 104 องศา จากนั้นได้ทำการศึกษาอัตราส่วนแกนของสายอากาศ ซึ่งจะมีค่าที่ต่ำกว่า 3 dB ถึงจะให้การโพลาไรซ์วงกลม โดยแสดงผลของอัตราส่วนแกนในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่ความถี่ 150 MHz ที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลัก โดยมีอัตราส่วนแกน 3.4 dB สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศในมุม 20 องศา ถึง มุม 180 องศา และ มุม -20 องศา ถึง มุม -180 องศา มีอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า 3 dB ซึ่งอัตราส่วนแกนดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการโพลาไรซ์วงกลม สำหรับผลการจำลอง

อัตราขยายของสายอากาศเกลียวสองแขน โดยทำการพิจารณาอัตราขยายที่มุม 0 โดยแสดงกราฟของอัตราขยายในแบนด์วิดท์ที่สายอากาศทำงานในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 อัตราขยายของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

จากรูปที่ 4.5 พบว่าอัตราขยายที่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.17 dBic ซึ่งอยู่ที่ความถี่ 149 MHz ที่ความถี่ 150 MHz นั้นพบว่าอัตราขยายมีค่าเท่ากับ 2.14 dBic และช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ (149 MHz ถึง 153 MHz) มีอัตราขยายที่อยู่ในช่วง 2.10 dBic ถึง 2.17 dBic ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขน ที่ความถี่ 150 MHz ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz

คุณสมบัติของสายอากาศ	ผลการจำลอง
ความถี่ที่ออกแบบ	150 MHz
$ S_{11} $	-12 dB
ช่วงกว้างแถบความถี่	4 MHz
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	ครึ่งทรงกลม
ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์กลางในระนาบสนามไฟฟ้า	258°

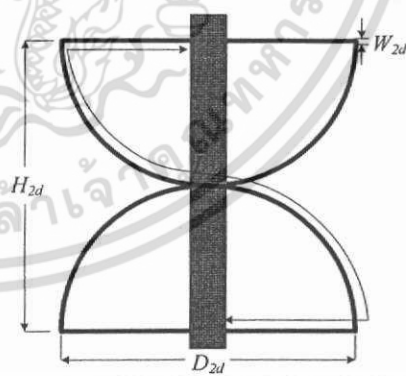
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz (ต่อ)

คุณสมบัติของสายอากาศ	ผลการจำลอง
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้า	100°
ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์กลางในระนาบสนามแม่เหล็ก	180°
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก	104°
อัตราส่วนแกน	3.40 dB
อัตรายาย	2.14 dBic

4.2.1.2 สายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz

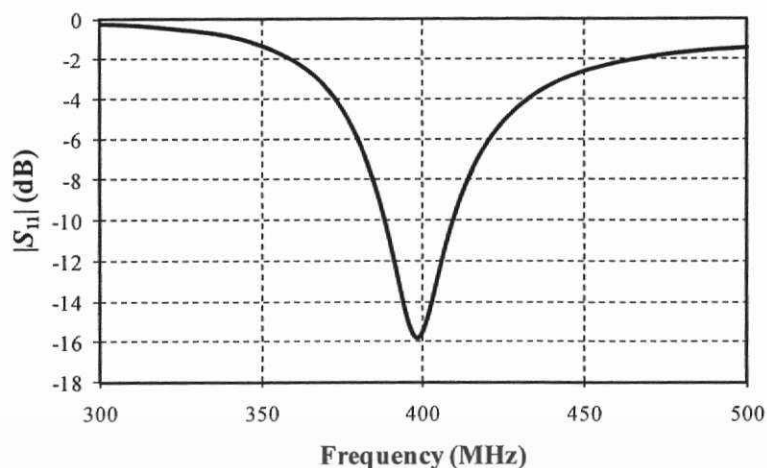
ในการจำลองโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz ซึ่งมีขนาดของพารามิเตอร์และโครงสร้างของสายอากาศดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศและโครงสร้างสายอากาศที่ความถี่ 400 MHz

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางกายภาพ (cm)	โครงสร้างสายอากาศ
D_{2d}	12.90	
H_{2d}	17.85	
W_{2d}	0.80	
N_2	0.50 รอบ	
มุมของสายอากาศ	180 องศา	

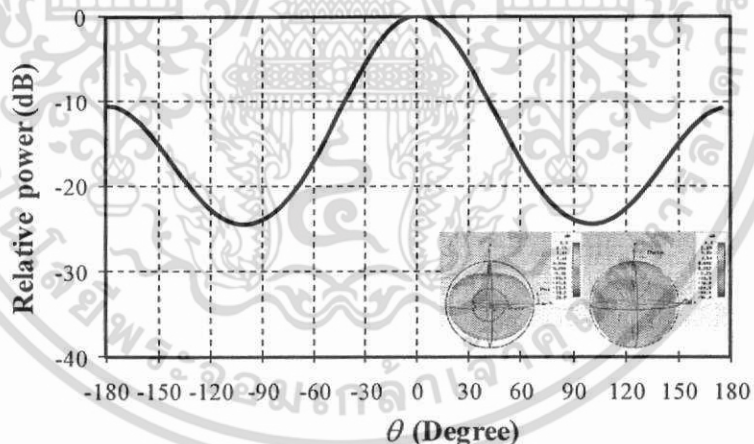
เมื่อทำการจำลองโครงสร้างของสายอากาศให้มีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.4 สามารถจำลองคุณสมบัติของสายอากาศสองแขนที่ความถี่ 400 MHz โดยแสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



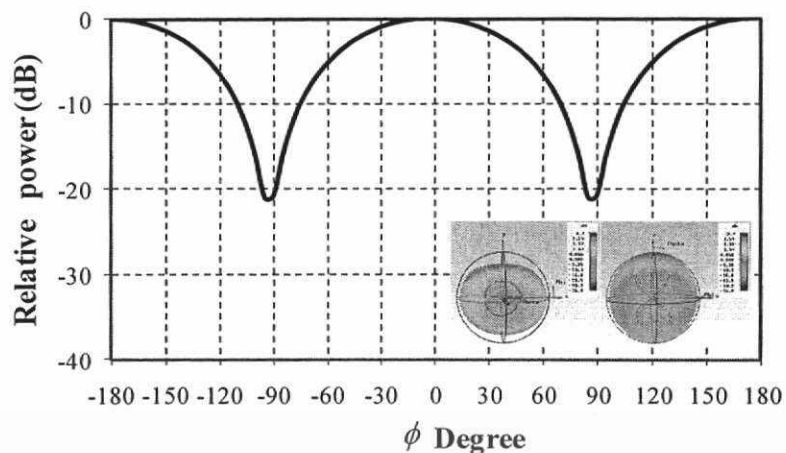
รูปที่ 4.6 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz

จากผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศสองแขนที่ความถี่ 400 MHz นั้นสายอากาศดังกล่าวสามารถทำงานที่ความถี่ 400 MHz โดยมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -16 dB โดยสายอากาศมีช่วงกว้างแถบความถี่ 22 MHz ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 388 MHz ถึง 410 MHz สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าและ ระนาบสนามแม่เหล็กได้แสดงรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



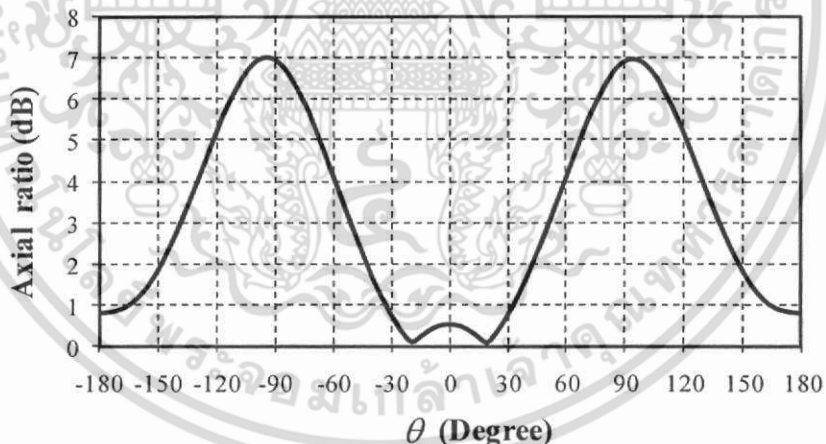
รูปที่ 4.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเกลียวสองแขนสำหรับความถี่ 400 MHz

จากรูปที่ 4.7 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวสองแขนในระนาบสนามไฟฟ้า โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลมมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 200 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 40 องศา



รูปที่ 4.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก
ของสายอากาศเกลียวสองแกนที่ความถี่ 400 MHz

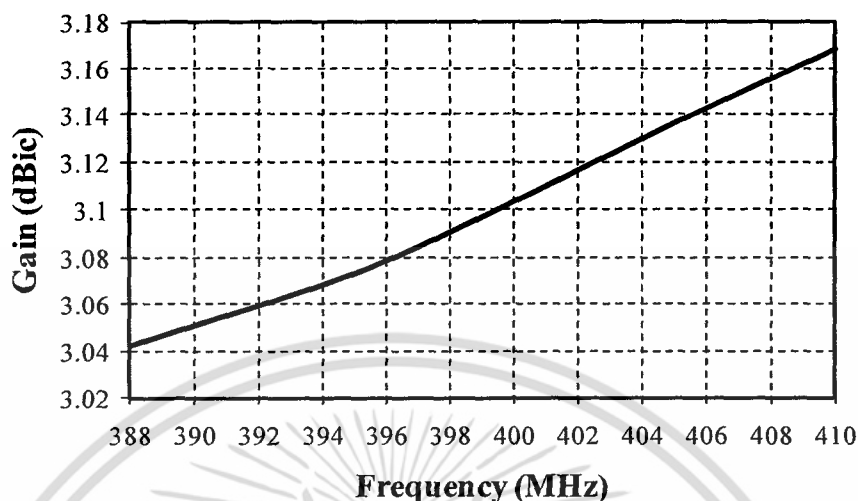
จากรูปที่ 4.8 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวสองแกน ในระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์กลางครั้งแรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 90.6 องศา จากนั้นได้ทำการศึกษาอัตราส่วนแกนของสายอากาศ ซึ่งจะต้องมีค่าที่ต่ำกว่า 3 dB ถึงจะให้การโพลาริซิงกลม โดยแสดงผลของอัตราส่วนแกนในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 อัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสองแกนที่ความถี่ 400 MHz

สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่ความถี่ 400 MHz ที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลักมีอัตราส่วนแกน 0.53 dB สำหรับอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า 3 dB มีความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน 100 องศา โดยครอบคลุมตั้งแต่มุม -50 องศา ถึง มุม 50 องศา ซึ่งอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า 3 dB จะทำให้เกิดการโพลาริซิงกลม สำหรับผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ

เกลียวสองแขนโดยทำการพิจารณาอัตราขยายที่มุม 0 โดยแสดงกราฟของอัตราขยายในแบนด์วิดท์ที่สายอากาศทำงานในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 อัตราขยายของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz

