

สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสำหรับประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดี  
สนามระยะใกล้ย่านความถี่เอชเอฟ

MULTIPLE SEGMENTED-LOOP ANTENNA FOR NEAR-FIELD  
UHF RFID APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-D-018-110

สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสำหรับประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดี  
สนามระยะใกล้ย่านความถี่เอชเอฟ

MULTIPLE SEGMENTED-LOOP ANTENNA FOR NEAR-FIELD  
UHF RFID APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-D-018-110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MULTIPLE SEGMENTED-LOOP ANTENNA FOR NEAR-FIELD  
UHF RFID APPLICATIONS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016  
KMITL-2016-EN-D-018-110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสำหรับประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้  
ย่านความถี่เอชเอฟ

Thesis Title Multiple Segmented-Loop Antenna for Near - Field UHF RFID Applications

นักศึกษา นางสาวรัศมีทัต แผนสมบุรณ์

รหัสประจำตัว 55610115

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์


หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-D-018-110

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ผศ.ดร.ทับทิม	อ่างแก้ว	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	
รศ.ดร.ชวรงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 10.00-12.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของสถาบันฯ ในการนำไปใช้

ฉบับที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสำหรับประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอที
นักศึกษา	สนามระยະไกล້យ่านความถี่เอชเอฟ
รหัส	นางสาวรัศมีทัต แผนสมบูรณ์
ปริญญา	55610115
สาขาวิชา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
พ.ศ.	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	2559
	รศ.ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสำหรับประยุกต์ใช้งานสนามระยະไกล້ย่านความถี่เอชเอฟ โดยสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงที่ถูกนำเสนอมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มและสม่ำเสมอในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ส่งผลให้สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลเพิ่มขึ้นในทุกทิศทางการติดต่อสื่อสาร (ทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$ ) ซึ่งในการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศได้ใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการพิจารณาแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์ ( $|S_{11}|$ ) ต่ำกว่า  $-10$  dB ในย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz (มาตรฐานอาร์เอฟไอทีย่านความถี่เอชเอฟประเทศไทย) และการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  สำหรับสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงต้นแบบมีขนาดโดยรวม 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร  $\times$  0.6 มิลลิเมตร (กว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง) โดยสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงต้นแบบถูกสร้างบนวัสดุฐานรองชนิด FR4 และถูกป้อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียล สำหรับผลการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง พบว่าสายอากาศมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า  $-10$  dB ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 892.5 MHz ถึง 942.5 MHz ซึ่งในการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ถูกทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  และทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x$ - $y$  โดยสายอากาศมีผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการจำลอง สำหรับการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลในทิศทางการติดต่อสื่อสาร  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ร่วมกับแท็กอาร์เอฟไอทีย่านความถี่เอชเอฟสนามระยະไกล້เมื่อแท็กถูกทดสอบบนอากาศ พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลเป็น 25.27% 31.73% และ 85.43% ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงเมื่อแท็กถูกติดตั้งบนหลอดเก็บเลือดขนาดเล็กเป็น 30.55% 25.90% และ 69.09% ในทิศทางการติดต่อสื่อสาร  $x$ ,  $y$  และ  $z$

<b>Thesis Title</b>	Multiple Segmented-Loop Antenna for Near-Field UHF RFID Applications
<b>Student</b>	Miss Rassamitit Pansomboon
<b>Student ID.</b>	55610115
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2016
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

### ABSTRACT

This thesis is concerned with a multiple segmented-loop antenna applicable to near field UHF RFID. The proposed multiple segmented-loop antenna is configured to induce the robust and even magnetic field distributions in the  $H_x$ ,  $H_y$  and  $H_z$  orientations so as to achieve the enhanced readability performances in all directions (i.e.  $x$ ,  $y$  and  $z$ ). Simulations were carried out using CST Microwave Studio to determine the impedance bandwidth ( $|S_{11}|$  less than  $-10\text{dB}$ ) in the frequency range of 920-925 MHz (i.e. Thailand's UHF RFID standard) and to investigate the  $H_x$ ,  $H_y$  and  $H_z$  oriented magnetic field distributions. A prototype antenna of  $14\text{cm}\times 16\text{cm}\times 0.6\text{mm}$  ( $W\times L\times H$ ) in overall dimension was subsequently fabricated on an FR4 substrate connected to a coaxial cable. The measured result of the multiple segmented loop antenna show a good impedance matching for  $|S_{11}|$  less than  $-10\text{dB}$  along a frequency range of 892.5 MHz to 942.5 MHz. In this research, the  $H_x$ ,  $H_y$  and  $H_z$  oriented magnetic field distributions of the prototype antenna were measured in the  $x$ -axis,  $y$ -axis and  $x$ - $y$  plane and are in good agreement with the simulation results. The measured readability performances in the  $x$ -,  $y$ - and  $z$ -directions in which near field UHF RFID tags were deployed unobstructed (i.e. in open air) are respectively 25.27%, 31.73% and 85.43%. Furthermore, the performances on the antenna readability with the tags attached to the microcentrifuge tubes are 30.55%, 25.90% and 69.09% for the  $x$ -,  $y$ - and  $z$ -directions.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จเรียบร้อย ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นผู้ช่วยเหลือ ดูแลในด้านการศึกษาและงานวิจัยทั้งในเวลาและนอกเวลาราชการ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และคำแนะนำที่มีประโยชน์ในการวิจัยตลอดมา ตั้งแต่สมัยที่ข้าพเจ้าเรียนระดับปริญญาตรี ต้อง ขอขอบพระคุณอาจารย์อีกสองท่าน คือ รองศาสตราจารย์ ดร. สมผล โกศลวิตร และ ศาสตราจารย์ ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ได้ร่วมประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และคำแนะนำพื้นฐานด้าน วิชาการ ทำให้ปัจจุบันนี้ข้าพเจ้านำความรู้ที่ได้นำมาพัฒนาต่อยอดงานของตนเองเพื่อใช้ในการทำงาน วิจัยในระดับปริญญาเอกให้สำเร็จลุล่วง ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภกิต แก้วดวงตา ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือ สนับสนุนงานวิจัยของข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับ ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสมาชิกในห้องปฏิบัติการการสื่อสารไร้สายทุกท่าน ที่ให้การแนะนำ ช่วยเหลือและ สนับสนุนงานวิจัยของข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีคุณค่า และประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัศมิทัต แผนสมบุญณ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาและขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	7
2.1 บทนำ.....	7
2.2 ระบบอาร์เอฟไอดี.....	7
2.3 ทฤษฎีการติดต่อสื่อสารของสายอากาศในบริเวณต่างๆ.....	11
2.3.1 บริเวณสนามรีแอ็กทีฟระยะใกล้ (Reactive near-field).....	12
2.3.2 บริเวณสนามการแผ่กระจายระยะใกล้ (Radiating near-field).....	13
2.3.3 บริเวณสนามระยะไกล (Far-field).....	13
2.4 เทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก.....	15
2.4.1 การเชื่อมต่อบริเวณสนามระยะใกล้ (Near-field Coupling).....	15
2.4.1.1 การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก.....	15
2.4.1.2 การเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้า.....	17
2.4.2 การเชื่อมต่อสนามระยะไกล (Far-field Coupling).....	18
2.5 เทคนิคการทดสอบสายอากาศที่มีการสื่อสารในบริเวณสนามระยะใกล้.....	19
2.5.1 เทคนิคการทดสอบความสามารถในการอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟแบบสนามระยะใกล้.....	19
2.5.2 เทคนิคการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในบริเวณสนามระยะใกล้.....	20
2.5.2.1 การทดสอบสนามระยะใกล้เชิงระนาบ.....	20
2.5.2.2 การทดสอบสนามระยะใกล้แบบทรงกระบอก.....	21
2.5.2.3 การทดสอบระยะใกล้แบบทรงกลม.....	21
2.6 ทฤษฎีสายอากาศบ่วง.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 สายอากาศบ่วงทั่วไป.....	22
2.6.2 สายอากาศบ่วงเซกเมนต์.....	23
2.6.3 บทความวิจัยที่มีมาก่อน.....	25
2.7 สรุป.....	28
บทที่ 3 การออกแบบ และศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้.....	29
3.1 บทนำ.....	29
3.2 การออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้.....	29
3.2.1 วิวัฒนาการโครงสร้างสายอากาศ.....	30
3.2.1.1 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม.....	30
3.2.1.2 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์.....	31
3.2.1.3 สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง.....	33
3.2.2 ผลการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ.....	35
3.2.2.1 ผลการจำลอง $ S_{11} $ .....	36
3.2.2.2 ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน $x$ และแนวแกน $y$ .....	37
3.2.2.3 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ $x-y$ .....	40
3.2.3 ผลการจำลองการเปรียบเทียบความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศ.....	43
3.3 ศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง.....	46
3.3.1 การศึกษาผลกระทบของจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลักของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง.....	47
3.3.2 การศึกษาผลกระทบของขนาดบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยมด้านในของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง.....	50
3.3.2.1 การศึกษาผลกระทบขนาดความกว้างของบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม ( $W_{in}$ ).....	50
3.3.2.2 การศึกษาผลกระทบขนาดความยาวของบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม ( $L_{in}$ ).....	52
3.3.3 การศึกษาผลกระทบความกว้างของเส้นสตริปทองแดง ( $W_{SL}$ ) ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง.....	55
3.3.4 การศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างบ่วงเซกเมนต์แต่ละองค์ประกอบ ( $S_1$ ).....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ V ังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดง ( $S_2$ ).....	58
3.3.6 การศึกษาผลกระทบของสตาบแมตซ์.....	61
3.3.7 การศึกษาผลกระทบระยะห่างจุดป้อนสัญญาณระหว่างบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบและบ่วงพาราซิติกส์เหลี่ยม ( $D_{sp}$ ).....	62
3.4 สรุป.....	63
บทที่ 4 ผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ.....	65
4.1 บทนำ.....	65
4.2 ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง.....	66
4.2.1 ผลการจำลองและผลการทดสอบ $ S_{11} $ .....	66
4.2.2 ผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x และ แนวแกน y.....	67
4.2.3 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ x-y.....	71
4.3 สรุป.....	75
บทที่ 5 การทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศ.....	77
5.1 บทนำ.....	77
5.2 การทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศ.....	77
5.2.1 การทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศภายใต้เงื่อนไขแท็กถูกทดสอบบนอากาศ.....	77
5.2.2 การทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศกับแท็กในการประยุกต์ใช้งานจริง.....	81
5.3 สรุป.....	84
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	85
6.1 บทสรุป.....	85
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	86
เอกสารอ้างอิง.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	89

# สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติสายอากาศระบบอาร์เอฟไอเดีย่นความถี่เอชเอฟ สนามระยะใกล้ที่ถูกเผยแพร่ในงานวิจัยที่มีมาก่อน.....	6
2.1	เปรียบเทียบคุณลักษณะความถี่ของระบบอาร์เอฟไอดี.....	9
2.2	มาตรฐานความถี่เอชเอฟของระบบอาร์เอฟไอดีที่อนุญาตให้ใช้ในแต่ละประเทศ.....	10
2.3	เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างอาร์เอฟไอดีเอชเอฟสนามระยะใกล้และยูเอชเอฟ สนามระยะไกล.....	11
2.4	เปรียบเทียบวิธีการทดสอบระยะใกล้ทั้ง 3 ประเภท.....	22
3.1	ขนาดทางกายภาพและขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม.....	31
3.2	ขนาดทางกายภาพและขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์.....	33
3.3	ขนาดทางกายภาพและขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง.....	35
3.4	ผลการจำลองการเปรียบเทียบ $ S_{11} $ และแบนด์วิดธ์ของสายอากาศ.....	37
3.5	เปรียบเทียบผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ $L_{in}$ .....	53
3.6	เปรียบเทียบผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ $S_2$ .....	59
3.7	เปรียบเทียบผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบระหว่างการมีสัดับแมตซิ่ง และไม่มีสัดับแมตซิ่ง.....	62
3.8	เปรียบเทียบผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ $D_{sp}$ .....	63
4.1	ผลการจำลองและผลการทดสอบ $ S_{11} $ และแบนด์วิดธ์ของสายอากาศทั้งสามตัว.....	66
5.1	เปรียบเทียบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศภายใต้เงื่อนไขที่ถูกลูก ทดสอบบนอากาศ.....	80
5.2	เปรียบเทียบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศภายใต้เงื่อนไขที่ถูกลูกติดตั้ง เข้ากับหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก.....	83