จากรูปที่ 4.10 พบว่าอัตราขยายที่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.17 dBic ซึ่งอยู่ที่ความถี่ 410 MHz สำหรับความถี่ 400 MHz นั้นพบว่าอัตราขยายมีค่าเท่ากับ 3.10 dBic และช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ (388 MHz ถึง 410 MHz) มีอัตราขยายที่อยู่ในช่วง 3.04 dBic ถึง 3.17 dBic ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขนสำหรับความถี่ 400 MHz ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz

คุณสมบัติของสายอากาศ	ผลการจำลอง
ความถี่ที่ออกแบบ	400 MHz
$ S_{11} $	-16 dB
ช่วงกว้างแถบความถี่	22 MHz
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	ครึ่งทรงกลม
ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้า	200°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz (ต่อ)

คุณสมบัติของสายอากาศ	ผลการจำลอง
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้า	40°
ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็ก	180°
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก	90.60°
อัตราส่วนแกน	0.53 dB
อัตราขยาย	3.10 dBic

4.2.2 การจำลองโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

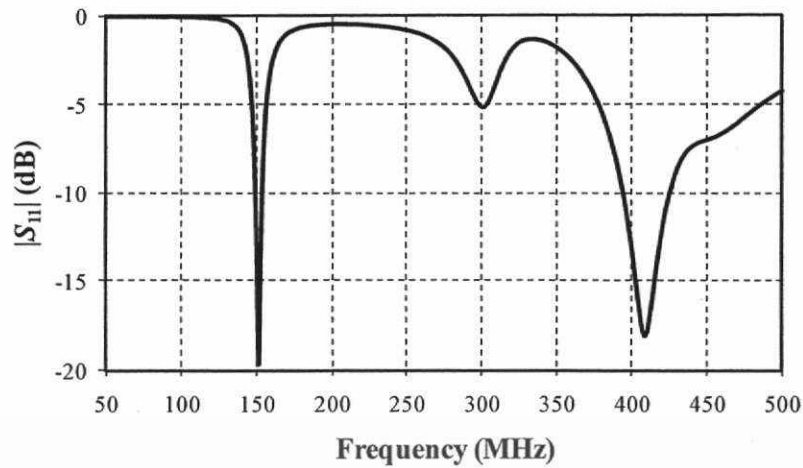
สำหรับการจำลองโครงสร้างสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ โครงสร้างดังกล่าวเกิดจากการรวม สายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 150 MHz และสายอากาศเกลียวสองแขนที่ความถี่ 400 MHz เพื่อที่จะทำให้สายอากาศสามารถทำงานได้สองแถบความถี่ แต่เมื่อนำสายอากาศทั้งสองมารวมกันนั้น สายอากาศไม่สามารถทำงานได้สองแถบความถี่ จึงได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อสายอากาศ ที่จะทำให้สายอากาศสามารถทำงานได้ทั้งสองแถบความถี่ จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน จากการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศในบทที่ 3 สามารถสรุปได้ว่าค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อสายอากาศเกลียวสี่แขน ที่ทำงานได้สองแถบความถี่ตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ของสายอากาศและโครงสร้างสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางกายภาพ (cm)	โครงสร้างสายอากาศ
D_{1d}	24.80	
H_{1d}	71	
W_{1d}	0.80	
N_1	0.50 รอบ	
มุมของสายอากาศ	180 องศา	
D_{2d}	11.30	
H_{2d}	23.20	
W_{2d}	0.80	
N_2	0.50 รอบ	
มุมของสายอากาศ	180 องศา	

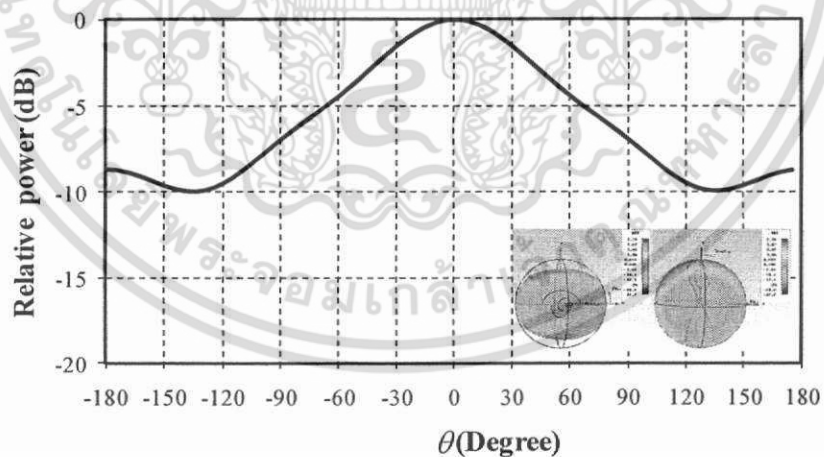
จากค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่จกตารางที่ 4.6 ได้ถูกนำไปจำลองเพื่อหาคุณสมบัติของสายอากาศต่อไป ซึ่งจากการจำลองโครงสร้างของสายอากาศดังกล่าว สายอากาศมี $|S_{11}|$ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

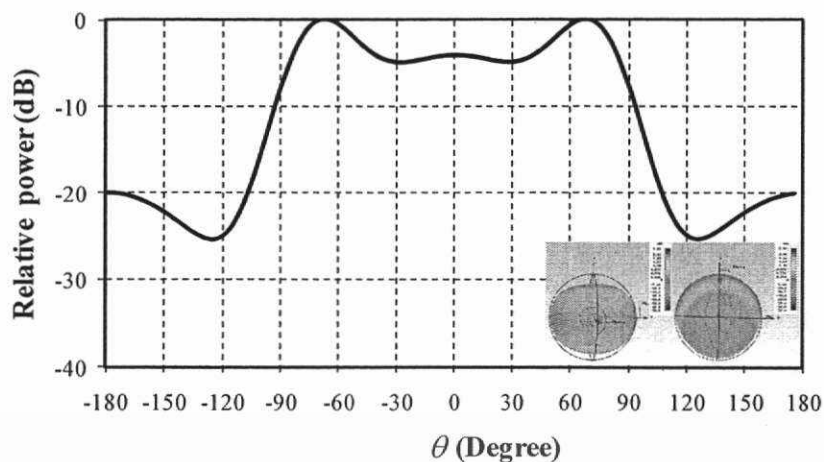
จากรูปที่ 4.11 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศสองแขนของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ คือความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ที่ความถี่ 150 MHz มี $|S_{11}|$ เท่ากับ -19 dB โดยสายอากาศมีช่วงกว้างแถบความถี่ 5 MHz โดยครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 149 MHz ถึง 154 MHz ที่ความถี่ 400 MHz นั้นสายอากาศมี $|S_{11}|$ -14 dB ช่วงกว้างแถบความถี่ 33 MHz โดยครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 393 MHz ถึง 426 MHz ต่อไปเป็นผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้าในรูปที่ 4.12 และระนาบสนามแม่เหล็ก ในรูปที่ 4.13



(ก) ความถี่ 150 MHz

รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

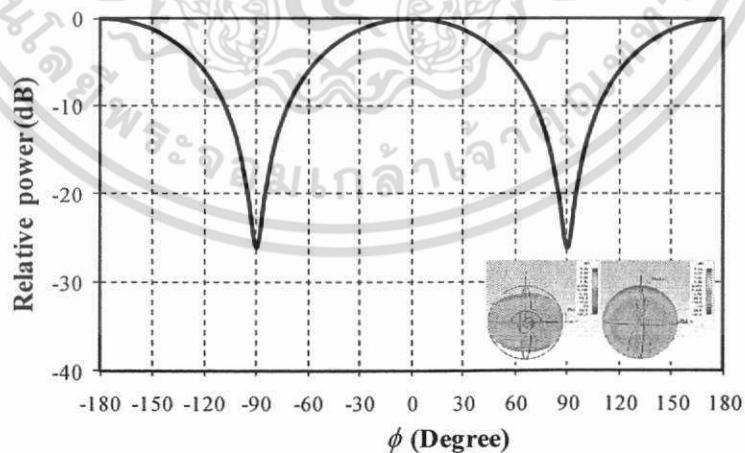
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความถี่ 400 MHz

รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า
ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ (ต่อ)

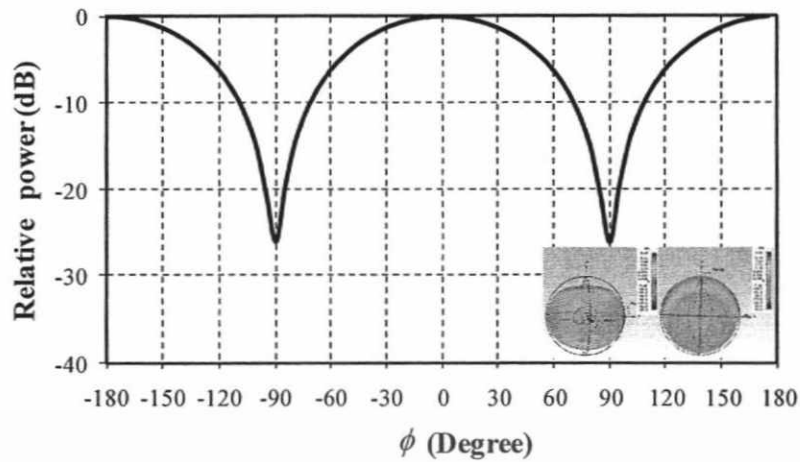
จากรูปที่ 4.12 (ก) แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 150 MHz มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลม โดยมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 250 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 90 องศา สำหรับรูปที่ 4.12 (ข) แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ความถี่ 400 MHz ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลมมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 250 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 95 องศา



(ก) ความถี่ 150 MHz

รูปที่ 4.13 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก
ของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

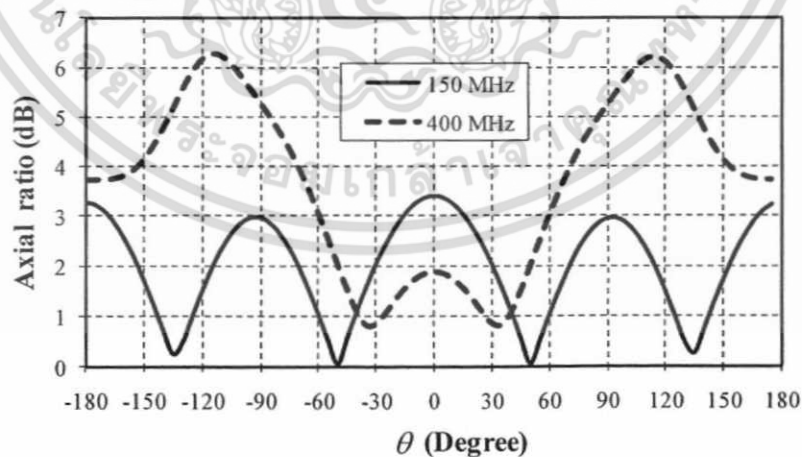
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความถี่ 400MHz

รูปที่ 4.13 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ (ต่อ)

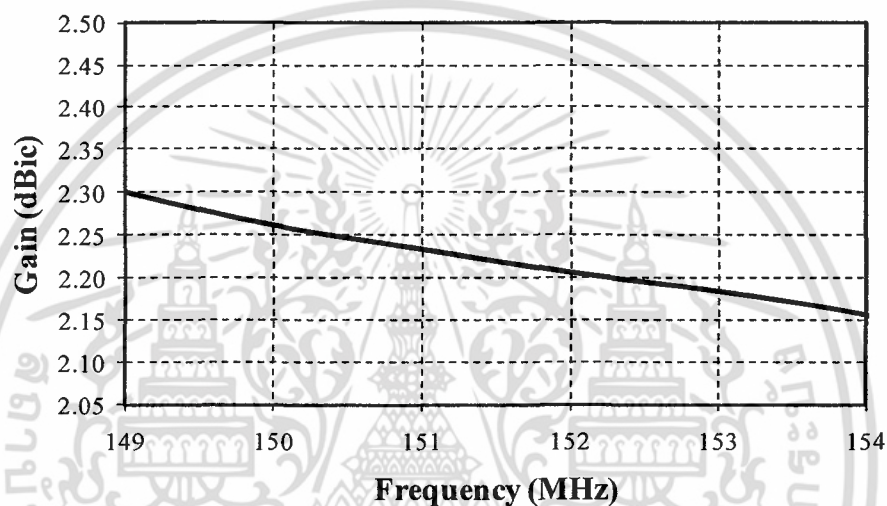
สำหรับรูปที่ 4.13 (ก) แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 150 MHz ซึ่งมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 90.1 องศา สำหรับรูปที่ 4.12 (ข) แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 400 MHz ซึ่งมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 87.9 องศา จากนั้นได้ศึกษาอัตราส่วนแกนของสายอากาศ ซึ่งจะต้องมีค่าที่ต่ำกว่า 3 dB ถึงจะให้การโพลาริเซชันวงกลม โดยแสดงผลของอัตราส่วนแกนในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 อัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

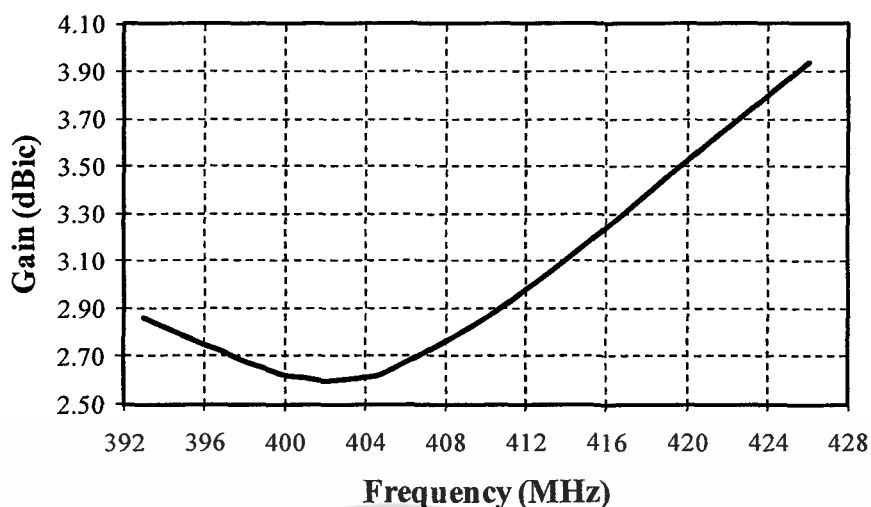
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่ความถี่ 150 MHz ที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลัก มีอัตราส่วนแกน 3.4 dB สำหรับอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า 3 dB ของสายอากาศ คือ มุม -167.8 องศา ถึง มุม 15 องศา และ มุม 15 องศา ถึง มุม 167.8 องศา สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่ความถี่ 400 MHz ที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลัก มีอัตราส่วนแกน 1.98 dB และมีความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน 118 องศา โดยครอบคลุมตั้งแต่มุม -59 องศา ถึง มุม 59 องศา ซึ่งมีอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า 3 dB และทำให้เกิดการโพลาไรซ์วงกลม สำหรับผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ได้พิจารณาอัตราขยายที่มุม 0 โดยแสดงกราฟของอัตราขยายในแบนด์วิดท์ที่สายอากาศทำงานในรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 อัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 150 MHz

สำหรับอัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 150 MHz จากรูปที่ 4.15 พบว่าอัตราขยายความถี่ 150 MHz มีค่า 2.26 dBic และมีอัตราสูงที่สุดเท่ากับ 2.30 dBic ซึ่งอยู่ที่ความถี่ 149 MHz และช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ (149 MHz ถึง 154 MHz) มีอัตราขยายที่อยู่ในช่วง 2.16 dBic ถึง 2.30 dBic ต่อไปเป็นผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 400 MHz



รูปที่ 4.16 อัตราขยายของของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 400 MHz

สำหรับอัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ความถี่ 400 MHz จากรูปที่ 4.16 พบว่าอัตราขยายความถี่ 400 MHz มีค่า 2.52 dBic และมีอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 3.94 dBic ซึ่งอยู่ที่ความถี่ 426 MHz และช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ (393 MHz ถึง 426 MHz) มีอัตราขยายที่อยู่ในช่วง 2.86 dBic ถึง 3.94 dBic จากการจำลองผลคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ สามารถสรุปคุณสมบัติของสายอากาศดังกล่าวดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

คุณสมบัติของสายอากาศ	ผลการจำลอง	
ความถี่ที่ออกแบบ	150 MHz	400 MHz
$ S_{11} $	-19 dB	-14 dB
ช่วงกว้างแถบความถี่	5 MHz	33 MHz
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	ครึ่งทรงกลม	ครึ่งทรงกลม
ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้า	250°	250°
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้า	90°	95°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ (ต่อ)

คุณสมบัติของสายอากาศ	ผลการจำลอง	
ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์กลางในระนาบสนามแม่เหล็ก	180°	180°
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง ในระนาบสนามแม่เหล็ก	90.10°	87.90°
อัตราส่วน	3.40 dB	1.98 dB
อัตรายาย	2.26 dBic	2.52 dBic

จากตารางที่ 4.7 เป็นตารางสรุปคุณสมบัติของสายอากาศสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ได้มาจากการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ซึ่งจะนำไปสร้างเป็นสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่และทดสอบคุณสมบัติจริงของสายอากาศในบทต่อไป

4.3 สรุป

ในบทนี้นำเสนอการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ ซึ่งการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างสายอากาศที่จะนำไปใช้งานจริง สำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่ได้ทำการจำลอง ได้แก่ $|S_{11}|$ ซึ่งจะต้องมีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลม อัตราส่วนแกนของสายอากาศซึ่งจะต้องต่ำกว่า 3 dB เพื่อที่จะทำให้สายอากาศมีการโพลาไรซ์วงกลม และสุดท้ายคืออัตรายายของสายอากาศ ซึ่งในการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศนั้นได้เริ่มจากสายอากาศเกลียวสองแขนที่ทำงานที่แถบความถี่เดียวกัน คือ ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ต่อมาจึงได้นำโครงสร้างของสายอากาศทั้งสองชุดมาประกอบรวมกันจนกลายเป็นสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศทุกตัว ได้จากการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากในบทที่ 3 ดังนั้นในบทนี้จะนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศเกลียวสองแขน และสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ มาเป็นพารามิเตอร์ต้นแบบในการวิเคราะห์ผลการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสองแขนความถี่ 150 MHz สายอากาศดังกล่าวมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -12 dB โดยสายอากาศมีช่วงกว้างแถบความถี่ 4 MHz ซึ่งสายอากาศนั้นมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลมโดยมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์กลาง 258 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 100 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์กลาง 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104 องศา สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศนั้นที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลัก มีอัตราส่วนแกน 3.40 dB และสายอากาศในมุม -180 องศา ถึงมุม -20 องศา และ มุม 20 องศา ถึง มุม 180 องศา มีอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า 3 dB ซึ่งอัตราส่วนแกนดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการโพลาไรซ์วงกลม สำหรับอัตราขยายของสายอากาศที่มุม 0 องศาที่ความถี่ 150 MHz มีค่าเท่ากับ 2.14 dBic สำหรับสายอากาศเกลียวสองแขนความถี่ 400 MHz สายอากาศดังกล่าวมี $|S_{11}|$ ที่ -16 dB โดยสายอากาศมีช่วงกว้างแถบความถี่ 22 MHz ซึ่งสายอากาศนั้นมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลมโดยมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 200 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 40 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 90.60 องศา สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศนั้นที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลักมีอัตราส่วนแกน 0.53 dB และ สายอากาศในมุม -50 องศา ถึงมุม 50 องศา มีอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB ซึ่งอัตราส่วนแกนดังกล่าวทำให้เกิดการโพลาไรซ์วงกลม สำหรับอัตราขยายของสายอากาศที่มุม 0 องศา ที่ความถี่ 400 MHz มีค่าเท่ากับ 3.10 dBic สำหรับเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ โดยมีความถี่กลางของทั้งสองแถบความถี่คือ 150 MHz และ 400 MHz สำหรับความถี่ 150 MHz มี $|S_{11}|$ ที่ -19 dB โดยสายอากาศมีช่วงกว้างแถบความถี่ 5 MHz ซึ่งสายอากาศนั้นมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลม โดยมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 250 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 90 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 90.10 องศา สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศนั้นที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลัก มีอัตราส่วนแกน 3.40 dB และสายอากาศในมุม -167 องศา ถึงมุม -15 องศา และ มุม 15 องศา ถึง มุม 167 องศา ที่มีอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB ซึ่งอัตราส่วนแกนดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการโพลาไรซ์วงกลม สำหรับอัตราขยายของสายอากาศที่มุม 0 องศาของความถี่ 150 MHz มีค่าเท่ากับ 2.26 dBic สำหรับความถี่ 400 MHz มี $|S_{11}|$ ที่ -14 dB โดยสายอากาศมีช่วงกว้างแถบความถี่ 33 MHz ซึ่งสายอากาศนั้นมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลมโดยมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 250 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 95 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้า และในระนาบสนามแม่เหล็กมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 87.90 องศา สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศนั้นที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลักมีอัตราส่วนแกน 1.98 dB โดยมีมุม -59 องศา ถึงมุม 59 องศา ที่มีอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB ซึ่งอัตราส่วนแกนดังกล่าวทำให้เกิดการโพลาไรซ์วงกลม สำหรับอัตราขยายของสายอากาศที่มุม 0 องศาของความถี่ 400 MHz มีค่า 2.52 dBic ซึ่งในบทที่ 5 จะเป็นการนำเสนอสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ที่ได้จากการจำลองไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ พร้อมทั้งทำการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง และการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงสำหรับสายอากาศเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