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การประยุกต์ใช้งานระบบบาร์โค้ดและสมาร์ตการ์ด.....	8
2.2	บริเวณสนามของสายอากาศ.....	12
2.3	การเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดสายอากาศในบริเวณการสื่อสารต่างๆ.....	14
2.4	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก.....	16
2.5	บริเวณที่แตกต่างของอิมพีแดนซ์สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (สำหรับสายอากาศไดโพลปกติ).....	17
2.6	การติดต่อสื่อสารในสนามระยะไกลด้วยการเชื่อมต่อแบบกระจายย้อนกลับ.	18
2.7	วิธีการทดสอบสนามระยะใกล้เชิงระนาบ.....	20
2.8	วิธีการทดสอบสนามระยะใกล้แบบทรงกระบอก.....	21
2.9	วิธีการทดสอบสนามระยะใกล้แบบทรงกลม.....	21
2.10	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงที่มีความยาวรอบวงในระยะต่างๆ.....	23
2.11	สายอากาศบ่วงเชกเมนต์.....	24
2.12	การไหลของกระแสและการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงเชกเมนต์.....	24
2.13	โครงสร้างสายอากาศบ่วงวงกลมเชกเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ.....	25
2.14	โครงสร้างสายอากาศบ่วงไม่ต่อเนื่อง.....	26
2.15	โครงสร้างสายอากาศอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ย่านความถี่เอชเอฟบรอดแบนด์..	26
2.16	โครงสร้างสายอากาศบ่วงเชกเมนต์รูปตาสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ย่านความถี่เอชเอฟ.....	27
2.17	โครงสร้างสายอากาศสองบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าใหญ่.....	27
3.1	โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม.....	30
3.2	โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์.....	32
3.3	โครงสร้างสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง.....	34
3.4	ผลการจำลองการเปรียบเทียบ $ S_{11} $ ของสายอากาศทั้งสามตัว.....	36
3.5	บริเวณการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน $x$ และ แนวแกน $y$ .....	37
3.6	การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน $x$ และ $y$ ในทิศ $H_x$ .....	38
3.7	การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน $x$ และ $y$ ในทิศ $H_y$ .....	38
3.8	การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน $x$ และ $y$ ในทิศ $H_z$ .....	39
3.9	เปรียบเทียบการกระจายสนามแม่เหล็กกับการกระจายสนามไฟฟ้าในสนามการกระจายหลักตลอดแนวแกน $x$ และแนวแกน $y$ .....	40
3.10	บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็ก.....	41
3.11	แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม.....	41
3.12	แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์.....	42
3.13	แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง.....	42
3.14	พื้นผิวที่ใช้ในการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.15	ผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ในกรณีที่แท่งกึ่งวงในแนวแกนต่างๆ.....	44
3.16	ผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม เซกเมนต์ในกรณีที่แท่งกึ่งวงในแนวแกนต่างๆ.....	45
3.17	ผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง ในกรณีที่แท่งกึ่งวงในแนวแกนต่างๆ.....	46
3.18	โครงสร้างสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง.....	47
3.19	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลัก.....	47
3.20	ผลการจำลองการศึกษาผลกระทบของจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลักที่มีผลต่อแบบ รูปการกระจายสนามแม่เหล็ก.....	49
3.21	ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม เมื่อพารามิเตอร์ $W_{in}$ เท่ากับ 8.10 เซนติเมตร และ $L_{in}$ เท่ากับ 8.10 เซนติเมตร.....	50
3.22	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ $W_{in}$ .....	51
3.23	ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ $W_{in}$ .....	52
3.24	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ $L_{in}$ .....	53
3.25	ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ $L_{in}$ .....	54
3.26	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบความกว้างของเส้นสตริปทองแดง ( $W_{SL}$ )	55
3.27	ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับพารามิเตอร์ $W_{SL}$ .....	56
3.28	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างบ่วงเซกเมนต์แต่ละ องค์ประกอบ ( $S_1$ ).....	57
3.29	แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับพารามิเตอร์ $S_1$ .....	58
3.30	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดง แต่ละเส้น ( $S_2$ ).....	59
3.31	ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับพารามิเตอร์ $S_2$ .....	60
3.32	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ $M_{S1}$ .....	62
3.33	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ในการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ $D_{sp}$ .....	63
4.1	รูปถ่ายสายอากาศต้นแบบ.....	65
4.2	ผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบ $ S_{11} $ ของวิวัฒนาการของสายอากาศที่ นำเสนอ.....	66
4.3	วิธีการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x และแนวแกน y.....	68
4.4	เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็ก ในสนามหลัก $H_x$ .....	69
4.5	เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็ก ในสนามหลัก $H_y$ .....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

4.6	เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในทิศสนามหลัก $H_z$ .....	71
4.7	วิธีการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ $x-y$ .....	72
4.8	พื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็ก.....	72
4.9	แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในทิศสนามแม่เหล็กหลักของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม.....	73
4.10	แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในทิศสนามแม่เหล็กหลักของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์.....	74
4.11	แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในทิศสนามแม่เหล็กหลักของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง.....	75
5.1	การทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็กภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเมื่อแท็กถูกทดสอบในอากาศ.....	78
5.2	การทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศกับแท็กในการประยุกต์ใช้งานจริง.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ X อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (อาร์เอฟไอดี) เป็นระบบที่ใช้หลักการในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกสบายเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการระบุตัวตน การติดตามวัตถุหรือบุคคล [1-3] สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีนั้นมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและมีราคาถูก จึงทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้อย่างหลากหลาย เช่น ระบบการติดตามทางการแพทย์ ระบบรักษาความปลอดภัยในการเข้าออกสถานที่ต่างๆ ระบบโลจิสติกส์ และระบบการติดตามสินค้าในคลังสินค้า รวมถึงระบบการติดตามหรือยืนยันตัวตนในปศุสัตว์ ในปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีมีความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด 4 ย่านความถี่ ประกอบด้วย ย่านความถี่ต่ำ (LF-RFID) มีการทำงานที่ความถี่ 125 kHz และ 134 kHz ย่านความถี่สูง (HF-RFID) มีการทำงานที่ความถี่ 13.56 MHz ย่านความถี่ยูเอชเอฟ (UHF-RFID) ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 860 MHz ถึง 960 MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟมีการทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีในแต่ละย่านความถี่นั้นมีระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้ (Near-field) และการติดต่อสื่อสารสนามระยะไกล (Far-field) ซึ่งระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงมีระยะในการติดต่อสื่อสารในสนามระยะใกล้ โดยการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้ใช้เทคนิคการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ซึ่งข้อดีในการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้ นั้น ระบบอาร์เอฟไอดีสามารถทำงานเมื่ออยู่ใกล้กับวัสดุที่เป็นโลหะ ของเหลว หรือมีความชื้น แต่ข้อเสียของระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ คือ สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กต้องวางไว้ในระยะที่ใกล้กันถึงจะสามารถติดต่อสื่อสารได้ และมีความสามารถในการอ่านแท็กได้ครั้งละหนึ่งตัวในช่วงเวลาเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟและความถี่ไมโครเวฟมีการติดต่อสื่อสารระยะไกล ระบบดังกล่าวใช้เทคนิคการเชื่อมต่อแบบการกระจายย้อนกลับในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ข้อดีของระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะไกล คือ สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กมีระยะในการติดต่อสื่อสารไกล มีการส่งผ่านข้อมูลที่รวดเร็วและสามารถอ่านแท็กได้หลายตัวพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะไกลมีข้อเสีย คือ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับวัสดุที่เป็นโลหะหรือของเหลว ระบบจะได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูล [4-9]

ในปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟเป็นระบบที่ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น การประยุกต์ใช้ในระบบการติดตามสินค้าในคลังสินค้า ระบบโลจิสติกส์ และได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในการนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ แต่อย่างไรก็ตามระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะไกลนั้น ไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ เนื่องจากอุปกรณ์ทางการแพทย์ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ที่มีความชื้นหรือของเหลว (เช่น

ยา วัคซีน เลือด) [10-11] ซึ่งเป็นวัสดุที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรุนแรงในการติดต่อสื่อสารในสนามระยะไกล จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาาระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ โดยเป็นการนำข้อดีของย่านความถี่ยูเอชเอฟที่สามารถส่งผ่านข้อมูลที่รวดเร็วและสามารถอ่านแท็กได้หลายตัวพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกัน และข้อดีของการติดต่อสื่อสารในสนามระยะใกล้ที่สามารถทำงานใกล้กับวัสดุที่เป็นของเหลวหรือมีความชื้น จึงทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์เพิ่มมากขึ้น

การออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ มีความท้าทายในการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบดังกล่าว คือ ระบบต้องการสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ (โดยมีขนาดประมาณ  $2\lambda$  ของความยาวคลื่นที่ความถี่ 922.5 MHz) แต่ยังคงสามารถมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มและสม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ โดยปกติเมื่อสายอากาศมีขนาดใหญ่มักจะมีการกระจายของสนามไฟฟ้าที่เข้มกว่าการกระจายสนามแม่เหล็ก ส่งผลให้สายอากาศมีการกระจายของสนามแม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งบริเวณของสายอากาศ สำหรับสายอากาศที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในการออกแบบในระบบดังกล่าวที่ต้องการ การกระจายของสนามแม่เหล็กที่เข้มและสม่ำเสมอ คือ สายอากาศบ่วง ซึ่งสายอากาศบ่วงทั่วไปถูกนำมาใช้ในการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง โดยปกติสายอากาศบ่วงที่มีสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก (สายอากาศบ่วงปกติ) สายอากาศควรมีขนาดเส้นรอบวงน้อยกว่าหนึ่งส่วนสิบของความยาวคลื่น ( $c = \lambda/10$ ) ในความถี่ที่ใช้งาน [12-13] ซึ่งทำให้เกิดการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มและสม่ำเสมอในบริเวณใกล้สายอากาศ

อย่างไรก็ตามสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ต้องการพื้นที่ในการติดต่อสื่อสารขนาดใหญ่ พบว่าถ้าออกแบบสายอากาศด้วยบ่วงปกติจะส่งผลให้สายอากาศมีการจางหายของสนามแม่เหล็กบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศ ทำให้สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ จากปัญหาดังกล่าวได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ไขด้วยการออกแบบให้สายอากาศบ่วงมีความยาวของเส้นสตริปทองแดงยาวไม่ต่อเนื่อง โดยเส้นสตริปทองแดงควรมีความยาวประมาณ  $1/4$  ของความยาวคลื่นที่สนใจ หรือการออกแบบสายอากาศเป็นบ่วงที่มีเส้นสตริปทองแดงยาวไม่ต่อเนื่อง และมีการคั่นกลางระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้นด้วยตัวเก็บประจุ [14]

จากการศึกษาวิจัยที่มีมาก่อนนั้น ได้มีการนำเสนอการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีสนามย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ด้วยวิธีการออกแบบสายอากาศเป็นบ่วงที่มีเส้นสตริปทองแดงยาวไม่ต่อเนื่องโดยมีการคั่นกลางระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้นด้วยตัวเก็บประจุที่มีค่า  $1.2 \text{ pF}$  ในเอกสารอ้างอิงที่ [15] และมีการนำเสนอวิธีการออกแบบสายอากาศบ่วงที่มีเส้นสตริปทองแดงยาวไม่ต่อเนื่องในเอกสารอ้างอิงที่ [16-21] ซึ่งวิธีการทั้งสองช่วยทำให้สายอากาศมีการไหลของกระแสในทิศทางเดียวกันตลอดทั้งบ่วงและมีเฟสดีเลย์น้อยมาก ส่งผลให้สายอากาศมีความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ อย่างไรก็ตามถ้า

พิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) พบว่าสายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มและสม่ำเสมอเฉพาะในสนามแม่เหล็ก  $H_z$

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าสายอากาศอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ที่มีการนำเสนอมามาก่อน มีความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศเฉพาะสนามแม่เหล็ก  $H_z$  ส่งผลให้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงถ้าแท็กไม่ได้ถูกวางในทิศที่เหมาะสมกับสนามแม่เหล็กที่สามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอ (สนามแม่เหล็ก  $H_z$ ) ส่งผลให้สมรรถนะในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กลดลง

วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ โดยสายอากาศทำงานในย่านความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีมาตรฐานประเทศไทยครอบคลุมความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz สายอากาศมีพื้นที่และความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  และ  $H_y$  และสามารถกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มและสม่ำเสมอในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_z$  ซึ่งช่วยให้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กมีระยะในการติดต่อสื่อสารในทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  เพิ่มขึ้นสำหรับสายอากาศที่ถูกนำเสนอ คือ สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง ที่มีการบ่อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียล โดยสายอากาศที่ถูกนำเสนอมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 892.5 MHz ถึง 942.5 MHz ซึ่งสายอากาศสามารถทำงานในย่านความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีมาตรฐานประเทศไทย นอกจากนี้เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นในสนามแม่เหล็ก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงได้ทำการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงกับแท็ก (โดยแท็กสนามระยะใกล้ถูกทดสอบในอากาศ) พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดเท่ากับ 9 เซนติเมตร 13 เซนติเมตร และ 25 เซนติเมตร เมื่อแท็กถูกหมุนไปในทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงกับแท็กสนามระยะใกล้ที่ถูกติดตั้งบนหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก (การประยุกต์ใช้งานจริง) พบว่ามีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดระหว่างสายอากาศกับแท็ก เท่ากับ 15 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร และ 25 เซนติเมตร เมื่อแท็กถูกหมุนไปในทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ตามลำดับ โดยแสดงตารางการเปรียบเทียบคุณสมบัติสายอากาศระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ที่ถูกเผยแพร่ในงานวิจัยที่มีมาก่อนกับสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงที่นำเสนอในตารางที่ 1.1

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาและขอบเขตงานวิจัย

จากการศึกษาบทความที่มีมาก่อนพบว่าสายอากาศที่ได้ถูกนำเสนอมีความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กและความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กได้เพียงสนามแม่เหล็ก  $H_z$  จึงมีแนวคิดในการพัฒนาสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ ให้มีความเข้มและพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  เพิ่มขึ้น ในขณะที่การกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_z$  ยังคงมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ ทำให้ช่วยเพิ่มสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศในสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาของวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิสาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตในการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ สนามระยะใกล้ คือ สายอากาศมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า  $-10$  dB ตลอดย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz สายอากาศมีขนาด 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร เพื่อความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน ร่วมกับชั้นวางหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก (Microcentrifuge tube) สายอากาศสามารถเพิ่มความเข้มและพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะที่ยังคงมีการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  ที่สม่ำเสมอ

### 1.3 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 นำเสนอเกี่ยวกับความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ในการศึกษาและขอบเขตงานวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่ยูเอชเอฟ สนามระยะใกล้ โดยเนื้อหาได้นำเสนอหลักการติดต่อสื่อสารในบริเวณต่างๆ ของสายอากาศ เนื่องจากหลักการดังกล่าวส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของสายอากาศเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นของเหลวหรือมีความชื้น นอกจากนี้ได้นำเสนอเทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก และเทคนิคการทดสอบการติดต่อสื่อสารในบริเวณ สนามระยะใกล้ ในหัวข้อสุดท้ายได้นำเสนอทฤษฎีสายอากาศบ่วง ซึ่งเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยม ในการนำมาใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการติดต่อสื่อสารในสนามระยะใกล้

บทที่ 3 นำเสนอการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่าน ความถี่ยูเอชเอฟ สนามระยะใกล้ โดยนำเสนอวิวัฒนาการของสายอากาศ เริ่มต้นจากการออกแบบ สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม บ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ จากนั้นพัฒนาเป็นสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศทั้งสามตัว โดยเปรียบเทียบ ผล  $|S_{11}|$  การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศในระนาบ  $x-y$  ผลการจำลองสมรรถนะในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศ จากนั้น ศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติของสายอากาศ

บทที่ 4 นำเสนอผลการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศบ่วง สี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง โดยเปรียบเทียบผล การทดสอบ  $|S_{11}|$  ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ผลการ จำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศในระนาบ  $x-y$  ของสายอากาศทั้งสามตัว เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของสายอากาศ

บทที่ 5 นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงกับแท็กสนามระยะใกล้ โดยแบ่ง การทดสอบสมรรถนะออกเป็น 2 การทดสอบ คือ การทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารภายใต้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นว่าใบเซปรีเอชันต้นฉบับการค้นคว้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขที่แท็กถูกทดสอบบนอากาศ และการทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารภายใต้เงื่อนไขที่แท็ก ถูกติดตั้งบนหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก (ประยุกต์ใช้งานจริง) ซึ่งในการทดสอบนั้นแท็กจะถูก หมุนไปในทิศการติดต่อสื่อสารต่างๆ (ทิศ  $x$   $y$  และ  $z$ ) นอกจากนี้ได้แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศทั้งสามตัวกับแท็ก และผลการทดสอบระยะห่างสูงสุดในการ ติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็ก

บทที่ 6 นำเสนอบทสรุปผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ รวมถึงข้อเสนอแนะใน การพัฒนาสายอากาศต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติสายอากาศระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้ที่ถูกเผยแพร่ในงานวิจัยที่มีมาก่อนกับสายอากาศที่นำเสนอ

เอกสารอ้างอิง	บริเวณการติดต่อสื่อสาร	ย่านความถี่ (MHz)	เทคนิคสำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศ เครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก	คุณสมบัติของสายอากาศ			ระยะการอ่านข้อมูลสูงสุดในทิศทางติดต่อสื่อสารหลัก (เซนติเมตร)			
				ทิศทางการไหลของกระแส	ความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มและสม่ำเสมอ					
					$H_x$	$H_y$	$H_z$	x	y	z
[15]	สนามระยะใกล้	890 ถึง 930	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	ทิศทางเดียว	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	10.00
[16] ถึง [18]	สนามระยะใกล้และสนามระยะไกล	900	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	ทิศทางเดียว	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	N/A
[19]	สนามระยะใกล้	840 ถึง 960	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	ทิศทางเดียว	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	2.40
[20]	สนามระยะใกล้	860 ถึง 871	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	ทิศทางเดียว	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	16.10
[21]	สนามระยะใกล้	845 ถึง 928	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	ทิศทางเดียว	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	1.90
สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง	สนามระยะใกล้	892.5 ถึง 942.5	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	ทิศทางเดียว	✓	✓	✓	9.00	13.00	25.00

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 บทนำ

ในบทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องสำหรับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลย่านความถี่เอชเอฟอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ โดยในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีพื้นฐานของระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และเปรียบเทียบคุณลักษณะความถี่ของระบบอาร์เอฟไอดีเพื่อความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานรวมถึงได้นำเสนอหลักการติดต่อสื่อสารในบริเวณต่างๆของสายอากาศ เนื่องจากหลักการดังกล่าวส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของสายอากาศเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นของเหลวหรือมีความชื้น นอกจากนี้ได้นำเสนอเทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก และเทคนิคการทดสอบการติดต่อสื่อสารในบริเวณสนามระยะใกล้ ในหัวข้อสุดท้ายได้นำเสนอทฤษฎีสายอากาศบ่วง ซึ่งเป็นโครงสร้างสายอากาศที่ได้รับความนิยมในการออกแบบเป็นสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ และนำเสนอบทความวิจัยที่มีมาก่อน

### 2.2 ระบบอาร์เอฟไอดี

ปัจจุบันระบบระบุลักษณะอัตโนมัติ (Auto-ID : Automatic Identification) มีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวัน เนื่องจากระบบนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน เช่น โลจิสติกส์ ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีก และโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์ในการระบุลักษณะของมนุษย์ สัตว์ สินค้า และวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ซึ่งระบบระบุลักษณะอัตโนมัติแบบต่างๆนั้น ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจโดยเฉพาะ เนื่องจากมีความสามารถในการบันทึกข้อมูลที่รวดเร็วและมีความแม่นยำในการระบุลักษณะ แทนที่จะเป็นการจดบันทึกด้วยมนุษย์ซึ่งมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

ระบบระบุลักษณะแบบอัตโนมัติที่คนส่วนใหญ่คุ้นเคย คือ เทคโนโลยีรหัสแท่ง ซึ่งนิยมนำมาใช้ในการชำระราคาสินค้า นอกจากนี้ระบบดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์กับทางการแพทย์ แต่ข้อเสียของระบบดังกล่าว คือ ระบบดังกล่าวมีความสามารถในการเก็บข้อมูลได้น้อยและไม่สามารถแก้ไขข้อมูลภายในรหัสแท่งได้ นอกจากนี้ระบบดังกล่าวสามารถอ่านข้อมูลในบริเวณใกล้และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่มีความชื้นบางครั้งเครื่องอ่านข้อมูลไม่สามารถอ่านรหัสแท่งได้ ต่อมาระบบระบุลักษณะได้มีการพัฒนาเป็นระบบสมาร์ทการ์ด ระบบดังกล่าวสามารถเก็บข้อมูลจำนวนมากและมีความปลอดภัยสูง แต่ระบบดังกล่าวมีข้อจำกัดในเรื่องการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวสมาร์ทการ์ดกับเครื่องอ่านข้อมูล เนื่องจากสมาร์ทการ์ดจะอ่านข้อมูลได้เฉพาะภายในบริเวณที่กำหนดไว้เท่านั้น ทำให้ไม่สะดวกในการประยุกต์ใช้งานกับการตรวจนับจำนวนสินค้าทั้งหมดภายในตู้สินค้า ซึ่งแสดงการประยุกต์ใช้งานบาร์โค้ดและสมาร์ทการ์ดดังรูปที่ 2.1






รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้งานระบบบาร์โค้ดและสมาร์ทการ์ด

ปัจจุบันระบบที่ได้รับความนิยมที่มีการประยุกต์ใช้งานเพิ่มขึ้นในการระบุลักษณะ คือ ระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งเกิดจากความต้องการในการใช้งานในรูปแบบต่างๆที่มีข้อจำกัดในอดีต โดยการพัฒนา ระบบอาร์เอฟไอดีจะเกี่ยวข้องกับหลายเทคโนโลยี เช่น เทคโนโลยีความถี่สูง เทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ เทคโนโลยีการตรวจสอบข้อมูล เทคโนโลยีวิทยาการรหัสลับ เทคโนโลยีการสื่อสาร และเทคโนโลยีการผลิต เป็นต้น สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีเริ่มมีการนำมาใช้งาน ตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่สอง โดยระบบอาร์เอฟไอดีมีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายในคล้ายกับเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด กล่าวคือ ข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำของแท็ก ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กจะมีลักษณะแบบไร้สาย โดยใช้หลักการการสะท้อนคลื่นเป็นแบบพาสซีฟ โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลจะส่งสัญญาณผ่านคลื่นความถี่วิทยุไปยังแท็กที่ต้องการทำการอ่านข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของระบบระบุลักษณะอัตโนมัติแต่ละประเภท ระบบอาร์เอฟไอดีมีข้อดีมากมาย เช่น สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้หลายๆตัวพร้อมกันในการอ่านครั้งเดียว สามารถอ่านข้อมูลได้แม้อยู่ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี อ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว มีความทนทานต่อความเปียกชื้น แร่สนั่นสะเทือน และการกระทบกระแทก เป็นต้น ดังนั้นระบบอาร์เอฟไอดีมีความได้เปรียบในการใช้งานมากกว่าเทคโนโลยีอัตโนมัติแบบอื่นๆ ดังนั้นในปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ ระบบกองคลังสินค้าในอุตสาหกรรม การควบคุมการเข้าออกสถานที่ การระบุตัวตนของสัตว์และมนุษย์ และเริ่มมีการนำระบบอาร์เอฟไอดีไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยทั่วไปความถี่ที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีสามารถแบ่งออกเป็น 4 ย่านความถี่ คือ ย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่สูง ย่านความถี่ยูเอชเอฟ และย่านความถี่ไมโครเวฟ

ระบบอาร์เอฟไอดีที่ทำงานในย่านความถี่ต่ำ (เช่น ระบบอาร์เอฟไอดีความถี่ต่ำและความถี่สูง) มีระยะในการติดต่อสื่อสารระยะใกล้และมีอัตราการอ่านข้อมูลช้า แต่มีความสามารถในการทำงานใกล้กับวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นโลหะหรือของเหลว ในขณะที่ระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการทำงานในย่านความถี่สูง (เช่น ความถี่ยูเอชเอฟและความถี่ไมโครเวฟ) โดยปกติมีอัตราการส่งผ่านข้อมูลเร็วและมีระยะในการอ่านข้อมูลระยะไกล แต่ระบบดังกล่าวจะอ่อนไหวง่ายเมื่อนำไปใช้งานใกล้กับวัสดุที่เป็นของเหลวหรือโลหะ โดยเปรียบเทียบคุณลักษณะความถี่ของระบบอาร์เอฟไอดีในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา หากมีผู้ใดที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณลักษณะความถี่ของระบบอาร์เอฟไอดี [22]

ย่านความถี่ระบบอาร์เอฟไอดี	ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง	ความถี่ยูเอชเอฟ	ความถี่ไมโครเวฟ
ช่วงความถี่	125 kHz และ 134 kHz	13.56 MHz	840 MHz ถึง 960 MHz	2.4 GHz และ 5.8 GHz
มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO11784&amp;11785</li> <li>ISO/IEC 18000-2</li> <li>ISO14223-1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO/IEC18000-3</li> <li>EPC class-1</li> <li>ISO15693</li> <li>ISO14443</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO/IEC18000-6</li> <li>EPC class-0, class-1</li> </ul>	ISO/IEC18000-4
ระยะการอ่าน	น้อยกว่า 0.5 เมตร	ประมาณ 1 เมตร	ประมาณ 4 เมตร ถึง 5 เมตร	ประมาณ 4 เมตร ถึง 5 เมตร
ประเภทแท็กที่มีการใช้งานในระบบ	พาสซีฟ	พาสซีฟ	แอคทีฟ และ พาสซีฟ	แอคทีฟ และ พาสซีฟ
เทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็กทั่วไป	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	การเชื่อมต่อแบบการกระจัดกระจายย้อนกลับ	การเชื่อมต่อแบบการกระจัดกระจายย้อนกลับ
การประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไป	<ul style="list-style-type: none"> <li>ควบคุมการเข้าออก</li> <li>ระบบติดตามสัตว์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>สมาร์ทการ์ด</li> <li>ควบคุมการเข้าออก</li> <li>รหัสการชำระเงิน</li> <li>ระบบติดตามสัมภาระ</li> <li>ระบบการยืมคืนหนังสือในห้องสมุด</li> <li>ระบบการติดตามในเครื่องนุ่งห่ม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ระบบการติดตามกล่องพัสดุและพาเลทภายในโรงงานอุตสาหกรรม</li> <li>ระบบเก็บค่าผ่านทางอิเล็กทรอนิกส์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ระบบเก็บค่าผ่านทางอิเล็กทรอนิกส์</li> <li>ระบบตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อม</li> </ul>
อัตราความเร็วในการอ่านแท็ก	ช้า  เร็ว			
ความสามารถในการอ่านเมื่อใช้งานใกล้กับพื้นผิวมีความชื้นหรือโลหะ	ดีขึ้น  แย่ลง			
ขนาดของแท็ก	ใหญ่  เล็ก			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 พบว่าระบบอาร์เอฟไอดีในแต่ละย่านความถี่มีประสิทธิภาพในการใช้งานและการนำไปประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานที่มีความสามารถในการอ่านสายอากาศแท็กหลายตัวพร้อมกันได้ และสามารถอ่านสายอากาศแท็กหลายตัวพร้อมกันด้วยเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการทำงานของผู้ใช้งาน สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟมีการใช้งานในย่านความถี่ 840 MHz ถึง 960 MHz ซึ่งจะมีค่าความยาวคลื่นประมาณ 33 เซนติเมตร ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟถูกควบคุมโดยมาตรฐาน ISO/IEC 18000-6 และ Gen 2-จาก EPC global แท็กและเครื่องอ่านข้อมูลที่ทำการผลิตจะถูกควบคุมภายใต้ EPC global สำหรับ class 0 class 1 และ class 2 ยังคงมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยการใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีในแต่ละประเทศก็แตกต่างกันออกไปตามข้อกำหนดของแต่ละประเทศดังตารางที่ 2.2 จากตารางที่ 2.2 พบว่าประเทศไทยมีการใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานความถี่เอชเอฟของระบบอาร์เอฟไอดีที่อนุญาตให้ใช้ในแต่ละประเทศ

ประเทศ	ช่วงความถี่ที่ใช้งาน (MHz)	แบนด์วิดท์ (MHz)
นิวซีแลนด์	864 ถึง 868	4
สหรัฐอเมริกา	902 ถึง 928	26
เกาหลี	910 ถึง 914	4
จีน	840 ถึง 844	4
	917 ถึง 922	5
ไทย	920 ถึง 925	5
ออสเตรเลีย	920 ถึง 926	6
ไต้หวัน	922 ถึง 928	6
ญี่ปุ่น	952 ถึง 954	2

อย่างไรก็ตามระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟที่มีระยะในการอ่านข้อมูลระยะไกล มีข้อเสีย คือ ระบบดังกล่าวจะอ่อนไหวง่ายเมื่อนำไปใช้งานใกล้ร่วมกับวัสดุที่เป็นของเหลวหรือโลหะ ทำให้ปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟได้มีการพัฒนาให้มีการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก 2 รูปแบบ คือ การติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้ (Near-field) และการติดต่อสื่อสารในสนามระยะไกล (Far-field) สำหรับการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้ใช้เทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็กด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ซึ่งเทคนิคการติดต่อสื่อสารดังกล่าวช่วยให้ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสามารถทำงานร่วมกับวัสดุที่เป็นของเหลวหรือโลหะ และด้วยเหตุนี้ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟจึงได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการติดตามสินค้าทางการแพทย์ เกษษกรรม และอุตสาหกรรมค้าปลีก สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟการติดต่อสื่อสารในเอกสารนี้เป็นเอกสารทศวรรษวิสาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกต่อนโยบายหรือขั้นตอนการดำเนินงานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามระยะไกล ใช้เทคนิคการติดต่อสื่อสารด้วยเทคนิคการเชื่อมต่อแบบการกระจายย้อนกลับ (Backscatter Coupling) ข้อดีของระบบการติดต่อสื่อสารด้วยเทคนิคดังกล่าว คือ ระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กสามารถติดต่อสื่อสารได้ในระยะไกล แต่เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวัสดุที่เป็นของเหลวหรือวัสดุที่เป็นโลหะ ทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กลดลง ดังนั้นระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะไกลจึงนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานในการติดตามพาเลทสินค้าหรือกล่องพัสดุภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการเปรียบเทียบสมรรถนะและการประยุกต์ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้และย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะไกลในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสนามระยะใกล้และยูเอชเอฟสนามระยะไกล