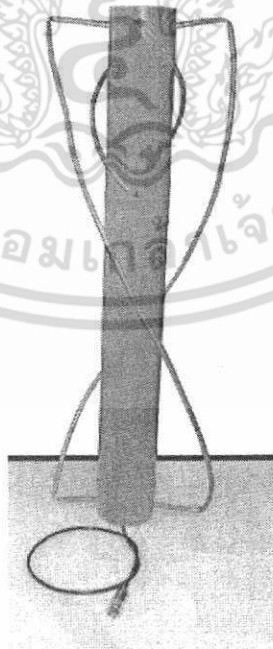
ผลการทดสอบและการประยุกต์ใช้งาน

5.1 กล่าวนำ

สำหรับในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบและผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ สำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ ซึ่งจะพิจารณาถึงผลของ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราส่วนแกน และอัตราขยายของสายอากาศ โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองซึ่งได้นำเสนอไว้แล้วในบทที่ 4 เพื่อยืนยันความถูกต้องของคุณสมบัติสายอากาศ ในส่วนของรายละเอียดต่างๆจะได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

5.2 การสร้างสายอากาศ

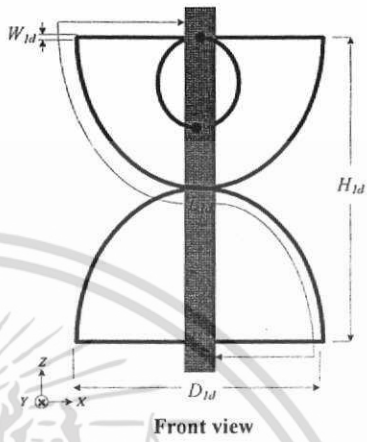
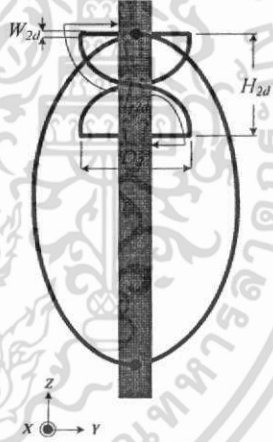
ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอต้นแบบสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ โดยสายอากาศที่ได้นำเสนอนี้วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบเป็นท่อทองแดงกลวงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร เนื่องจากสามารถนำมาตัดโค้งได้ง่ายและสามารถทำการเชื่อมต่อได้ง่าย ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 ส่วนค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ขนาดทางกายภาพที่ใช้สร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางกายภาพ (cm)	โครงสร้างสายอากาศ
D_{1d}	24.80	 <p>Front view</p>
H_{1d}	71	
W_{1d}	0.80	
N_1	0.50 รอบ	
มุมของสายอากาศ	180 องศา	
D_{2d}	11.30	
H_{2d}	23.20	 <p>Side view</p>
W_{2d}	0.80	
N_2	0.50 รอบ	
มุมของสายอากาศ	180 องศา	

5.3 การทดสอบสายอากาศและผลการทดสอบ

ก่อนที่จะทำการทดสอบสายอากาศได้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบขึ้นมา เพื่อที่จะนำสายอากาศต้นแบบนี้มาทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ เช่น ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราส่วนแกน และอัตราขยายเพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลจำลองที่ได้กล่าวมาในบทที่ 4 ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่นำมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ แสดงในรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่ มีดังต่อไปนี้

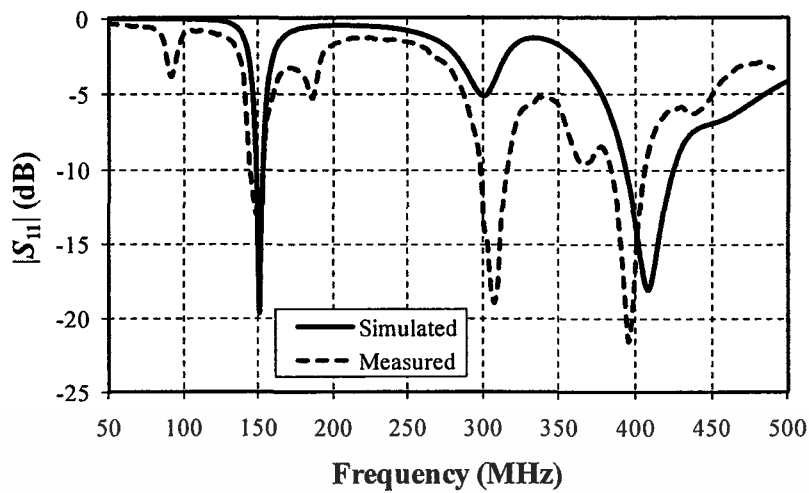
1. ห้องไร้การสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave anechoic chamber)
2. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP รุ่น 8530A
3. สายนำสัญญาณอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

5.3.1 การทดสอบและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่เพื่อหา $|S_{11}|$ โดยนำสายอากาศที่จะทำการทดสอบผลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP รุ่น 8530A ซึ่งแสดงวิธีการทดสอบดังรูปที่ 5.2 และแสดงผลการทดสอบได้ในรูปที่ 5.3



จากรูปที่ 5.2 ได้นำสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่ต่อเข้ากับพอร์ต 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP รุ่น 8530A ซึ่งจะให้ผล $|S_{11}|$ ได้ดังรูปที่ 5.3



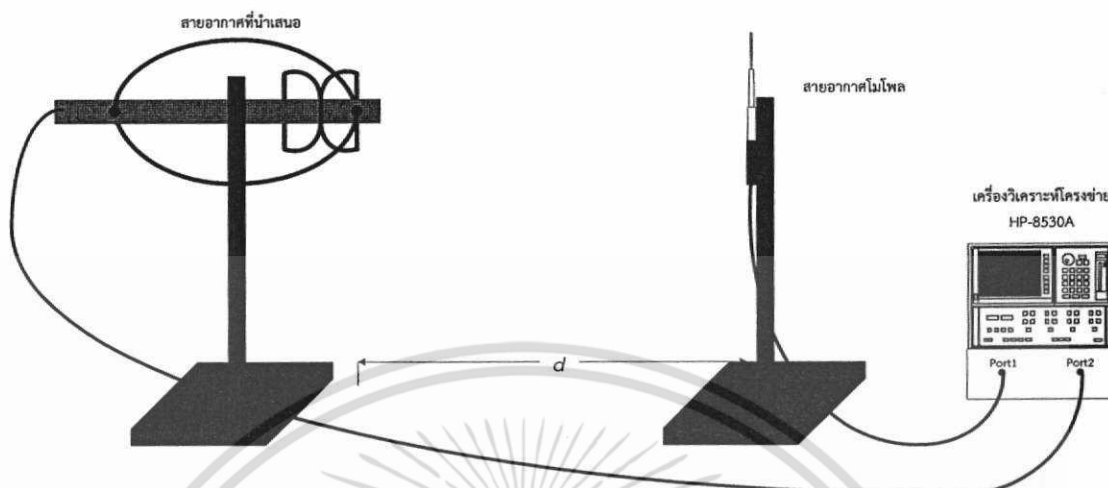
รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบ

จากรูปที่ 5.3 พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบกับการจำลองมีความสอดคล้องกัน แต่ก็มีค่าที่คลาดเคลื่อนไปบ้าง ซึ่งผลของ $|S_{11}|$ ที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz นั้น $|S_{11}|$ เท่ากับ -13 dB ซึ่งมีช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ 8 MHz (145 MHz ถึง 153 MHz) และมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -17 dB ช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ 22 MHz (384 MHz ถึง 406 MHz) ตามลำดับ ในขณะที่ผลที่ได้จากการจำลอง $|S_{11}|$ มีค่า -19 dB และมีช่วงกว้างแถบความถี่ 5 MHz (149 MHz ถึง 154 MHz) ที่ความถี่ 150 MHz และมี $|S_{11}|$ มีค่า -14 dB และมีช่วงกว้างแถบความถี่ 33 MHz (393 MHz ถึง 426 MHz) ที่ความถี่ 400 MHz จากผลดังกล่าวพบว่าสายอากาศต้นแบบนี้มี $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 150 MHz ลดลงจากการจำลอง แต่มีช่วงกว้างแถบความถี่ที่ดีกว่าค่าที่ได้จากการจำลอง แต่ที่ความถี่ 400 MHz ของสายอากาศต้นแบบนี้มี $|S_{11}|$ ที่เพิ่มขึ้น และมีช่วงกว้างแถบความถี่ที่น้อยลง อาจเนื่องมาจากขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากการจำลองในบทที่ 4 รวมทั้งผลของวัสดุต่างๆที่นำมาใช้ในการสร้าง และการหมุนเกลียวสายอากาศไม่ได้มุมเท่ากับในการจำลอง จึงทำให้ผลของสายอากาศมีความคลาดเคลื่อนไปแต่อย่างไรก็ตาม $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบที่ความถี่กลางก็ยังคงมี $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB ดังนั้นสายอากาศจึงสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการได้

5.3.2 การทดสอบและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวสี่เหลี่ยมสองแถบความถี่

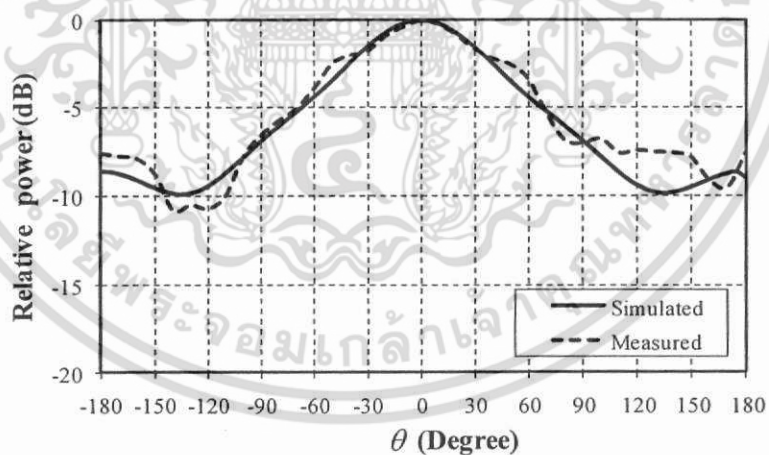
ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวสี่เหลี่ยมสองแถบความถี่ โดยใช้สายอากาศโมโนโพลเป็นสายอากาศส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และใช้สายอากาศเกลียวสองแถบความถี่ ทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวรับ โดยที่การทดสอบสายอากาศจะต้องทำภายในสนามระยะไกล เพราะฉะนั้นระยะห่าง (d) ระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $d \geq 2D^2 / \lambda_0$ โดยที่ D คือ ขนาดของสายอากาศที่มีความยาวที่สุดและ λ_0 คือ ความยาวคลื่นในสายอากาศโดยพิจารณาที่ความถี่ใช้งาน ดังนั้นจึงกำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศ

ตัวส่งและสายอากาศตัวรับมีค่าเท่ากับ 2.5 เมตร วิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 5.4



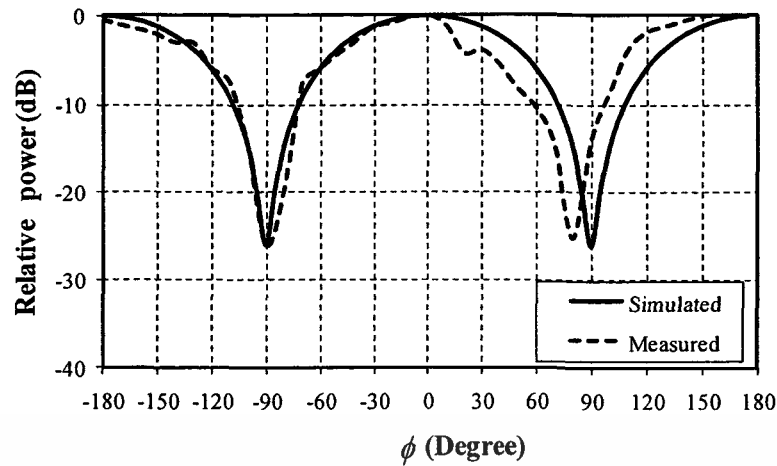
รูปที่ 5.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ

จากการทดสอบด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถให้ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ที่จะนำเสนอต่อไป



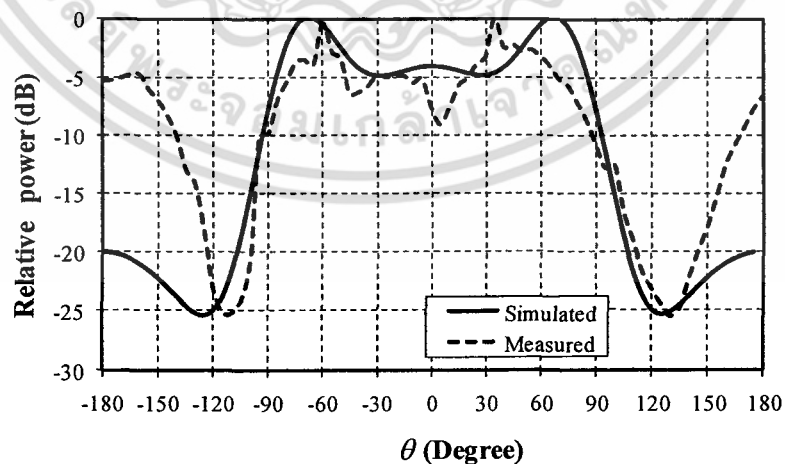
รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า ความถี่ 150 MHz ที่ได้จากการทดสอบกับการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

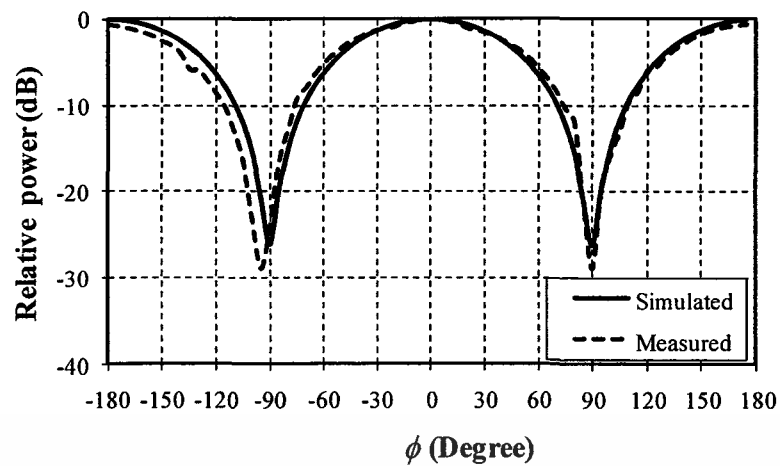


รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่ 150 MHz ที่ได้จากการทดสอบกับการจำลอง

จากรูปที่ 5.5 และ รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 150 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการผลการทดสอบกับผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 150 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า จากการทดสอบที่ระนาบสนามไฟฟ้า มีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 310 องศา (-140 องศา ถึง 170 องศา) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 100 องศา (-50 องศา ถึง 50 องศา) สำหรับผลการทดสอบในระนาบสนามแม่เหล็ก สายอากาศมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 170 องศา (-90 องศา ถึง 80 องศา) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 70 องศา (-40 องศา ถึง 30 องศา) ต่อไปเป็นการนำเสนอการเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 400 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กตามลำดับ



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า ความถี่ 400 MHz ที่ได้จากการทดสอบกับการจำลอง



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่ 400 MHz ที่ได้จากการทดสอบกับการจำลอง

จากการทดสอบสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 400 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า ในรูปที่ 5.7 มีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 245 องศา (-115 องศา ถึง 130 องศา) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 115 องศา (-55 องศา ถึง 60 องศา) และผลการทดสอบในระนาบสนามแม่เหล็ก สายอากาศในรูปที่ 5.8 มีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 185 องศา (-95 องศา ถึง 90 องศา) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 95 องศา (-50 องศา ถึง 45 องศา) จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีผลที่สอดคล้องกัน

5.3.3 การทดสอบและผลการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบ ความถี่

ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ในการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนแกนนั้นได้ใช้สายอากาศที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นซึ่งเป็นสายอากาศโมโนโพลซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่การทดสอบด้วยวิธีนี้จะใช้สายอากาศโมโนโพลวางในแนวตั้งกับแนวนอนแล้วหมุนสายอากาศสี่แขนสองแถบความถี่ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับหมุนจนครบ 360 องศา ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบนั้นสามารถนำมาหาอัตราส่วนแกนได้ดังสมการที่ 5.1 โดยกำหนดให้สายอากาศทั้งสองตัวมีระยะห่างในการส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับระยะห่างระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับเช่นเดียวกับการทดสอบหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ คือ มีระยะห่างเท่ากับ 2.5 เมตร

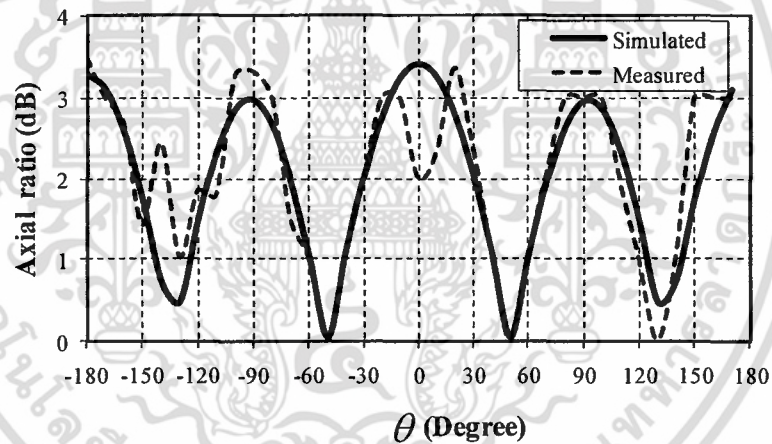
$$AR = \frac{\text{major axis}}{\text{minor axis}} = \frac{OA}{OB} \quad (5.1)$$

$$OA = \left[\frac{1}{2} \left\{ E_{x_0}^2 + E_{y_0}^2 + \left[E_{x_0}^4 + E_{y_0}^4 + 2E_{x_0}^2 E_{y_0}^2 \cos(2\Delta\phi) \right]^{1/2} \right\} \right]^{1/2} \quad (5.1ก)$$

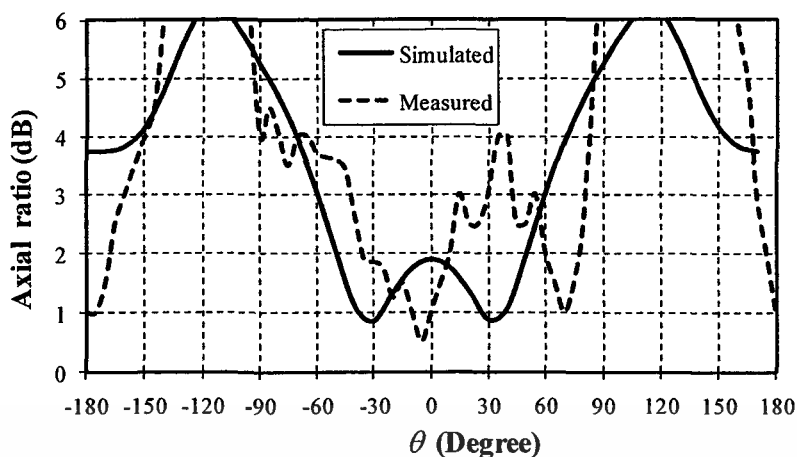
$$OB = \left[\frac{1}{2} \left\{ E_{x_0}^2 + E_{y_0}^2 + \left[E_{x_0}^4 + E_{y_0}^4 + 2E_{x_0}^2 E_{y_0}^2 \cos(2\Delta\phi) \right]^{1/2} \right\} \right]^{1/2} \quad (5.1ข)$$

โดยที่ E_{x_0} คือ ขนาดสูงสุดของสนามไฟฟ้าในแนวแกน x
 E_{y_0} คือ ขนาดสูงสุดของสนามไฟฟ้าในแนวแกน y

ต่อมาจึงได้นำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลของอัตราส่วนแกนของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลองโดยพิจารณาจากความถี่กลางของสายอากาศที่ใช้งาน (150 MHz และ 400 MHz) ซึ่งผลการเปรียบเทียบของอัตราส่วนแกนของสายอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.9 และ 5.10



รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบผลอัตราส่วนแกนของสายอากาศความถี่ 150 MHz
 ที่ได้จากผลการทดสอบกับผลการจำลอง



รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบผลอัตราส่วนแกนของสายอากาศความถี่ 400 MHz
ที่ได้จากผลการทดสอบกับผลการจำลอง

จากรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแกนระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลอง พบว่าอัตราส่วนแกนที่ได้มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับอัตราส่วนแกนที่ได้จากการจำลอง โดยอัตราส่วนแกนที่ได้จากการทดสอบที่มุม 0 องศาที่ความถี่ 150 MHz มีค่า 2 dB ซึ่งสำหรับช่วงกว้างของอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB อยู่ในช่วง -80 องศา ถึงมุม 20 องศา ส่วนอัตราส่วนแกนที่ความถี่ 400 MHz มีค่า 1 dB สำหรับช่วงกว้างของอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB อยู่ในมุม -40 องศา ถึงมุม 30 องศา และเมื่ออัตราส่วนแกนมีค่าที่ต่ำกว่า 3 dB จะทำให้สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ให้โพลาไรซ์วงกลมซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบนั้นยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ เนื่องจากสายอากาศด้านส่งที่ใช้เป็นสายอากาศโมโนโพลซึ่งให้การโพลาไรซ์เชิงเส้นเมื่อนำมาทดสอบกับสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์วงกลมอาจทำให้การรับสัญญาณมีความคลาดเคลื่อนได้