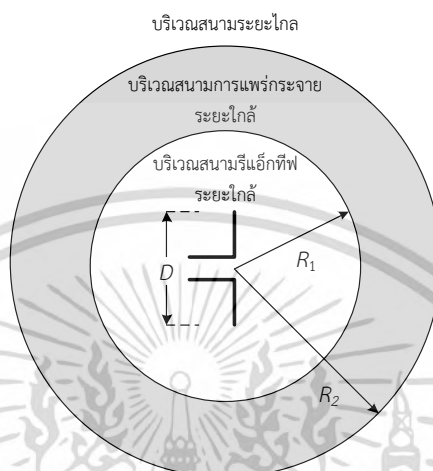
คุณสมบัติ	ประเภทของอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสนามระยะไกล	
	สนามระยะใกล้	สนามระยะไกล
เทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก	การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำ	การเชื่อมต่อแบบการกระจายย้อนกลับ
ระยะการอ่านข้อมูล	ประมาณ 30 เซนติเมตร	ระยะสูงสุด 4 เมตร ถึง 5 เมตร
การทำงานของสายอากาศเมื่ออยู่ใกล้วัสดุที่เป็นโลหะและของเหลว	สามารถทำงานเมื่ออยู่ใกล้กับวัสดุที่เป็นโลหะและของเหลว	ได้รับผลการกระทบรุนแรงเมื่อทำงานใกล้กับวัสดุที่เป็นโลหะและของเหลว
ปัญหาการรบกวนระหว่างแท็ก	มีระยะในการติดต่อสื่อสารใกล้ลดปัญหาการอ่านแท็กที่ไม่ต้องการ	มีระยะในการติดต่อสื่อสารไกลทำให้บางครั้งมีการอ่านแท็กที่ไม่ต้องการ
ความสามารถในการอ่านแท็กในช่วงเวลาเดียวกัน	สามารถอ่านแท็กพร้อมกันหลายตัวในช่วงเวลาเดียวกัน	
การประยุกต์ใช้งาน	ระบบติดตามการจัดการสินค้าคงคลังทางการแพทย์ (เช่น เลือด ยา วัคซีน)	ระบบติดตามพาเลทและกล่องพัสดุในโรงงานอุตสาหกรรม

## 2.3 ทฤษฎีการติดต่อสื่อสารของสายอากาศในบริเวณต่างๆ

จากหัวข้อที่ 2.2 ได้มีการนำเสนอระบบอาร์เอฟไอดีที่มีบริเวณในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก 2 รูปแบบ คือ บริเวณการติดต่อสื่อสารในสนามระยะใกล้และบริเวณติดต่อสื่อสารกับแท็กในระยะไกล ซึ่งความสามารถในการสื่อสารในบริเวณที่ต่างกันนั้น ได้ส่งผลต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการสื่อสารเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก คือ สายอากาศ ดังนั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงหลักการการสื่อสารในบริเวณต่างๆของสายอากาศ

สำหรับบริเวณในการสื่อสารของสายอากาศนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณ คือ การติดต่อสื่อสารในบริเวณรีแอ็กทีฟระยะใกล้ บริเวณสนามการแพร่กระจายระยะใกล้ และบริเวณสนามระยะไกล ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 บริเวณสนามของสายอากาศ [12]

### 2.3.1 บริเวณสนามรีแอ็กทีฟระยะใกล้ (Reactive near-field)

บริเวณสนามระยะใกล้รีแอ็กทีฟ คือ พื้นที่โดยรอบที่อยู่ใกล้สายอากาศ ในบริเวณสนามรีแอ็กทีฟระยะใกล้ กำลังงานจะถูกเก็บไว้ในรูปของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าแต่สนามทั้งสองจะไม่มี การแพร่กระจายออกมา ซึ่งกำลังงานนี้จะถูกแลกเปลี่ยนระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณและสนามทั้งสอง ในบริเวณสนามระยะใกล้ นั้นอาจมีสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กที่เป็นองค์ประกอบหลักของกำลังงานที่ถูกสร้างขึ้นในบริเวณดังกล่าว สำหรับสายอากาศไดโพลเอเล็คทริกจะมีสนามไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบหลักของกำลังงานที่ถูกสร้างขึ้น ในขณะที่สายอากาศไดโพลแม่เหล็ก หรือสายอากาศบ่วงจะมีสนามแม่เหล็กเป็นองค์ประกอบหลักของกำลังงาน สำหรับสายอากาศที่มีสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก ขนาดของสายอากาศที่ใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นแล้ว สายอากาศยังคงมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นบริเวณการกระจายของสนามระยะใกล้รีแอ็กทีฟสามารถกำหนดได้ดังสมการที่ 2.1 ในขณะที่สายอากาศที่มีสนามไฟฟ้าขนาดใหญ่ สายอากาศดังกล่าวจะมีบริเวณการกระจายของสนามระยะใกล้รีแอ็กทีฟดังสมการที่ 2.2 [12]

$$R = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (2.1)$$

$$R = 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.2)$$

โดยที่  $D$  คือ ขนาดของสายอากาศที่ใหญ่ที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 บริเวณสนามการแพร่กระจายระยะใกล้ (Radiating near-field)

บริเวณสนามการแพร่กระจายระยะใกล้ นั้น ความเข้มของสนามการกระจายจะแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศไปยังจุดที่พิจารณา ซึ่งกำลังงานที่ถูกกระจายออกมาจะมีการแลกเปลี่ยนกำลังงานระหว่างแหล่งกำเนิดและสนามระยะใกล้รีแอกทีฟ ทำให้สายอากาศมีแบบรูปที่เรียบขึ้นและเริ่มมีลักษณะเป็นลำคลื่น สำหรับสายอากาศที่มีสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก สนามการแพร่กระจายระยะใกล้ของสายอากาศอาจไม่คงที่ ในขณะที่สายอากาศสนามไฟฟ้าขนาดใหญ่พบว่าบริเวณสนามการแพร่กระจายระยะใกล้จะถูกกำหนดได้ดังสมการที่ 2.3 นอกจากนี้พบว่าการกระจายสนามการแพร่กระจายระยะใกล้ ค่ากำลังงานที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศจะมีค่าจริงบวกกับค่าจินตภาพ (Power = Real + Imaginary)

$$0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R < \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.3)$$

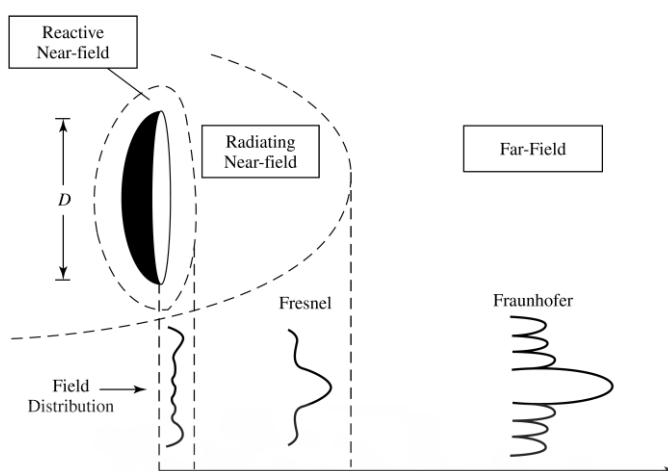
### 2.3.3 บริเวณสนามระยะไกล (Far-field)

สำหรับบริเวณสนามระยะไกลนั้นในบริเวณนี้จะมีทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีทิศทางที่ตั้งฉากกันซึ่งกันและกัน และมีทิศทางในการแพร่กระจายคลื่น ในบริเวณนี้จะมีการเก็บค่ากำลังงานที่เป็นค่าจริง จึงทำให้สายอากาศในบริเวณนี้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีลำคลื่นที่ชัดเจน ประกอบไปด้วย ลำคลื่นหลักและลำคลื่นรอง สามารถแพร่กระจาย ซึ่งการกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณดังกล่าวจะอยู่ในช่วงระยะทางดังสมการที่ 2.4 ซึ่งเป็นช่วงระยะที่สายอากาศเริ่มมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า บริเวณสนามระยะไกลไปยังระยะอนันต์

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.4)$$

ซึ่งในการสื่อสารของสายอากาศที่บริเวณต่าง ๆ นั้น ในแต่ละบริเวณจะมีแบบรูปของแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดและเฟส โดยบริเวณใกล้กับสายอากาศหรือบริเวณรีแอกทีฟสนามระยะใกล้ นั้น จะมีรูปร่างของสนามที่แพร่กระจายออกที่ไม่ชัดเจน ทำให้ไม่สามารถมองเห็นลำคลื่นของสายอากาศได้ จากนั้นในบริเวณของการแพร่กระจายสนามระยะใกล้จะสังเกตเห็นได้ว่าบริเวณสนามที่มีการแพร่กระจายออกมาจะเริ่มเรียบขึ้นและเริ่มมีลำคลื่น และสุดท้ายในบริเวณของสนามระยะไกลนั้น แบบรูปของสนามที่แพร่กระจายออกมาจะสังเกตเห็นลำคลื่นหลัก ลำคลื่นย่อยได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 2.3 สำหรับในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เจาะจงเฉพาะการสื่อสารในบริเวณสนามระยะใกล้ เนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่นำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดี ยานความถี่เอชเอฟและสามารถทำงานร่วมกับหลอดเก็บเลือดตัวอย่างของผู้ป่วย (Micro-centrifuge tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดสายอากาศในบริเวณการสื่อสารต่างๆ [12]

ปัจจุบันการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้ (Near-field communication) ได้รับความสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้งานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากระบบการติดต่อสื่อสารดังกล่าวนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งในการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องอ่านข้อมูลที่สามารถติดต่อสื่อสารในสนามระยะใกล้กับชิพที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในสนามระยะใกล้ (แท็ก) โดยการทำงานของระบบการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้นั้น การส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ภาคส่งและภาครับจะถูกออกแบบให้มีความแตกต่างกับระบบการติดต่อสื่อสารไร้สายทางคลื่นวิทยุอื่นๆ เนื่องจากความสามารถในการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้ นั้น จะขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภาคส่งกับอุปกรณ์ภาครับ แทนที่จะเป็นแพร่กระจายของคลื่นความถี่วิทยุ เช่น Wi-Fi นอกจากนี้ยังพบว่าอุปกรณ์ในการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้สามารถทำงานในอุปกรณ์ที่มีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากคุณสมบัติในการติดต่อสื่อสารมีระยะทางใกล้ สำหรับหลักการทำงานของระบบการติดต่อสื่อสารสนามระยะใกล้สามารถแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดการทำงานแบบแอ็คทีฟ และโหมดการทำงานแบบพาสซีฟ

- โหมดการทำงานแบบแอ็คทีฟ สำหรับการทำงานในโหมดนี้ อุปกรณ์ภาคส่งและภาครับจะสร้างคลื่นความถี่วิทยุเพื่อใช้ในการส่งผ่านข้อมูล (โดยปกติการทำงานในโหมดนี้ อุปกรณ์ภาคส่งและภาครับจะมีแหล่งจ่ายกำลังงาน) โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นภาคส่งของการติดต่อสื่อสารจะสร้างสนามที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเป้าหมาย (ภาครับ) ในระหว่างการติดต่อสื่อสารนั้น ภาคส่งจะเริ่มต้นทำการติดต่อสื่อสารอย่างเฉพาะเจาะจงด้วยความเร็วเฉพาะ ในขณะที่ภาครับก็จะทำการค้นหาด้วยความเร็วและทำการตอบกลับไปยังอุปกรณ์ภาคส่ง ซึ่งการทำงานจะสิ้นสุดลงเมื่ออุปกรณ์ทั้งสองถูกเคลื่อนที่ออกจากระยะในการอ่านข้อมูลหรือมีคำสั่งหยุดการทำงาน นอกจากนี้ยังพบว่าระยะในการติดต่อสื่อสารจะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างการติดต่อสื่อสาร

- โหมดการทำงานแบบพาสซีฟ จะมีอุปกรณ์ที่สามารถสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เพียงหนึ่งอุปกรณ์เท่านั้น ในโหมดการทำงานนี้ อุปกรณ์ภาคส่งจะสร้างสนามพาหะและอุปกรณ์ภาครับจะตอบกลับโดยการมอดูเลตสนามที่เข้ามากระตุ้น ซึ่งในโหมดการทำงานนี้ อุปกรณ์ภาครับหรือ

อุปกรณ์เป้าหมายอาจจะมีการเก็บเกี่ยวกำลังงานที่ใช้ในการทำงานจากอุปกรณ์ภาคส่งที่ทำการสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจึงทำให้อุปกรณ์ภาครับกลายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในส่งผ่านสัญญาณ

## 2.4 เทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก

สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กพาสซีฟในระบบอาร์เอฟไอดีนั้นมีหลายเทคนิคการเชื่อมต่อที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร แต่ละเทคนิคได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในระยะการอ่านข้อมูลที่แตกต่างกัน สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการทำงานในสนามระยะใกล้ในย่านความถี่ยูเอชเอฟนั้น นิยมใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำแม่เหล็กในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กเช่นเดียวกับระบบอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงที่ต้องการใช้ระยะในการติดต่อสื่อสารในระยะใกล้ และสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับวัสดุที่เป็นของเหลวได้

ระบบอาร์เอฟไอดีโดยทั่วไปมีบริเวณการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กชนิดพาสซีฟ 2 วิธี คือ การเชื่อมต่อบริเวณสนามระยะใกล้ (Near-field coupling) และการเชื่อมต่อบริเวณสนามระยะไกล (Far-field coupling) [6] ซึ่งการเชื่อมต่อสนามระยะใกล้นั้นจะใช้เทคนิคในการเชื่อมต่อสองรูปแบบ คือ การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Inductive coupling) และการเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้า (Capacitive coupling) ในขณะที่การเชื่อมต่อบริเวณสนามระยะไกลจะใช้เทคนิคการติดต่อสื่อสารด้วยการเชื่อมต่อกระจัดกระจายย้อนกลับ (Backscattering coupling) ซึ่งแต่ละประเภทของการเชื่อมต่อนั้น มีผลต่อระยะในการติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดี รวมถึงความถี่และอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดี โดยระยะในการติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดีสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะใกล้ (Close Range) อยู่ในช่วง 1 เซนติเมตร ระยะรีโมท (Remote) อยู่ในช่วง 1 เซนติเมตรและ 1 เมตร ระยะไกล (Long Range) มากกว่า 1 เมตร สำหรับประเภทของการเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้าโดยปกติถูกใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารระยะใกล้ การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารในระยะรีโมท และระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการเชื่อมต่อแบบกระจัดกระจายย้อนกลับถูกใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารระยะไกลกว่า 1 เมตร [9]