5.3.4 การทดสอบกับผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

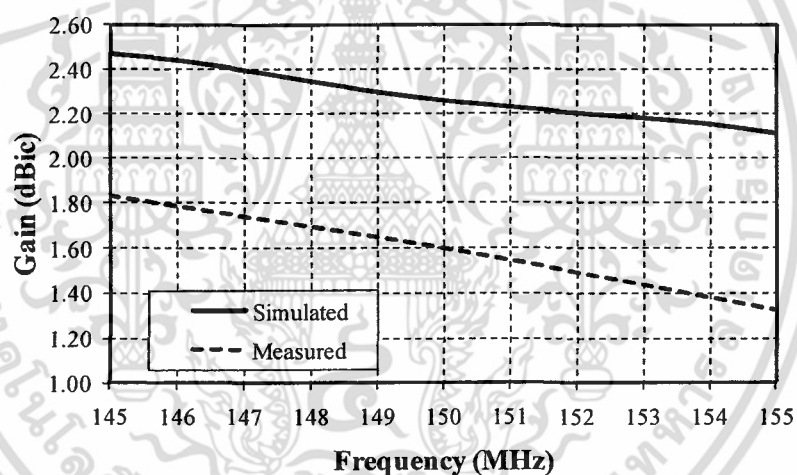
ในการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศนั้นได้ทำการทดลองเช่นเดียวกับการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยใช้สายอากาศโมโนโพลเป็นสายอากาศตัวส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งสายอากาศโมโนโพลนั้นมีอัตราขยาย 2.54 dB และสายอากาศตัวรับเป็นสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ซึ่งยังไม่ทราบอัตราขยายของสายอากาศ โดยสามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศได้ตามสมการที่ 5.2

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

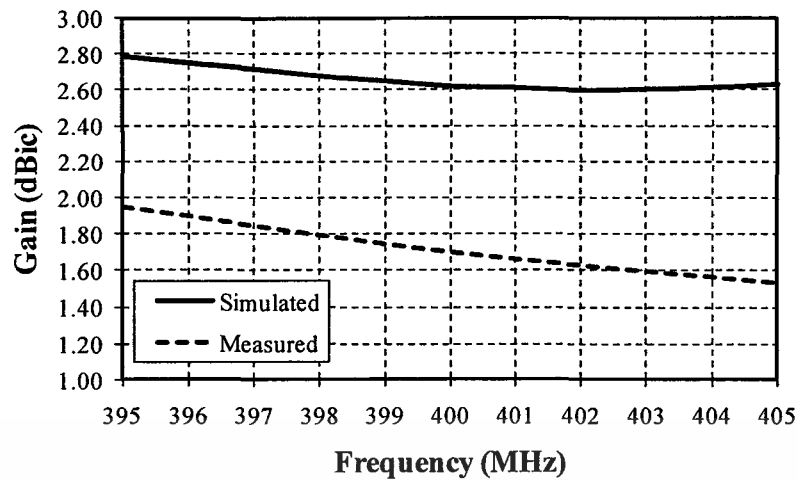
โดยที่

- G_{ot} คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง (dB)
 G_{or} คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวรับ (dB)
 R คือ ระยะห่างของสายอากาศทั้งสอง (เมตร)
 λ คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน (เมตร)
 P_t คือ กำลังภาคส่ง (W)
 P_r คือ กำลังงานภาครับ (W)

ต่อไปเป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศแบบเกลียวสี่แขนสองแถบ ความถี่ในย่านความถี่ที่ใช้งาน (145 MHz ถึง 155 MHz และ 395 MHz ถึง 405 MHz) ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบผลอัตราขยายของสายอากาศความถี่ 150 MHz ที่ได้จากการทดสอบกับผลการจำลอง



รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบผลอัตราขยายของสายอากาศความถี่ 400 MHz
ที่ได้จากผลการทดสอบกับผลการจำลอง

จากรูปที่ 5.11 และ รูปที่ 5.12 ได้แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ โดยผลที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 150 MHz มีอัตราขยาย 1.6 dBic และที่ความถี่ 400 MHz มีอัตราขยาย 1.7 dBic ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการจำลองกับการทดสอบมีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน แต่จะสังเกตเห็นว่าภายในช่วงความถี่ที่ใช้งานยังมีความคลาดเคลื่อนที่สูงพอสมควร กล่าวคือค่าอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบมีค่าที่ไม่เท่ากับผลที่ได้จากการจำลอง สาเหตุน่าจะเกิดมาจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบนั้น สายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่งสัญญาณมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น ส่งผลให้ค่าอัตราขยายจะลดลงไปครึ่งหนึ่งในขณะที่การจำลองผลค่าอัตราขยายไม่รวมผลกระทบต่างๆที่ส่งผลต่อสายอากาศ ดังนั้นจึงทำให้ผลของอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนไปจากอัตราขยายที่ได้จากการจำลอง

จากการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น สามารถสรุปการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ได้ดังตารางที่ 5.2

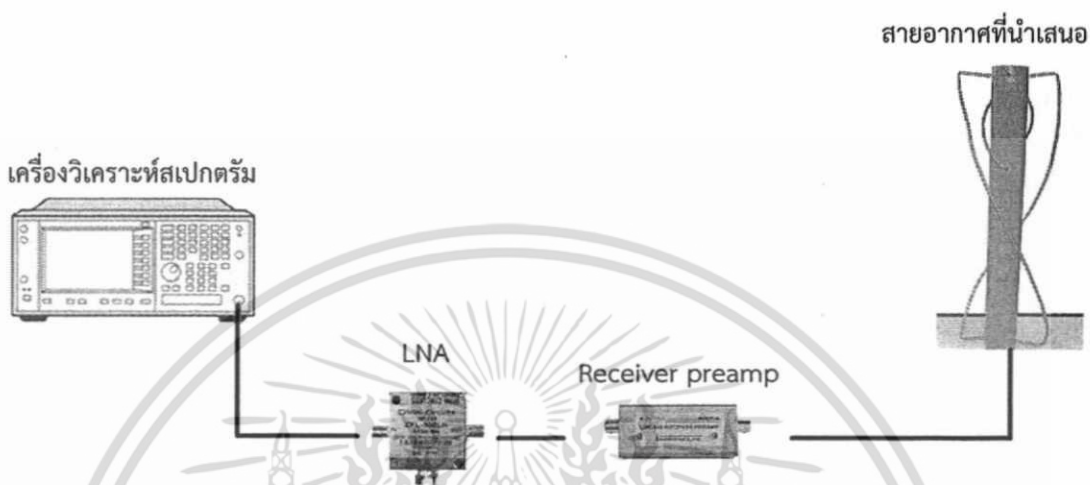
ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่

คุณสมบัติของสายอากาศ	ผลการทดสอบ	
	ความถี่	150 MHz
$ S_{11} $	-13 dB	-17 dB
ช่วงกว้างแถบความถี่	8 MHz (145 MHz ถึง 153 MHz)	22 MHz (384 MHz ถึง 406 MHz)
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	ครึ่งทรงกลม	ครึ่งทรงกลม
ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้า	310° (-140° ถึง 170°)	245° (-110° ถึง 130°)
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้า	100° (-50° ถึง 50°)	115° (-55° ถึง 60°)
ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็ก	170° (-90° ถึง 80°)	185° (-95° ถึง 90°)
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก	70° (-40° ถึง 30°)	95° (-50° ถึง 45°)
อัตราส่วนแกน	2 dB	1 dB
ความกว้างอัตราส่วนแกน	90° (-80° ถึง 10°)	70° (-40° ถึง 30°)
การโพลาไรซ์	วงกลม	วงกลม
อัตราขยาย	1.60 dBic	1.70 dBic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การประยุกต์ใช้งาน

ในหัวข้อนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่ โดยทำงานที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz สำหรับวิธีการทดสอบของสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่ สำหรับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำแสดงดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 วิธีการทดสอบการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่ ในการรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ

จากรูปที่ 5.13 ได้จำลองรูปแสดงการทดสอบขึ้น เนื่องจากในการทดสอบสถานที่จริงนั้นสายอากาศที่นำเสนอจะถูกติดตั้งบนชั้นดาดฟ้าตึก 12 ชั้นซึ่งจะอยู่ห่างจากเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมาดังนั้น สามารถอธิบายรายละเอียดวิธีการทดสอบสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่ สำหรับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำได้ดังนี้

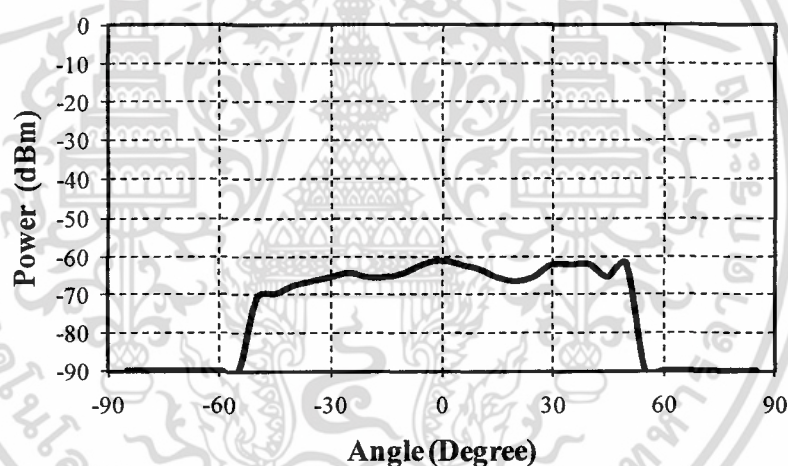
5.4.1 เริ่มจากการติดตั้งสายอากาศเกลียวสี่แกนสองแถบความถี่เข้ากับอินพุตของ Receiver preamp (LNK 146 -Receiver preamp ความถี่ 150 MHz และ LNK 450 -Receiver preamp ความถี่ 400 MHz) โดยทำการเชื่อมต่อกันด้วยสายนำสัญญาณโคแอกเซียล ซึ่ง Receiver preamp โดยมีหน้าที่ขยายสัญญาณทางภาครับของเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ

5.4.2 สัญญาณที่ถูกขยายจากทางภาครับของเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้นจะถูกเชื่อมต่อกับอินพุตของภาครับสัญญาณที่มีระดับของสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier หรือ LNA) เพื่อทำการขยายระดับสัญญาณให้มีความแรงขึ้น จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ส่งผ่านสายโคแอกเซียลที่เชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analyzer) เพื่อแสดงผลทางหน้าจอของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

5.4.3 สัญญาณที่รับได้จากดาวเทียมวงโคจรต่ำนั้น คือ สัญญาณบีคอนที่ส่งมาจากดาวเทียม Cosmos 2407 ซึ่งมีการแพร่กระจายสัญญาณในย่านความถี่สูงมาก โดยมีความถี่กลาง 149.97 MHz และในย่านความถี่สูงยิ่งซึ่งความถี่กลางของย่านความถี่ดังกล่าวคือ 399.92 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