### 2.4.1 การเชื่อมต่อบริเวณสนามระยะใกล้ (Near-field Coupling)

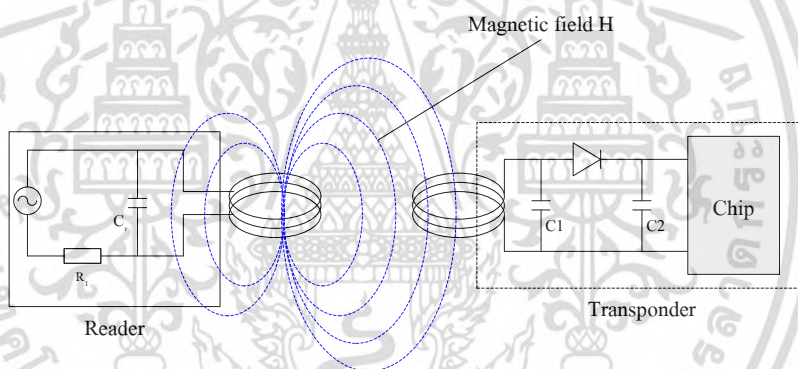
สำหรับการเชื่อมต่อบริเวณสนามระยะใกล้ นั้น สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสามารถส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศ ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก โดยการเชื่อมตอดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็นสองกรณี [6] คือการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และการเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้า

#### 2.4.1.1 การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

หลักการทำงานของ การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก คือ การถ่ายโอนกำลังงานจากวงจรไฟฟ้าวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง โดยใช้เทคนิคการถ่ายโอนกำลังงานทางการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก สำหรับการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กของระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการใช้งานนั้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่านข้อมูลและแท็กจะมีการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก ที่เกิดจากขดลวดในเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก เรียกว่า สายอากาศ ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายโอนกำลังงานของทั้งสองอุปกรณ์ สำหรับการถ่ายโอนกำลังงานจะมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) ที่ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านพื้นผิวปิดจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบบ่วง ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดจากสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลเหนี่ยวนำแรงดันทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force) ในสายอากาศของแท็ก ทำให้เกิดกระแสไหลในบริเวณของสายอากาศ โดยแรงดันเหนี่ยวนำนั้นจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กในทิศตรงกันข้าม

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีนั้นเมื่อแท็กถูกวางในตำแหน่งที่ใกล้เครื่องอ่านข้อมูล สนามจากขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูลจะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับขดลวดของแท็ก ทำให้มีสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งตกกระทบกับขดลวดของสายอากาศแท็ก ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวด ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำเข้ากระบวนการการกรองสัญญาณ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป [23] ทำให้แท็กสามารถส่งผ่านข้อมูลที่อยู่ภายในแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูลได้ ทำให้เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ดังรูปที่ 2.4

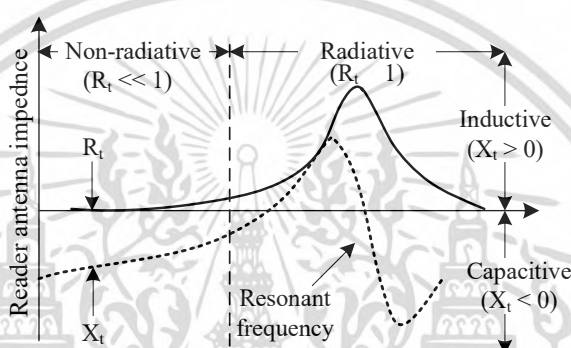


รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก [23]

ในการติดต่อสื่อสารด้วยการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กส่วนมากกำลังงานรีแอกทีฟจะถูกเก็บในรูปแบบของสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะไวต่อวัตถุที่มีค่าสภาพความขบขิมแม่เหล็กสูง และสามารถทำงานร่วมกับวัตถุที่เป็นโลหะและของเหลวได้ ซึ่งแตกต่างกับการเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้าที่กำลังงานรีแอกทีฟจะถูกเก็บในรูปแบบสนามไฟฟ้ามีผลต่อวัตถุที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสูง สำหรับตัวอย่างโครงสร้างสายอากาศที่สามารถเหนี่ยวนำสนามระยะใกล้ คือ สายอากาศขดลวด สายอากาศบ่วง และสายอากาศตัวเก็บประจุแผ่นขนาน (Parallel plate capacitor) [8, 23, 24] การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กนั้นมีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับบริเวณที่แตกต่างกันของอิมพีแดนซ์สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.5 ในกรณีของสายอากาศไดโพล เมื่อความต้านทานการแพร่กระจายต่ำ ทำให้กำลังงานไม่ถูกแพร่กระจายและถูกจำกัดในสนามระยะใกล้ (บริเวณที่ไม่มีการแพร่กระจายคลื่น) ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเหนี่ยวนำหรือการเก็บประจุ และที่ความถี่ต่ำสายอากาศไดโพลนั้นจะมีการเก็บประจุสูงขึ้น (แตกต่างกับสายอากาศบ่วงที่จะมีการเหนี่ยวนำที่สูงขึ้น) เมื่อความต้านทานการแพร่กระจายสูง สายอากาศไดโพลจะมีการแพร่กระจายและบริเวณสนามระยะใกล้สามารถเกิดการ

เหนี่ยวนำหรือการเก็บประจุได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับความถี่ที่มีการใช้งาน โดยปกติสายอากาศที่มีการแพร่กระจายต่ำจะเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในสนามระยะใกล้

ดังนั้นในการออกแบบการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการกระจายกำลังงานจำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่านข้อมูล และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่แท้ก มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท้ก เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงขึ้น พบว่าค่าเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของแท้กจะลดลง ซึ่งจะทำให้มีการลดขนาดของแท้กลงได้ ขณะเดียวกันจะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กจึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของแท้กและระยะทางที่ต้องการใช้งาน



รูปที่ 2.5 บริเวณที่แตกต่างของอิมพีแดนซ์สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (สำหรับสายอากาศไดโพลปกติ) [6]

สำหรับสายอากาศที่นิยมนำมาใช้ในการออกแบบในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ คือ สายอากาศบวง เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้จะใช้สนามแม่เหล็กระยะใกล้ (Magnetic in Near-field) ในการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท้ก ซึ่งการทำให้เกิดสนามโดยสายอากาศบวงนั้นจะไม่แพร่กระจายคลื่น แต่จะทำให้คลื่นอ่อนลงมากกว่า ความเข้มสนามถูกลดลงด้วย  $r^{-3}$  (เมื่อ  $r$  เท่ากับ ระยะห่างจากสายอากาศ) ในสนามระยะใกล้  $r^{-3}$  เป็นปัจจัยหลักในการจำกัดระยะในการติดต่อสื่อสารในระบบอาร์เอฟไอดี [25]

#### 2.4.1.2 การเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้า

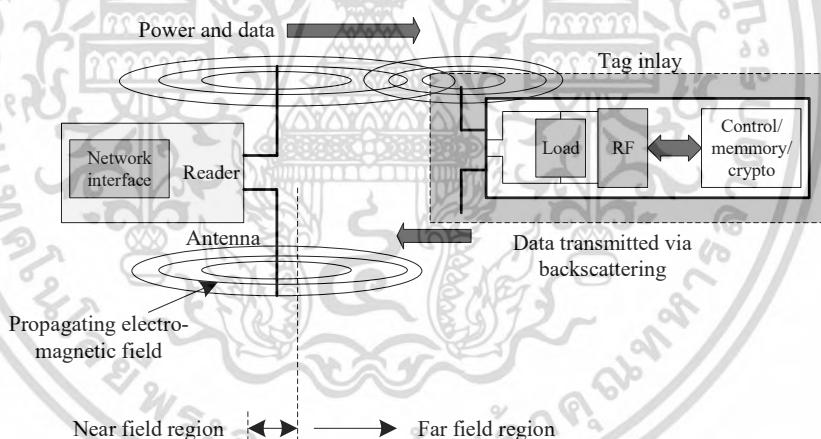
สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้าถูกนำมาใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารระยะใกล้ โดยรูปแบบของระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้การเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้าต้องการการเชื่อมต่อในระยะใกล้ ซึ่งการเชื่อมต่อชนิดนี้จะใช้ผลกระทบที่เกิดจากการเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท้ก

ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้การเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้าทำงานได้ดีที่สุดเมื่ออุปกรณ์ที่มีการใช้งานคล้ายกับระบบสมาร์ทการ์ด ซึ่งการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท้กจะเกิดขึ้นได้ก็เมื่อแท้กถูกวางใกล้กับสายอากาศมากๆ ซึ่งการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กจะใช้หลักการของขั้วไฟฟ้า(Electrodes) โดยแผ่นของตัวเก็บประจุจะทำให้เกิดการเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กจะทำให้เกิดการส่งผ่านของสัญญาณ โดยสัญญาณ AC ที่ถูกสร้างโดยเครื่องอ่านข้อมูลก็จะถูกยกระดับสัญญาณและปรับระดับสัญญาณที่อยู่ภายในแท็กอาร์เอฟไอดีและถูกใช้เป็นการกำลังงานให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ภายในแท็ก จากนั้นข้อมูลที่อยู่ภายในแท็กก็จะถูกส่งกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูลโดยการไหลดมอดูเลต

#### 2.4.2 การเชื่อมต่อสนามระยะไกล (Far-field Coupling) [22]

สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณของสนามระยะไกลนั้นมีการแพร่กระจายอยู่โดยธรรมชาติ การเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นจะเกิดการสะสมพลังงาน ซึ่งศักยภาพในการเก็บพลังงานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะของสายอากาศแท็กในแต่ละรูปแบบ ซึ่งกำลังงานส่วนหนึ่งจะเกิดขึ้นบนสายอากาศแท็กและอีกส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับออกไปอันเป็นผลมาจากอิมพีแดนซ์แมตชิ่งระหว่างโครงสร้างของสายอากาศแท็กและวงจรไหลด การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างแมตชิ่งหรือไหลดบนโครงสร้างของสายอากาศแท็กจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังงานที่สะท้อนกลับ ซึ่งสามารถเรียกเทคนิคที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่า เทคนิคการกระจายย้อนกลับ (Backscattering) แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การติดต่อสื่อสารในสนามระยะไกลด้วยการเชื่อมต่อแบบกระจายย้อนกลับ [22]

การเชื่อมต่อในสนามระยะไกลโดยปกติจะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการสื่อสารไกล โดยมีระยะประมาณ 5 เมตร ถึง 10 เมตร ซึ่งแตกต่างกับการสื่อสารในสนามระยะใกล้อย่างสิ้นเชิงโดยในระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการสื่อสารในสนามระยะไกลนั้นจะไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของขอบเขตของสนามที่แพร่กระจาย ส่วนการลดทอนของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในการสื่อสารระยะไกลจะเป็นอัตราส่วน  $1/r^2$  (ซึ่งการสื่อสารในสนามระยะใกล้จะเป็น  $1/r^6$ ) ซึ่งข้อดีของการสื่อสารในสนามระยะไกลด้วยคลื่นพาหะที่มีความถี่สูงที่จะส่งผลให้สามารถสร้างสายอากาศแท็กให้มีขนาดเล็ก ลดขั้นตอนการสร้างชิ้นงานตลอดจนค่าใช้จ่าย นวัตกรรมการออกแบบวงจรที่ได้นำมาผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมเข้ากับเทคโนโลยีซิลิคอนชั้นสูงจะทำให้สร้างสายอากาศแท่งพาสซีฟที่มีศักยภาพสูงเข้าสู่การใช้งานจริงเชิงอุตสาหกรรม

## 2.5 เทคนิคการทดสอบสายอากาศที่มีการสื่อสารในบริเวณสนามระยะใกล้

ระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ย่านความถี่ยูเอชเอฟ เป็นการทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ย่านความถี่ยูเอชเอฟมีการทำงานเช่นเดียวกับอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ย่านความถี่ต่ำหรือความถี่สูง [7] โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสนามระยะสั้นย่านยูเอชเอฟ และแท่งสามารถถูกเชื่อมต่อกันด้วยสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าอย่างใดอย่างหนึ่ง [8] ซึ่งระบบการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก เป็นที่ยอมรับอย่างมากในการประยุกต์ใช้ เนื่องจากมีกำลังงานในส่วนรีแอ็กทีฟมาก ที่ถูกเก็บในรูปของสนามแม่เหล็ก ซึ่งระบบดังกล่าวถูกผลกระทบเพียงอย่างเดียวจากวัตถุที่มีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) สูง และเป็นระบบที่มีความสามารถในการทำงานใกล้เคียงกับวัสดุที่เป็นโลหะและน้ำ ในระบบอาร์เอฟไอดีการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่มีการทำงานในสนามระยะใกล้ นั้น เครื่องอ่านข้อมูลและแท่งถูกเชื่อมต่อกันด้วยสนามแม่เหล็กทำให้สายอากาศมีสนามไฟฟ้าอ่อน ซึ่งในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท่งจำเป็นต้องมีหลักการในการทดสอบการติดต่อสื่อสารดังหัวข้อที่ 2.5.1 นอกจากนี้ในหัวข้อนี้ได้นำเสนอเทคนิคการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในบริเวณสนามระยะใกล้ในหัวข้อที่ 2.5.2

### 2.5.1 เทคนิคการทดสอบความสามารถในการอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบสนามระยะใกล้

เนื่องจากแนวคิดของอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบสนามระยะใกล้มุ่งเน้นให้ระบบยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีมีการทำงานที่ระยะใกล้ และมีวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างจากอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำ และความถี่สูง โดยการทดสอบสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้มีหลายวิธีดังนี้ [6]

1. เครื่องอ่านข้อมูลที่มีกำลังงานสูงสุด โดยใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท่งมาตรฐาน (สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท่งที่ใช้ในสนามระยะไกล) ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่แท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ ซึ่งโดยปกติสามารถอ่านแท่งได้ในระยะไกล นอกจากนี้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลก็ควรที่จะอ่านแท่งได้ เมื่อแท่งถูกเคลื่อนเข้ามาใกล้กับตัวสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล อย่างไรก็ตามในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในบางครั้งมีความต้องการให้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอ่านแท่งในบริเวณใกล้ๆเท่านั้น ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีนี้ สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลนั้นสามารถอ่านแท่งในระยะไกล ซึ่งอาจจะเกินความต้องการในการประยุกต์ใช้งาน

2. ใช้เครื่องอ่านข้อมูลที่มีกำลังงานสูงสุด โดยใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล และแท่งมาตรฐาน (สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท่งที่ใช้ในสนามระยะไกล) เป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท่งสนามระยะใกล้ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เครื่องอ่านข้อมูลที่มีกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานต่ำลงกับแท็กที่มีสมรรถนะสูง สมรรถนะในการอ่านแท็กบนวัสดุที่ไม่เหมาะสมก็ยังคงสามารถอ่านได้

3. ใช้แท็กสนามระยะใกล้ โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมาตรฐานกับเครื่องอ่านข้อมูลกำลังงานสูงสุด โดยแท็กดังกล่าวจะสามารถใช้อ่านกับสายอากาศที่ใช้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ดังนั้นการติดต่อสื่อสารจะตอบสนองเฉพาะบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กที่เข้ม ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

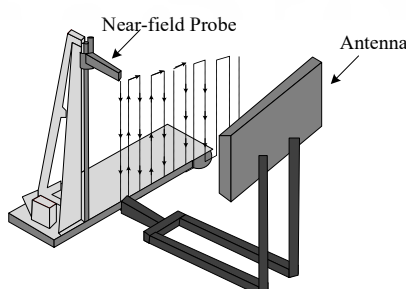
4. ใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กสำหรับสนามระยะใกล้ วิธีการนี้เป็นวิธีการทดสอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดใน การทดสอบระบบอาร์เอฟไอดีในสนามระยะใกล้ แต่ค่าใช้จ่ายในการทดสอบมีราคาสูง และสามารถออกแบบการทดสอบคล้ายกับการทดสอบในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง ซึ่งสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลแบบขดลวดจะสามารถกระจายบริเวณสนามแม่เหล็กได้ดี

## 2.5.2 เทคนิคการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในบริเวณสนามระยะใกล้ [12, 26]

สำหรับวิธีการทดสอบระยะใกล้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากและสามารถใช้ในการทดสอบสายอากาศหนึ่งตัวหรือสายอากาศเฟสอาร์เรย์ที่มีหลายองค์ประกอบ สำหรับการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวจะใช้เทคนิคการสุ่ม (Sampling) สนามที่อยู่ใกล้พื้นผิวที่มีการกระจายสนามออกมา ในการทดสอบนั้นจะใช้โพรบขนาดเล็กในการวัดสนามที่มีการกระจายออกมาจากพื้นผิวของสายอากาศ สำหรับการทดสอบสนามระยะใกล้สามารถแบ่งวิธีการทดสอบออกเป็น 3 วิธี คือ การทดสอบเชิงระนาบ (Planar scanning) การทดสอบเชิงทรงกระบอก (Cylindrical scanning) และการทดสอบเชิงทรงกลม (Spherical scanning)

### 2.5.2.1 การทดสอบสนามระยะใกล้เชิงระนาบ

การทดสอบสนามระยะใกล้เชิงระนาบ สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบจะถูกติดตั้งอยู่กับที่ ในขณะที่โพรบสนามระยะใกล้จะถูกเลื่อนไปยังตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิวของสายอากาศทดสอบ โดยโพรบสนามระยะใกล้จะเลื่อนไปในแนวพิกัดเชิงเส้นตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  การทดสอบระยะใกล้เชิงระนาบถูกแสดงในรูปที่ 2.7

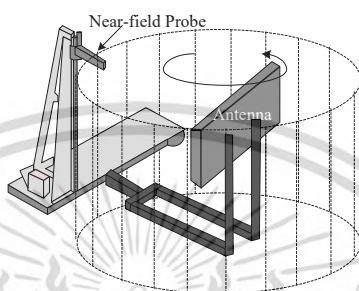


รูปที่ 2.7 วิธีการทดสอบสนามระยะใกล้เชิงระนาบ [12, 26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2.2 การทดสอบสนามระยะใกล้แบบทรงกระบอก

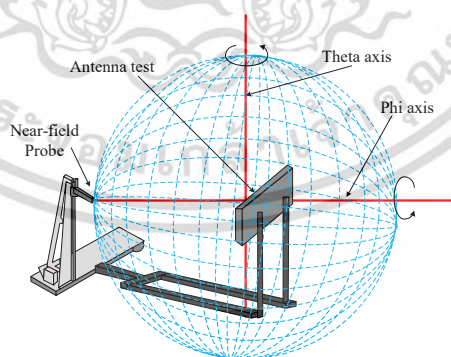
การทดสอบสนามระยะใกล้แบบทรงกระบอกแสดงในรูปที่ 2.8 ในการทดสอบสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบจะถูกติดตั้งเข้ากับชุดหมุนแกนเดียว ในการทดสอบสายอากาศจะถูกหมุนไปรอบแนวแกน  $z$  ในขณะที่โพรบสนามระยะใกล้จะถูกเคลื่อนที่ขนาน (โพรบเคลื่อนที่ในแนวแกน  $y$ ) กับแนวแกนหมุนของชุดหมุนสายอากาศ ซึ่งผลการทดสอบจะเกิดตลอดมุมอะซิมุสและในแนวแกน  $y$  ของบริเวณพื้นผิวทรงกระบอก



รูปที่ 2.8 วิธีการทดสอบสนามระยะใกล้แบบทรงกระบอก [12, 26]

### 2.5.2.3 การทดสอบระยะใกล้แบบทรงกลม

สายอากาศที่อยู่ภายใต้การทดสอบจะถูกติดตั้งบนแนวแกนหมุนมุมทั้งสอง (มุม  $\Phi$  และมุม  $\Theta$ ) โดยโพรบสนามระยะใกล้ถูกติดตั้งให้อยู่กับที่และวางในทิศทางที่อินเตอร์เซกชันกับแนวแกนหมุนทั้งสอง โดยการทดสอบระยะใกล้แบบทรงกลมถูกแสดงในรูปที่ 2.9 สายอากาศที่ถูกทดสอบจะมีสนามที่เกิดขึ้นล้อมรอบพื้นผิวทรงกลมทั้งในมุม  $\Phi$  และ  $\Theta$



รูปที่ 2.9 วิธีการทดสอบสนามระยะใกล้แบบทรงกลม [12, 26]

จากเทคนิคการทดสอบสายอากาศที่นำเสนอข้างต้น พบว่าการทดสอบแต่ละประเภทมีข้อดีข้อเสียในการทดสอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทดสอบสนามระยะใกล้ควรเลือกวิธีการทดสอบให้เหมาะสม เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทดสอบมากที่สุด โดยได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบเอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการพิจารณาใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามระยะใกล้ทั้ง 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.4 อย่างไรก็ตามในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้การทดสอบสนามระยะใกล้เชิงพื้นผิว เนื่องจากการทดสอบดังกล่าวง่ายต่อการติดตั้งและมีความรวดเร็วในการทดสอบ

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบวิธีการทดสอบระยะใกล้ทั้ง 3 ประเภท

คุณสมบัติในการทดสอบ	วิธีการทดสอบระยะใกล้		
	เชิงระนาบ	ทรงกระบอก	ทรงกลม
สายอากาศอัตราขยายสูง	ดีเยี่ยม	ดี	ดี
สายอากาศอัตราขยายต่ำ	แย่	ดี	ดีเยี่ยม
ความสะดวกในการจัดวางตำแหน่งในการทดสอบ	ง่าย	ยาก	ยาก
ความเร็วในการทดสอบ	เร็ว	ปานกลาง	ช้า

## 2.6 ทฤษฎีสายอากาศบ่วง

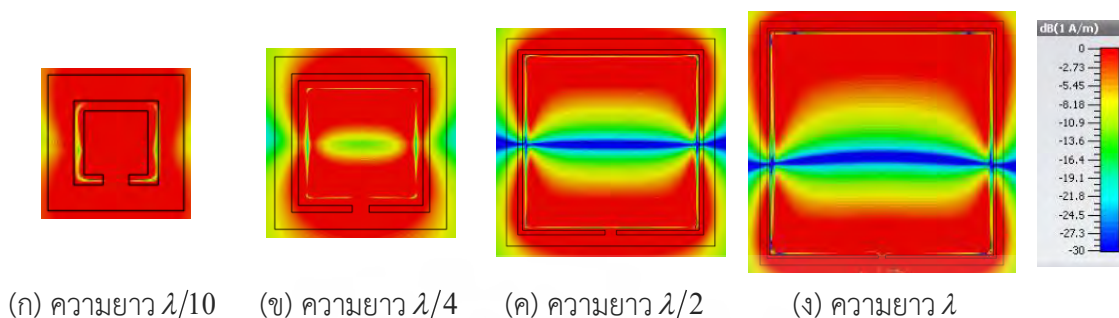
สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้ที่ได้นำเสนอในหัวข้อก่อนนี้ อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก คือ สายอากาศ ซึ่งการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ใช้ในย่านความถี่เอชเอฟและทำงานในบริเวณสนามระยะใกล้ได้นั้นเป็นสิ่งที่ทำหายมากสำหรับระบบในย่านความถี่เอชเอฟ เนื่องจากสายอากาศส่วนใหญ่ในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟเป็นสายอากาศที่มีการทำงานในสนามระยะใกล้เป็นหลัก ดังนั้นจุดเด่นของระบบนี้ คือ การออกแบบสายอากาศให้สามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้มากกว่าสนามไฟฟ้า (เทคนิคเดียวกับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง) โดยมีบริเวณในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กมีระยะใกล้ขึ้น รวมถึงการออกแบบให้สายอากาศกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอตลอดบริเวณ โดยปกติสายอากาศที่นิยมมาออกแบบคือ สายอากาศบ่วง

### 2.6.1 สายอากาศบ่วงทั่วไป [7, 12]

สายอากาศบ่วงเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมและได้รับความสนใจเนื่องจากสายอากาศบ่วงเป็นสายอากาศที่ง่ายต่อการวิเคราะห์และสร้างง่าย โดยปกติโครงสร้างของสายอากาศบ่วงนั้นมีหลากหลายรูปทรง เช่น สี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส สามเหลี่ยม วงรี วงกลม และอื่นๆ สำหรับโครงสร้างที่ได้รับความนิยมมากในสายอากาศบ่วง คือ โครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมและวงกลม สำหรับสายอากาศบ่วงนั้นโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าเล็กและขนาดทางไฟฟ้าใหญ่ สายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าเล็ก คือ สายอากาศบ่วงที่มีความยาวเส้นรอบวงทั้งหมดโดยปกติน้อยกว่าหนึ่งในสิบของความยาวคลื่น ( $C < \lambda/10$ ) ซึ่งสามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มและสม่ำเสมอในบริเวณใกล้กับสายอากาศ ในขณะที่สายอากาศบ่วงที่มีวงรอบขนาดใหญ่จะมีความยาวรอบวงประมาณหนึ่งความยาวคลื่น ซึ่งสายอากาศจะไม่สามารถสร้างการกระจายของสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอในพื้นที่ของสนามระยะใกล้เพราะกระแสที่มีกระจายออกมารอบบ่วงจะมีเฟสที่กลับกันและทำให้กระแสกลายเป็นศูนย์ จึงทำให้การกระจายสนามแม่เหล็กไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วบริเวณของสายอากาศ แสดงความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  ของสายอากาศบ่งทั่วไปที่ความยาวรอบวงในระยะต่างๆ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่งที่มีความยาวรอบวงในระยะต่างๆ

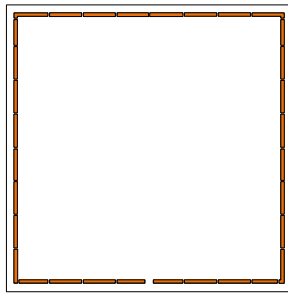
สำหรับสายอากาศบ่งที่มีเส้นรอบวงทางไฟฟ้าเล็กหรือมีเส้นรอบวงเล็กจะมีความต้านทานการแพร่กระจายต่ำและโดยปกติจะมีค่าที่ต่ำกว่าความต้านทานการสูญเสีย ดังนั้นสายอากาศดังกล่าวจะเป็นตัวแพร่กำลังงานไม่ดี ถ้าต้องการให้ความต้านทานการแพร่กำลังงานของสายอากาศบ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือมีค่าเข้าใกล้ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ สามารถทำได้โดยการเพิ่มความยาวของเส้นรอบวงหรือเพิ่มจำนวนรอบของบ่ง ซึ่งข้อดีของสายอากาศบ่งที่มีขนาดทางไฟฟ้าเล็ก คือ สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มและสม่ำเสมอในบริเวณใกล้กับสายอากาศ ส่งผลให้สายอากาศบ่งได้รับความนิยมในการนำมาออกแบบประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดีที่ย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงที่ใช้เทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

### 2.6.2 สายอากาศบ่งเซกเมนต์

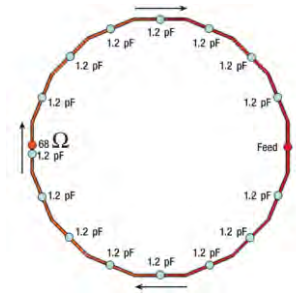
จากทฤษฎีสายอากาศบ่งปกติ ทำให้สายอากาศบ่งได้รับความสนใจในการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลในย่านความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้เช่นกัน สำหรับความท้าทายในการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสนามระยะใกล้ในย่านความถี่เอชเอฟ คือ ระบบดังกล่าวต้องการสายอากาศที่มีขนาดใหญ่ (ประมาณ  $2\lambda$  ของความถี่เอชเอฟ) ซึ่งถือได้ว่าเป็นสายอากาศบ่งที่มีขนาดทางไฟฟ้าใหญ่ แต่ยังคงต้องการให้สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ จากความต้องการดังกล่าวถ้าเลือกใช้สายอากาศบ่งปกติในการออกแบบพบว่าสายอากาศจะมีปัญหาในเรื่องการกระจายสนามแม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งบริเวณ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศและแท็กต่อไป

จากปัญหาดังกล่าวมีแนวทางในการแก้ไขในการออกแบบ 2 แนวทาง คือ การออกแบบสายอากาศให้มีลักษณะเป็นเส้นสตริปทองแดงสั้นๆ โดยแต่ละเส้นยาวประมาณ  $\lambda/4$  ของความถี่ที่สนใจ แล้วนำเส้นสตริปดังกล่าววางต่อกันเป็นบ่งเซกเมนต์ แสดงดังรูปที่ 2.11(ก) หรือการออกแบบสายอากาศให้เป็นบ่งเซกเมนต์ โดยใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวคั่นระหว่างสตริปที่วางต่อกัน [13] แสดงดังรูปที่ 2.11(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เทคนิคการแบบโดยใช้เส้นสตริปทองแดง  
ยาว  $\lambda/4$  วางต่อกันเป็นบ่วง



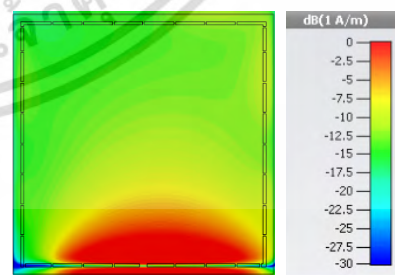
(ข) เทคนิคการออกแบบโดยใช้  
ตัวเก็บประจุคั้น [13]