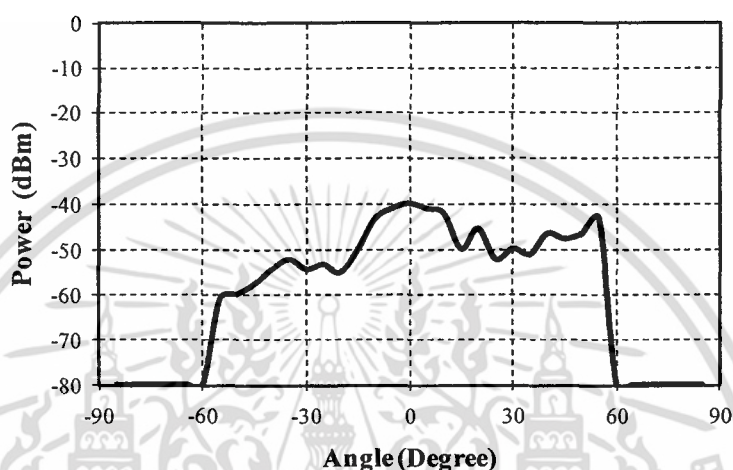
ซึ่งในการทดสอบด้วยวิธีการดังกล่าว ได้ผลการทดสอบการรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ Cosmos 2407 ที่มีการแพร่กระจายสัญญาณในย่านความถี่สูงมากโดยมีความถี่กลาง 149.97 MHz และในทดสอบนั้นหน้าจอของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมจะแสดงแถบความถี่กว้างตั้งแต่ 149.9525 MHz ถึง 149.9875 MHz ดังนั้นเมื่อดาวเทียม Cosmos 2407 เคลื่อนที่ผ่านสถานที่ทำการทดสอบ (ดาตฟ้าตึก 12 ชั้น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) โดยเปรียบเทียบกับโปรแกรมจีพีดีที ซึ่งทำการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ทำการทดสอบเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของดาวเทียม เมื่อสังเกตหน้าจอของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมพบว่าแถบสเปกตรัมมีการเคลื่อนที่จากทางด้านขวาของจอแสดงผล จนกระทั่งเคลื่อนที่เข้าสู่ความถี่กลางของสัญญาณบีคอนที่สายอากาศของเครื่องรับสามารถรับได้ จากนั้นแถบสเปกตรัมจะเคลื่อนตัวออกไปทางด้านซ้ายของจอแสดงผล เมื่อดาวเทียมโคจรพ้นจากตำแหน่งของสถานที่ทำการทดสอบ และพบว่าแถบสเปกตรัมจะไม่ปรากฏอยู่บนหน้าจอแสดงผล ซึ่งจากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกำลังงานที่สายอากาศต้นแบบสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมกับมุมการทำงานของสายอากาศ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14 และ รูปที่ 5.15



รูปที่ 5.14 ผลการทดสอบการรับสัญญาณดาวเทียม Cosmos 2407 ซึ่งมีการแพร่กระจายสัญญาณในย่านความถี่สูงมาก

จากรูปที่ 5.14 เมื่อดาวเทียม COSMOS 2407 ที่แพร่กระจายสัญญาณในย่านความถี่สูงมาก โดยเริ่มเคลื่อนที่เข้ามาในมุม 90 องศาของสายอากาศ เมื่อสังเกตจากรูปที่ 5.14 พบว่าสายอากาศยังไม่สามารถรับสัญญาณได้ เนื่องจากที่มุม -90 องศาและมุม 90 องศาของสายอากาศนั้นอยู่ต่ำกว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศส่งผลให้สายอากาศไม่สามารถรับสัญญาณได้ จนกระทั่งเมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่เข้ามาทำมุมกับสายอากาศต้นแบบ 50 องศา สายอากาศสามารถเริ่มรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ โดยสายอากาศสามารถรับกำลังงานที่ส่งมาจากดาวเทียม เท่ากับ -62.142 dBm และเมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่เข้ามาทางด้านบนของสายอากาศซึ่งจะทำมุม 0 องศา กับสายอากาศ

ต้นแบบ สายอากาศสามารถรับกำลังงานที่ส่งมาจากดาวเทียม เท่ากับ -61.040 dBm ซึ่งสายอากาศสามารถรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมได้จนกระทั่งถึงมุม -50 องศา ซึ่งสายอากาศสามารถกำลังงานได้ -70.958 dBm จากนั้นกำลังงานที่สามารถรับได้จะเริ่มลดลงจนกระทั่งสายอากาศไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ โดยมุมที่สายอากาศต้นแบบสามารถรับสัญญาณได้มีความกว้างกำลังงาน 100 องศา และเมื่อนำมุมที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่สายอากาศที่ทำงานได้ มีผลที่สอดคล้องกัน



รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบการรับสัญญาณดาวเทียม Cosmos 2407 ซึ่งมีการแพร่กระจายสัญญาณในย่านความถี่สูงยิ่ง

สำหรับการรับสัญญาณดาวเทียม COSMOS 2407 ที่มีการแพร่กระจายคลื่นที่ย่านความถี่สูงยิ่ง ซึ่งแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 5.15 เมื่อดาวเทียมเริ่มเคลื่อนที่เข้ามาในมุม 90 องศาของสายอากาศ เมื่อสังเกตจากรูปที่ 5.15 พบว่าสายอากาศยังไม่สามารถรับสัญญาณได้ เนื่องจากที่มุม -90 องศาและมุม 90 องศาของสายอากาศนั้นอยู่ต่ำกว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศ ส่งผลให้สายอากาศไม่สามารถรับสัญญาณได้ จนกระทั่งเมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่เข้ามาทำมุมกับสายอากาศต้นแบบ 55 องศา ซึ่งสายอากาศสามารถเริ่มรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ โดยสายอากาศสามารถรับกำลังงานที่ส่งมาจากดาวเทียม เท่ากับ -49.918 dBm และเมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่เข้ามาทางด้านบนของสายอากาศซึ่งจะทำมุม 0 องศา กับสายอากาศต้นแบบ สายอากาศสามารถรับกำลังงานที่ส่งมาจากดาวเทียม เท่ากับ -40 dBm ซึ่งสายอากาศสามารถรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมได้จนกระทั่งถึงมุม -55 องศา ซึ่งสามารถรับสัญญาณได้ -61.040 dBm จากนั้นกำลังงานที่สามารถรับได้จะเริ่มลดลงจนกระทั่งสายอากาศไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ โดยมุมที่สายอากาศต้นแบบสามารถรับสัญญาณได้มีความกว้างกำลังงาน 110 องศา และเมื่อนำมุมที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่สายอากาศที่ทำงานได้ มีผลที่สอดคล้องกัน

5.5 สรุป

จากการทดสอบสายอากาศแบบเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ สำหรับการประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศของเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ เพื่อหา $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราส่วนแกน และอัตราขยายของสายอากาศ และนำผลที่ได้จากการทดสอบสายอากาศที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4 เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลที่ได้จากการจำลองแบบ พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกันกับผลที่ได้จากการจำลอง และเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ภายในย่านความถี่ที่ใช้งาน พบว่า ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการสร้างสายอากาศต้นแบบมีขนาดคลาดเคลื่อนไปจากขนาดของสายอากาศที่ได้ทำการจำลองไว้ในบทที่ 4 แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศต้นแบบยังสามารถรองรับในย่านความถี่ที่มีการใช้งาน (150 MHz และ 400MHz) โดยที่ความถี่ 150 MHz มีค่า -13 dB และที่ความถี่ 400 MHz มีค่า -17 dB นอกจากนี้เมื่อทำการพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้า เท่ากับ 100 องศา และ 115 องศา ที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ตามลำดับ ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็กมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง เท่ากับ 70 MHz และ 95 MHz ที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบพบว่ามีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง อาจทำให้บางมุมของสายอากาศเมื่อทดสอบอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ จึงส่งผลให้เมื่อนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองทำให้มีผลที่คลาดเคลื่อน แต่ผลที่ได้จากการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศในมุม 0 องศาซึ่งเป็นมุมที่ใช้งานยังคงมีค่าอัตราที่ต่ำกว่า 3 dB ทำให้สายอากาศต้นแบบเป็นสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์วงกลม สุดท้ายการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศนั้นผลที่ได้จากการทดสอบและการจำลองมีผลที่สอดคล้องกัน แต่ผลที่ได้จากการทดสอบนั้นมีค่าอัตราขยายที่แตกต่างจากผลที่ได้จากการจำลองมาก เนื่องจากการใช้สายอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณมีการโพลาไรซ์เชิงเส้น ซึ่งส่งผลให้อัตราขยายลดลงเนื่องจากการลดทอนของการโพลาไรซ์ ในส่วนการประยุกต์ใช้งานนั้นได้ทดสอบสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ในการรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Cosmos 2407) โดย Cosmos 2407 นั้นมีการส่งความถี่บีคอนที่ความถี่ 149.97 MHz และ 399.92 MHz จากการทดสอบสายอากาศนั้นสามารถรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมดวงดังกล่าวได้ โดยสายอากาศสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมครอบคลุมในมุม -50 องศา ถึง 50 องศา ซึ่งมีความกว้างลำคลื่น 100 องศา ในย่านความถี่สูงมาก และในย่านความถี่สูงยิ่งสายอากาศสามารถรับสัญญาณดาวเทียมครอบคลุมที่มุม -55 องศา ถึง 55 องศา ซึ่งมีความกว้างลำคลื่น 110 องศา เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความสามารถในการรับสัญญาณที่ความถี่ครึ่งกำลังของสายอากาศนั้น ผลที่ได้จากการทดสอบการประยุกต์ใช้งานมีผลที่สอดคล้องกับผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ โดยมีความถี่ที่ใช้งานคือ 150 MHz และ 400 MHz โดยลักษณะโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ เป็นสายอากาศเกลียวเส้นลวด โดยวัสดุที่ใช้เป็นท่อทองแดงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 เซนติเมตร โดยมีจุดประสงค์หลักในการสร้างสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศมีขนาดที่กะทัดรัดและมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและสามารถทำงานได้ทั้งสองแถบความถี่ (150 MHz และ 400 MHz) มีการโพลาริเซชันวงกลมทั้งสองแถบความถี่ และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลม นอกจากนี้ยังสามารถนำสายอากาศดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ สำหรับโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ในหัวข้อที่ 6.1 จะกล่าวถึงผลสรุปโดยรวมของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งประกอบด้วยผลที่ได้จากการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศ ผลการจำลองสายอากาศ ผลการทดสอบสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ และผลที่ได้จากการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ กับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ ส่วนในหัวข้อ 6.2 จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อไป

6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเริ่มด้วยการอธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาวัตถุประสงค์ของการออกแบบสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ จากนั้นอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานและหลักการของการสื่อสารของดาวเทียม ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศเกลียว และงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้ จากนั้นเป็นการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศ โดยเริ่มจากการศึกษาโครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่ทุกด้านจะมีความยาวเป็น $\lambda/4$ ของความถี่ที่ใช้งาน จากนั้นได้ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เมื่อนำสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมดังกล่าวมาทำการหมุนเกลียวด้วยมุม 180 องศา เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของสายอากาศทั้งสองว่าเมื่อทำการหมุนเกลียวจะส่งผลกระทบต่ออย่างไร จากนั้นได้นำสูตรการคำนวณจากทฤษฎีของสายอากาศเกลียวสองแขนมาคำนวณหาขนาดของสายอากาศ และทำการเปรียบเทียบผลระหว่างสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้พัฒนามาจากบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบจาก $|S_{11}|$ ของสายอากาศเกลียวสองแขนที่ได้จากการคำนวณนั้นมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความถี่ที่ใช้งานมากกว่า จึงนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไปศึกษาต่อ เพื่อจะหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จากนั้นได้

สายอากาศเกลียวสองแฉกที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความถี่ 150 MHz และ ความถี่ 400 MHz มาประกอบรวมกันจนกลายเป็นสายอากาศเกลียวสี่แฉก ซึ่งเมื่อนำสายอากาศที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของทั้งสองความถี่มารวมกันแล้ววิเคราะห์ผลจาก $|S_{11}|$ พบว่าค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไม่สามารถให้สายอากาศที่มีการทำงานทั้งสองแถบความถี่ จึงทำการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศเกลียวสี่แฉกต่อไป เพื่อที่จะหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้สายอากาศเกลียวสี่แฉกสามารถทำงานได้ทั้งสองแถบความถี่ ซึ่งจากการศึกษาสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อสายอากาศเกลียวสี่แฉกได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 สรุปลักษณะของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศเกลียวสี่แฉกสองแถบความถี่

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางกายภาพ (cm)	ผลการจำลอง		โครงสร้างสายอากาศ
		ความถี่ที่ออกแบบ (MHz)	$ S_{11} $ (dB)	
D_{1d}	24.8	150	-19	
H_{1d}	71			
W_{1d}	0.80			
N_1	0.50 รอบ			
มุมของสายอากาศ	180 องศา			
D_{2d}	11.3	400	-14	
H_{2d}	23.2			
W_{2d}	0.80			
N_2	0.50 รอบ			
มุมของสายอากาศ	180 องศา			

จากนั้นได้จำลองสายอากาศเกลียวสี่แฉกสองแถบความถี่ที่มีค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 6.1 เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แฉกสองแถบความถี่ สำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่ได้ทำการวิเคราะห์ ประกอบด้วย $|S_{11}|$ ของสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราส่วนแอมพลิจูดโพลาไรซ์ และอัตราขยาย จากการจำลองนั้นสามารถสรุปคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แฉกสองแถบความถี่ได้ดังนี้ สำหรับ $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz เท่ากับ -19 dB โดยสายอากาศมีช่วงกว้างแถบความถี่ 5 MHz ครอบคลุมในช่วงความถี่ 149 MHz ถึง 154 MHz และมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$|S_{11}|$ เท่ากับ -14 dB โดยมีช่วงกว้างแถบความถี่ 33 MHz โดยครอบคลุมช่วงความถี่ 393 MHz ถึง 426 MHz ตามลำดับ สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้งสองความถี่นั้น มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบครึ่งทรงกลม โดยที่ความถี่ 150 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า มีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 250 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 90 องศา และที่ความถี่ 400 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้ามีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 250 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 95 องศา ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็กความถี่ 150 MHz มีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 90.1 องศา และที่ความถี่ 400 MHz มีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 180 องศา และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 87.9 องศา จากนั้นได้ศึกษาอัตราส่วนแกนของสายอากาศ ซึ่งจะต้องมีค่าที่ต่ำกว่า 3 dB ถึงจะให้การโพลาริซวงกลมสำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่ความถี่ 150 MHz ที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลัก มีอัตราส่วนแกน 3.4 dB สำหรับอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า 3 dB ของสายอากาศ คือ มุม -167.8 องศา ถึง มุม 15 องศา สำหรับอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่ความถี่ 400 MHz ที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นลำคลื่นหลัก มีอัตราส่วนแกน 1.98 dB และมีความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน 118 องศา โดยครอบคลุมตั้งแต่มุม -59 องศา ถึง มุม 59 องศา ซึ่งมีอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า 3 dB และทำให้เกิดการโพลาริซวงกลม สุดท้ายเป็นการจำลองหาค่าอัตราขยายของสายอากาศอัตราขยายความถี่ 150 MHz มีค่า 2.26 dBic และอัตราขยายที่ความถี่ 400 MHz มีค่า 2.52 dBic จากผลการจำลองดังกล่าวได้นำมาสร้างเสาอากาศต้นแบบขึ้นจริงและทำการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ เช่นเดียวกับการจำลอง จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองและผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องจากการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ นั้นพบว่าผลที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลอง แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ เนื่องจากการสร้างเสาอากาศต้นแบบนั้นขนาดของพารามิเตอร์มีความคลาดเคลื่อนไปจากขนาดของพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลอง และในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นอัตราส่วนแกน และอัตราขยาย ได้ใช้สายอากาศที่มีการโพลาริซเชิงเส้นเป็นสายอากาศส่ง ซึ่งอาจทำให้การรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบางมุมมีความคลาดเคลื่อนไป ส่งผลให้ผลที่ได้จากการทดสอบมีผลที่คลาดเคลื่อนจากผลที่ได้จากการจำลอง ซึ่งจากการทดสอบนั้น พบว่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz นั้น $|S_{11}|$ เท่ากับ -13 dB โดยมีช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ 8 MHz (145 MHz ถึง 153 MHz) และมี $|S_{11}|$ เท่ากับ -17 dB ช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ 22 MHz (384 MHz ถึง 406 MHz) ตามลำดับ สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 150 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้ามีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 310 องศา (-140 องศา ถึง 170 องศา) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 100 องศา (-50 องศา ถึง 50 องศา) ในระนาบสนามแม่เหล็ก สายอากาศมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 170 องศา (-90 องศา ถึง 80 องศา) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 70 องศา (-40 องศา ถึง 30 องศา) สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 400 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้ามีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

245 องศา (-115 องศา ถึง 130 องศา) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 115 องศา (-55 องศา ถึง 60 องศา) และในระนาบสนามแม่เหล็กมีความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก 185 องศา (-95 องศา ถึง 90 องศา) และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 95 องศา (-50 องศา ถึง 45 องศา) โดยมีอัตราส่วนแกนที่ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz จากการทดสอบที่มุม 0 องศา มีค่า 2 dB และ 1 dB ตามลำดับสุดท้ายอัตราขยายของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ ที่ความถี่ 150 MHz มีค่า 1.6 dBic และ 1.7 dBic ที่ความถี่ 400 MHz

สำหรับการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ นั้นสามารถรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ Cosmos 2407 ได้ ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องรับสัญญาณบีคอนจากดาวเทียมวงโคจรต่ำได้จริง

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากผลการวิเคราะห์และทดสอบ พบว่าสายอากาศที่ได้จากการออกแบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ร่วมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมวงโคจรต่ำได้ และเมื่อทำการพิจารณาโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ จะพบว่าสายอากาศดังกล่าวมีการหมุนเกลียวไปทางขวามือ ซึ่งทำให้สายอากาศดังกล่าวมีการโพลาไรซ์วงกลมหมุนขวา ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับดาวเทียมวงโคจรต่ำเนื่องจากดาวเทียมดังกล่าวจะมีแนวการเคลื่อนที่ในแนวทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก สำหรับการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกับการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศนั้นมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี แต่ยังมีผลที่คลาดเคลื่อนอยู่เนื่องจากการสร้างสายอากาศนั้นได้ทำการตัดเกลียวของสายอากาศด้วยตนเอง ทำให้มุมและค่าของพารามิเตอร์มีความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่ได้จากการจำลอง นอกจากนี้ในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราส่วนแกน และอัตราขยายนั้นได้ใช้สายอากาศโมโนโพลที่ให้การโพลาไรซ์เชิงเส้นในส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้ผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งการทดสอบควรเลือกใช้สายอากาศมาตรฐานที่ให้การโพลาไรซ์วงกลมในการทดสอบ เพราะจะทำให้ผลที่ได้จากการทดสอบมีความถูกต้อง

สำหรับแนวทางในการพัฒนาต่อ คือ การออกแบบให้สายอากาศเกลียวสี่แขนสองแถบความถี่ให้มีขนาดที่เล็กลงเพื่อสะดวกในการนำไปติดตั้งในการใช้งานจริง และเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศให้ที่ดีขึ้น

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศและการทดสอบสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจในการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมวงโคจรต่ำสามารถนำไปพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างให้มีรูปแบบที่ง่ายขึ้น และมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ไทยคมจำกัด (มหาชน) 2551 ครอบรู้เรื่องดาวเทียม บริษัท ไทยคมจำกัด (มหาชน)
- [2] M.Yamamoto, "Digital beacon receiver for ionospheric TEC measurement developed with GNU Radio," *Earth Planets Space.*, Vol. 60, pp.e21-e24, 2008.
- [3] G.Blewitt, "An automatic editing algorithm for GPS data," *Geophysical research letters.*, Vol. 17, pp.199-202, March 1990.
- [4] S.Gerasenko, A.Joshi, S.Rayaprolu, K.Ponnaivaikko and D.P.Agrawal, "Beacon signal : What, Why, How and Where?," *Computer.*, Vol. 34, pp.108-110, October 2001.
- [5] ประสิทธิ์ ทีฆพุดิ 2547 การสื่อสารดาวเทียม พิมพ์ครั้งที่ 7 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] J.V.Evans, "Satellite systems for personal communication," *IEEE Antennas and Propagation Magazine.*, Vol. 39, pp.7-20, June 1997.
- [7] C.C.Kilgus, "Multielement fractional turn helices," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation.*, Vol. 16, pp.499-500, July 1968.
- [8] C.C.Kilgus, "Resonal quadrifilar helix," *IEEE Transactions on Antennas an Propagation.*, Vol. 17, pp.349-351, May 1969.
- [9] Y.T.Huang, "Realization of compact quadrifilar helix antennas," *Master Thesis of Science Institute of Communication Engineering.*, Tatung University, June 2008.
- [10] C.A.Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley&Sons, 2005.
- [11] M.W.Maxwell, "*Reflections II : Transmission line & antennas*," Worldradio Book, March 2001.
- [12] T.A.Milligan, "*Modern antenna design*," John Wiley&Sons, 2005.
- [13] M.Yamamoto, "Digital beacon receiver for ionospheric TEC measurement developed with GNU Radio," *Earth Planets Space*, pp.e21-e27, 2008.
- [14] R.D.Seager, A.Chauraya and J.C.Vardaxoglou, "Towards a compact low frequency woven antenna," *Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp.1-4, 2009.
- [15] M.Hosseini, M.Hakkak and P.Rezaei, "Design of a dual-band quadrifilar helix antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol.4, pp.39-42, 2005.

- [16] W.X.Fei, C.Q.Xin, H.Y.Huo and J.K.De, "A novel dual-frequency quadrifilar helix antenna in GPS/BD application," *Antenna and Propagation Society International Symposium*, pp.3556-3559, 2007.
- [17] J.D.Kraus, *Antennas*, McGRAW-HILL, 1988.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวรัศมิทัต แผนสมบุญ
 วัน เดือน ปีเกิด 20 ตุลาคม 2530 ที่กรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ 403/1 ซอยเนินแก้ว 12 ถนนเนินแก้ว ตำบลท่าระหัด อำเภอเมือง
 จังหวัดสุพรรณบุรี 72000
 ประวัติการศึกษา 2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] R.Pansomboon, C.Phongcharoenpanich and R.Phudpong, "Design of a Dual-Band Quadriplar Helical Antenna for Radio Beacon Receiver," International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2011), Chiangmai, pp.1-4, Dec. 2011.
- [2] R.Pansomboon, C.Phongcharoenpanich and R.Phudpong, "A Novel Dual-Band Helical Antenna for Radio Beacon Receiver," 1st International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2011), Bangkok, pp.273-276, Jan. 2012.