### รูปที่ 2.11 สายอากาศบ่วงเชกเมนต์

จากรูปที่ 2.11(ก) พบว่าเส้นสตริปแต่ละเส้นจะมีช่องว่างระหว่างเส้น ทำให้ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศมีลักษณะเป็นบ่วงที่มีความยาวของเส้นทองแดงที่ไม่ต่อเนื่อง เทคนิคดังกล่าวจะส่งผลให้การไหลของกระแสจากเส้นสตริปหนึ่งไปยังเส้นสตริปอื่นๆผ่านการเชื่อมต่อ โดยสายอากาศบ่วงเชกเมนต์ดังกล่าวมีคุณลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ คือ สายอากาศสามารถสร้างเฟสดีเลย์น้อยมากเมื่อกระแสไหลผ่านแต่ละส่วนที่อยู่ติดกัน ผลที่ตามมาคือสายอากาศมีการไหลของกระแสเพียงทิศทางเดียว ในขณะที่ขนาดของกระแสยังคงมีค่าที่เท่ากันตลอดบ่วง ซึ่งทำให้การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $H_z$  ของสายอากาศบ่วงมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.12 นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับเทคนิคการออกแบบสายอากาศบ่วงเชกเมนต์ที่ใช้การคั้นด้วยตัวเก็บประจุ เทคนิคดังกล่าวเส้นสตริปแต่ละเส้นจะหลีกเลี่ยงการเก็บสะสมค่ารีแอกแตนส์ของตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นค่าความต่างศักย์ในแต่ละเส้นสตริปมีค่าเป็นจำนวนจริง ส่งผลให้สายอากาศไม่มีการสะสมของเฟสรอบสายอากาศ และทำให้กระแสที่ไหลบนสายอากาศมีค่าเฟสที่คงที่ตลอดทั้งบ่วง ดังนั้นสายอากาศบ่วงเชกเมนต์ที่ใช้เทคนิคการคั้นด้วยตัวเก็บประจุดังกล่าวสามารถผลิตสนามแม่เหล็กที่คงที่ตลอดทั้งแนวแกน



(ก) กระแสไหลบนพื้นผิว  
สายอากาศบ่วงเชกเมนต์



(ข) การกระจายสนามแม่เหล็ก  
สายอากาศบ่วงเชกเมนต์

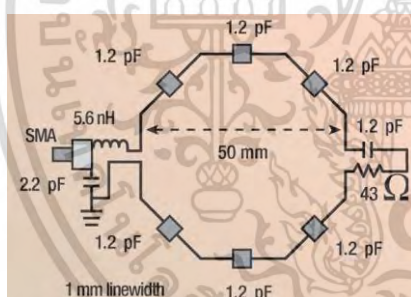
### รูปที่ 2.12 การไหลของกระแสและการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงเชกเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

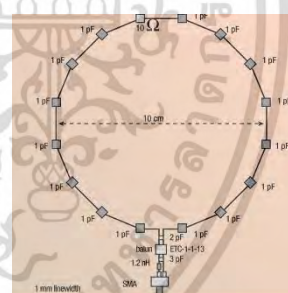
### 2.6.3 บทความวิจัยที่มีมาก่อน

จากหัวข้อที่ 2.6.2 พบว่าสายอากาศบ่วงเชกเมนต์ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในการออกแบบสายอากาศบ่วงมีวงรอบขนาดไฟฟ้าใหญ่แต่สามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ ทำให้สายอากาศเชกเมนต์ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ร่วมกับงานวิจัยที่ต้องการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในหัวข้อนี้ได้นำเสนอบทความวิจัยที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศย่านความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ ดังต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 2007 โดย D.M. Dobkin และคณะ [15] ซึ่งได้นำเสนอสายอากาศบ่วงเชกเมนต์ที่ใช้เทคนิคการคั่นกลางระหว่างเส้นสตริปทองแดงด้วยตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยสายอากาศมีโครงสร้างเป็นสายอากาศบ่วงวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 2.13(ก) ถึง รูปที่ 2.13(ข) สายอากาศที่ถูกนำเสนอทำงานที่ความถี่ 915 MHz ซึ่งโครงสร้างสายอากาศดังกล่าวทำให้สายอากาศมีทิศทางการไหลของกระแสทิศทางเดียว ส่งผลให้สายอากาศสามารถกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $H_z$  ได้สม่ำเสมอตลอดทั้งบริเวณของสายอากาศ สายอากาศที่ถูกนำเสนอสายอากาศบ่วงวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 เซนติเมตรมีระยะในการติดต่อสื่อสารประมาณ 5.5 เซนติเมตร ในขณะที่สายอากาศบ่วงวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 เซนติเมตร มีระยะในการติดต่อสื่อสารประมาณ 8.5 เซนติเมตร ถึง 9 เซนติเมตร



(ก) บ่วงวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง  
5 เซนติเมตร



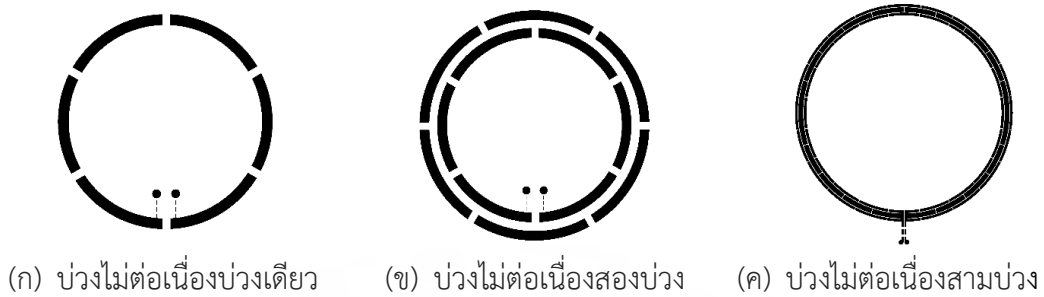
(ข) บ่วงวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง  
10 เซนติเมตร

รูปที่ 2.13 โครงสร้างสายอากาศบ่วงวงกลมเชกเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

ปี ค.ศ. 2008 R.A. Oliver และคณะ [16-18] ได้นำเสนอสายอากาศบ่วงไม่ต่อเนื่อง สำหรับสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟที่มีการทำงานในสนามระยะใกล้และสนามระยะไกล ซึ่งสายอากาศบ่วงไม่ต่อเนื่องที่นำเสนอโดย R.A. Oliver และคณะ มีทั้งหมดสามแบบ คือ การออกแบบสายอากาศบ่วงไม่ต่อเนื่องบ่วงเดียว บ่วงไม่ต่อเนื่องสองบ่วง และบ่วงไม่ต่อเนื่องสามบ่วง ซึ่งสายอากาศดังกล่าวได้ใช้เทคนิคการออกแบบสายอากาศให้มีลักษณะเป็นเส้นสตริปทองแดงสั้นๆ เรียงต่อเป็นบ่วงวงกลม แสดงรูปโครงสร้างสายอากาศดังรูปที่ 2.14 โครงสร้างของสายอากาศสามารถสร้างเฟสดีเลย์น้อย ทำให้มีการไหลของกระแสเพียงทิศทางเดียวส่งผลให้สายอากาศบ่วงมีการกระจาย

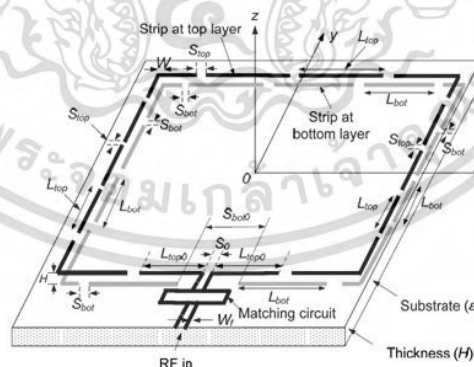
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ โดยสายอากาศทำงานในย่านความถี่ 900 MHz



รูปที่ 2.14 โครงสร้างสายอากาศบ่วงไม่ต่อเนื่อง

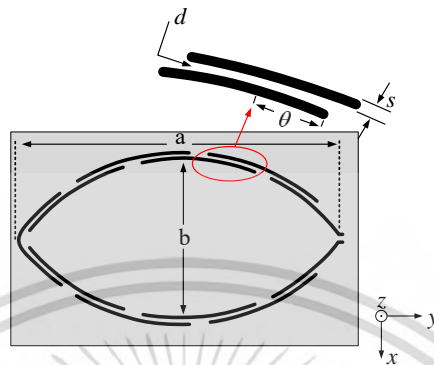
ในปี 2010 X.Qing และคณะ [19] นำเสนอสายอากาศอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ ย่านความถี่ยูเอชเอฟบรอดแบนด์ ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 840 MHz ถึง 960 MHz ซึ่งใช้เทคนิค การออกแบบสายอากาศให้มีลักษณะเป็นเส้นสตริปทองแดงสั้นๆ แล้วนำเส้นสตริปดังกล่าววางต่อกัน เป็นบ่วงเชกเมนต์ โดยสายอากาศที่นำเสนอประกอบด้วยบ่วงสี่เหลี่ยมเส้นปะสองบ่วง โครงสร้าง สายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.15 โดยโครงสร้างสายอากาศดังกล่าวสร้างเฟสดีเลย์ที่น้อยมากระหว่าง ส่วนที่อยู่ติดกัน ดังนั้นทำให้สายอากาศสามารถรักษากระแสที่ไหลทิศทางเดียว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง การกระจายกระแสบนบ่วงมีเฟสเดียวกัน ดังนั้นสายอากาศที่ถูกนำเสนอสามารถสร้างการกระจาย สนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอถึงแม้ว่าเป็นสายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าใหญ่ สำหรับสายอากาศที่ถูก นำเสนอมีระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก 24 เซนติเมตร ในสนามแม่เหล็กหลัก Hz



รูปที่ 2.15 โครงสร้างสายอากาศอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ย่านความถี่ยูเอชเอฟบรอดแบนด์

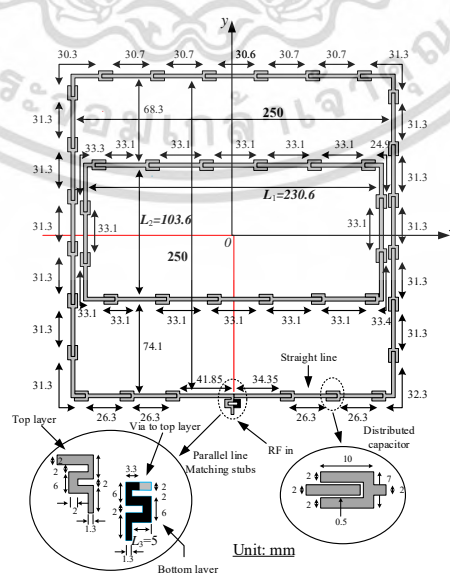
สายอากาศเชกเมนต์รูปตาถูกนำเสนอสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดี สนามระยะใกล้ย่านความถี่ยูเอชเอฟ ในปี ค.ศ.2011 โดย X. Li และคณะ [20] โดยสายอากาศที่ถูก นำเสนอทำงานที่ความถี่ 860 MHz ถึง 871 MHz ซึ่งครอบคลุมความถี่มาตรฐานยุโรป โครงสร้างของ สายอากาศที่นำเสนอมีลักษณะเป็นบ่วงเชกเมนต์รูปตาที่วางต่อแบบขนาน แสดงดังรูปที่ 2.16 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นทองแดงในเซกเมนต์ทำหน้าที่เหมือนตัวเก็บประจุ โครงสร้างดังกล่าวช่วยให้กระแสที่ไหลบนบ่วงมีเฟสที่เท่ากัน ส่งผลให้สายอากาศสามารถสร้างสนามแม่เหล็ก  $H_z$  ได้สม่ำเสมอ ในด้านการติดต่อสื่อสารของสายอากาศที่นำเสนอกับแท็ก สายอากาศมีระยะในการติดต่อสื่อสารประมาณ 16.1 เซนติเมตร



รูปที่ 2.16 โครงสร้างสายอากาศบ่วงเซกเมนต์รูปตาสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ย่านความถี่เอชเอฟ

ในปี 2013 J. Shi และคณะ [21] นำเสนอสายอากาศสองบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าใหญ่สำหรับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลย่านความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้ สายอากาศที่นำเสนอประกอบด้วยบ่วงหลักและบ่วงพาราซิติก โดยบ่วงทั้งสองมีลักษณะเป็นเส้นเซกเมนต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุสำหรับบ่วงพาราซิติกที่ถูกเพิ่มบริเวณตรงกลางของบ่วงหลักนั้นช่วยเพิ่มพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กให้สม่ำเสมอในบริเวณพื้นที่ตรงกลางของบ่วงหลัก ในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศที่นำเสนอพบว่า สายอากาศมีแบนด์วิดท์ที่ดีที่สุด ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 845 MHz ถึง 928 MHz และสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอ โดยโครงสร้างสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โครงสร้างสายอากาศสองบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 สรุป

สำหรับเนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศ เครื่องอ่านข้อมูลย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ โดยทฤษฎีที่นำเสนอประกอบด้วยทฤษฎี พื้นฐานของระบบอาร์เอฟไอดี หลักการการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก และเทคนิคการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศที่มีการทำงานบริเวณสนามระยะใกล้ และเทคนิค การออกแบบสายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าใหญ่ แต่สามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอ ในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  โดยทฤษฎีที่ได้นำเสนอในบทนี้ได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลย่านความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# การออกแบบ และศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศอาร์เอฟไอดี สนามระยะใกล้

### 3.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ ผลการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ (เช่น  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ) และผลการจำลองการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติของสายอากาศ โดยมีจุดประสงค์ในการออกแบบสายอากาศ คือ สายอากาศสามารถทำงานที่ย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ซึ่งเป็นมาตรฐานความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีประเทศไทย สายอากาศสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอและมีพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในสนามแม่เหล็ก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ซึ่งช่วยให้สายอากาศมีสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารและระยะในการติดต่อสื่อสารกับแท็กเพิ่มขึ้นในขณะที่แท็กถูกหมุนไปในทิศแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  นอกจากนี้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ต้องการสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ [19] ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลขนาด 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับชั้นวางหลอดเก็บตัวอย่างเลือดขนาดเล็ก (Microcentrifuge rack)

สำหรับสายอากาศที่ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการอ่านข้อมูลในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ คือสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง โดยโครงสร้างสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง ประกอบด้วยโครงสร้างของบ่วงสี่เหลี่ยมพาราซิติคภายในและบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ สำหรับโครงสร้างบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบนั้นมีหน้าที่ทำให้สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  แต่ไม่ได้ช่วยในเพิ่มพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  และ  $H_y$  ซึ่งการเพิ่มโครงสร้างบ่วงพาราซิติคสี่เหลี่ยมช่วยให้สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  เพิ่มขึ้น และช่วยให้มีความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_z$  เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สายอากาศสามารถกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  และมีความถี่ครอบคลุมย่านความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีประเทศไทย

### 3.2 การออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้

ในหัวข้อนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของการประยุกต์ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ ในการออกแบบสายอากาศได้เริ่มต้นออกแบบจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ซึ่งสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีระยะการติดต่อสื่อสารในสนามระยะใกล้ อย่างไรก็ตามสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมอในทุกสนามแม่เหล็ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 3.1 ขนาดทางกายภาพและขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (เซนติเมตร)	ขนาดทางไฟฟ้า ( $\lambda$ )
$W_s$	ความกว้างวัสดุฐานรอง	14.00	0.43
$L_s$	ความยาววัสดุฐานรอง	16.00	0.49
$W_r$	ความกว้างของบ่วงสี่เหลี่ยม	13.00	0.46
$L_r$	ความยาวของบ่วงสี่เหลี่ยม	14.00	0.43
$W_{SL}$	ความกว้างของเส้นสตริป ทองแดง	0.20	0.0006

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระที่ความถี่ 922.5 MHz

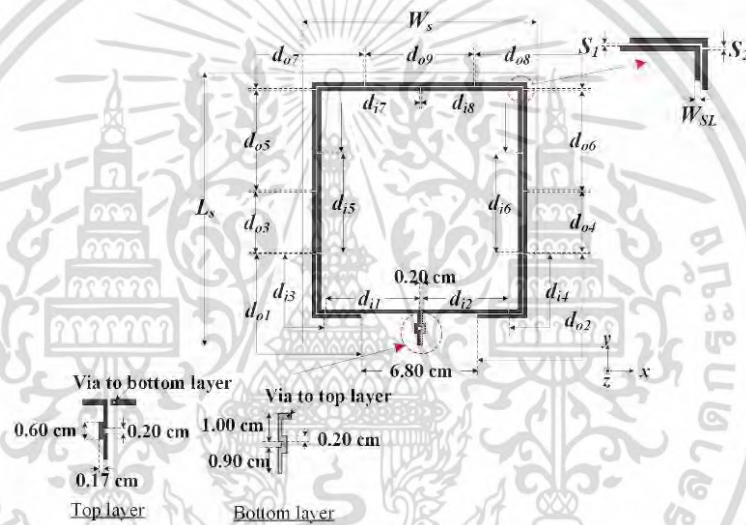
จากโครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่นำเสนอ พบว่าการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศมีบริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  มีเฉพาะบริเวณขอบของสายอากาศเท่านั้น ในขณะที่บริเวณกึ่งกลางของสายอากาศเกิดการจางหายของสนามแม่เหล็ก ส่งผลให้สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กไม่สม่ำเสมอในทุกทิศสนามแม่เหล็กหลัก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (สำหรับรายละเอียดการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศถูกนำเสนอในหัวข้อที่ 3.2.2) ดังนั้นเพื่อเพิ่มบริเวณของการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามแม่เหล็กหลักและปรับปรุงให้บริเวณกึ่งกลางของสายอากาศมีการกระจายของสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ จึงได้มีพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมให้มีลักษณะเป็นบ่วงเชกเมนต์ ซึ่งได้มีการนำเสนอโครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ในหัวข้อที่ 3.2.1.2

### 3.2.1.2 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ (Multi-segment loop antenna)

จากปัญหาการจางหายของการกระจายสนามแม่เหล็กบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศในสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) และปัญหาการกระจายสนามแม่เหล็กที่แรงเฉพาะบริเวณขอบของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมในทุกสนามแม่เหล็กหลัก ส่งผลให้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการอ่านข้อมูลขณะที่แท็กถูกวางไว้ตรงบริเวณที่มีการจางหายของสนามแม่เหล็ก จากการศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อน [15-21] ได้มีการนำเสนอเทคนิคสำหรับแก้ปัญหาการจางหายของสนามแม่เหล็กบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศด้วยการทำให้เส้นสตริปทองแดงของสายอากาศบ่วงมีความยาวแบบไม่ต่อเนื่อง (โดยเส้นสตริปแต่ละเส้นควรมีความยาวไม่เกิน  $\lambda/4$  ของความยาวคลื่นในความถี่ที่สนใจ) โดยเส้นสตริปทองแดงจะถูกวางต่อกัน และถูกคั่นกลางระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้นด้วยช่องว่าง ซึ่งช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นสตริปจะช่วยให้เฟสมีการตีเลี่ยน้อยมาก ส่งผลให้เมื่อมีการไหลของกระแสผ่านไปในแต่ละเส้นสตริปทองแดงที่อยู่ติดกัน กระแสที่ไหลจึงมีค่าเฟสตีเลี่ยน้อยมาก จึงทำให้กระแสสามารถไหลไปในทิศทางเดียวกันได้ ส่งผลให้สายอากาศที่ใช้เทคนิคดังกล่าวสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ โดยสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ที่นำเสนอในหัวข้อนี้ มีขนาดโดยรวม 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร  $\times$  0.5 มิลลิเมตร สายอากาศบ่วงเชกเมนต์ที่นำเสนอจะประกอบไปด้วย บ่วงเชกเมนต์บ่วงใหญ่ (บ่วงเชกเมนต์วงนอก) ที่เกิดจากการวางต่อกันของเส้นสตริปทองแดง จำนวน 9 เส้น และ บ่วงเชกเมนต์บ่วงเล็ก (บ่วงเชกเมนต์วงใน) ที่เกิดจากการวางต่อกันของเส้นสตริปทองแดง จำนวน 8 เส้น โดยบ่วงทั้งสองถูกวางซ้อนกันบนแผ่นพิมพ์วัสดุ FR4 ( $\epsilon_r$  เท่ากับ 4.3  $\tan \delta$  เท่ากับ 0.02) และมีระยะห่างระหว่างบ่วงเชกเมนต์ด้านนอกและด้านในที่ระยะ 1 มิลลิเมตร สำหรับบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีการป้อนสัญญาณแบบเส้นขนาน ได้แสดงโครงสร้างของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังรูปที่ 3.2 สำหรับขนาดทางกายภาพและขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ แสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์

สำหรับการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ที่นำเสนอพบว่าเทคนิคการทำให้เส้นสตริปทองแดงยาวไม่ต่อเนื่องนั้นของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ ช่วยให้สายอากาศสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอ แต่สามารถกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอได้เพียงสนามแม่เหล็ก  $H_z$  เพียงสนามเดียว ในขณะที่การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ยังพบว่าการจางหายของสนามแม่เหล็กในบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศ นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณที่มีความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กที่แรงในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ยังคงมีเฉพาะบริเวณขอบของสายอากาศ ส่งผลให้สรรณะในการทำงานของสายอากาศบ่วงเชกเมนต์สี่เหลี่ยมยังไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์การออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลเพื่อเพิ่มสรรณะในการอ่านข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี (สำหรับรายละเอียดการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศถูกนำเสนอในหัวข้อที่ 3.2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ขนาดทางกายภาพและขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (เซนติเมตร)	ขนาดทางไฟฟ้า ( $\lambda$ )	
$W_s$	ความกว้างวัสดุฐานรอง	14.00	0.43	
$L_s$	ความยาววัสดุฐานรอง	16.00	0.49	
$d_{i1}$	ความยาวของแต่ละเชกเมนต์ของบ่วงด้านใน	5.60	0.17	
$d_{i2}$		5.10	0.15	
$d_{i3}$		3.90	0.12	
$d_{i4}$		4.20	0.13	
$d_{i5}, d_{i6}$		5.80	0.18	
$d_{i7}, d_{i8}$		9.58	0.29	
$do1, do2$		ความยาวของแต่ละเชกเมนต์ของบ่วงด้านนอก	6.65	0.20
$do3, do4$			3.60	0.11
$do5, do6$	5.90		0.18	
$do7, do8$	3.30		0.10	
$do9$	6.40		0.19	
$S_1$	ระยะห่างระหว่างบ่วงเชกเมนต์ด้านในและด้านนอก	0.10	0.0003	
$S_2$	ระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้น	0.10	0.0003	
$W_{SL}$	ความกว้างของเส้นสตริปทองแดง	0.20	0.0006	

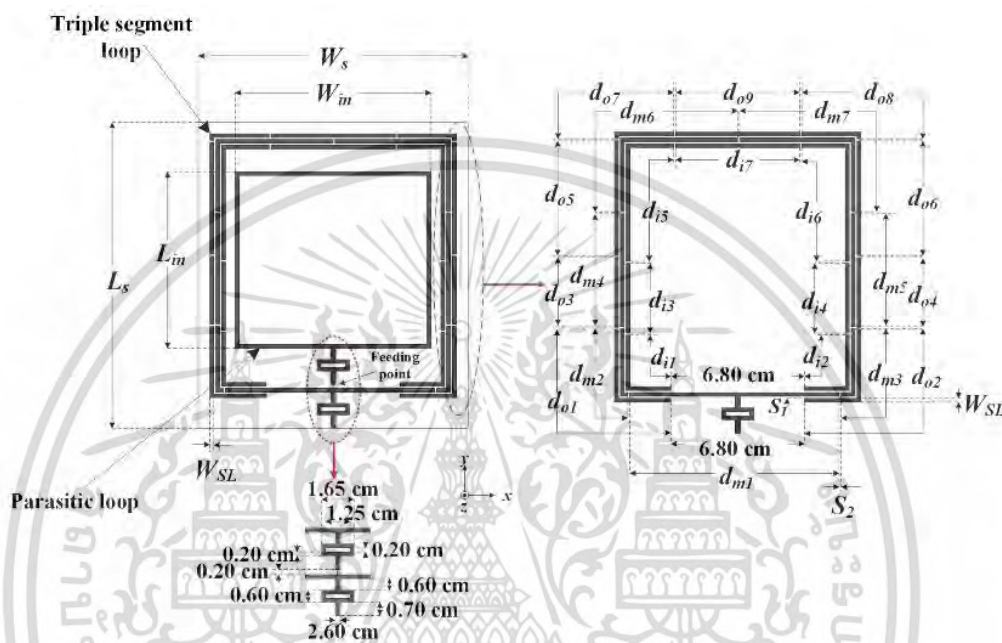
$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระที่ความถี่ 922.5 MHz

### 3.2.1.3 สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง (Multiple segmented-loop antenna)

จากปัญหาการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ดังกล่าว ในหัวข้อนี้จึงได้มีการนำเสนอโครงสร้างสายอากาศที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะที่การกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_z$  ยังคงสามารถมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ นอกจากนี้โครงสร้างสายอากาศที่ได้นำเสนอยังช่วยเพิ่มความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ )

สำหรับโครงสร้างสายอากาศที่ได้นำเสนอ คือ โครงสร้างสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง โดยโครงสร้างสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ประกอบด้วยโครงสร้างของบ่วงสี่เหลี่ยมพาราซิติคภายในและบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ สำหรับโครงสร้างบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบช่วยให้สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  แต่เมื่อพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  และ  $H_y$  พบว่าบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบยังไม่สามารถเพิ่มพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กในสองสนามนี้ได้ ซึ่งการเพิ่มโครงสร้างบ่วงพาราซิติคสี่เหลี่ยมช่วยให้สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศในสนามแม่เหล็กเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  เพิ่มขึ้น และช่วยให้สายอากาศมีความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_z$  เพิ่มขึ้น ซึ่งโครงสร้างสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยโครงสร้างสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงถูกออกแบบบนแผ่นพิมพ์วัสดุ FR4 ( $\epsilon_r$  เท่ากับ 4.3  $\tan \delta$  เท่ากับ 0.02) ซึ่งมีขนาดโดยรวม 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร  $\times$  0.5 มิลลิเมตร และมีการป้อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียลสำหรับรายละเอียดของขนาดทางกายภาพและขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศได้นำเสนอรายละเอียดดังกล่าวในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง

สำหรับการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง พบว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมาจากสายอากาศในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  และ  $H_y$  พบว่าสายอากาศมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  และ  $H_y$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ที่ถูกนำเสนอมาก่อนหน้านี้ ดังนั้นสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง สามารถกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอขึ้นในทุกสนามหลักและมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  จึงทำให้โครงสร้างดังกล่าวสามารถลดปัญหาความไม่สม่ำเสมอในการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  และ  $H_y$  ได้ นอกจากนี้โครงสร้างสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงยังช่วยเพิ่มความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามหลัก ซึ่งสอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบสายอากาศเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการอ่านข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้ (สำหรับรายละเอียดการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศถูกนำเสนอในหัวข้อที่ 3.2.2)

ตารางที่ 3.3 ขนาดทางกายภาพและขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (เซนติเมตร)	ขนาดทางไฟฟ้า ( $\lambda$ )
$W_s$	ความกว้างวัสดุฐานรอง	14.00	0.43
$L_s$	ความยาววัสดุฐานรอง	16.00	0.49
$W_{in}$	ความกว้างบ่วงสี่เหลี่ยมพาราซิติค	10.10	0.31
$L_{in}$	ความยาวบ่วงสี่เหลี่ยมพาราซิติค	9.30	0.28
$d_{i1}, d_{i2}$	ความยาวของแต่ละเซกเมนต์ของบ่วงด้านในสุด	5.15	0.15
$d_{i3}, d_{i4}$		3.60	0.11
$d_{i5}, d_{i6}$		8.50	0.26
$d_{i7}$		6.40	0.19
$d_{m1}$	ความยาวของแต่ละเซกเมนต์ของบ่วงกึ่งกลาง	10.80	0.33
$d_{m2}$		3.85	0.12
$d_{m3}$		4.15	0.13
$d_{m4}, d_{m5}$		5.85	0.18
$d_{m6}, d_{m7}$		9.75	0.29
$d_{o1}, d_{o2}$	ความยาวของแต่ละเซกเมนต์ของบ่วงด้านนอกสุด	6.70	0.20
$d_{o3}, d_{o4}$		3.60	0.11
$d_{o5}, d_{o6}$		5.90	0.18
$d_{o7}, d_{o8}$		3.40	0.10
$d_{o9}$		6.40	0.19
$S_1$	ระยะห่างระหว่างบ่วงเซกเมนต์แต่ละบ่วง	0.10	0.0003
$S_2$	ระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้น	0.10	0.0003
$W_{SL}$	ความกว้างของเส้นสตริปทองแดง	0.20	0.0006

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระที่ความถี่ 922.5 MHz

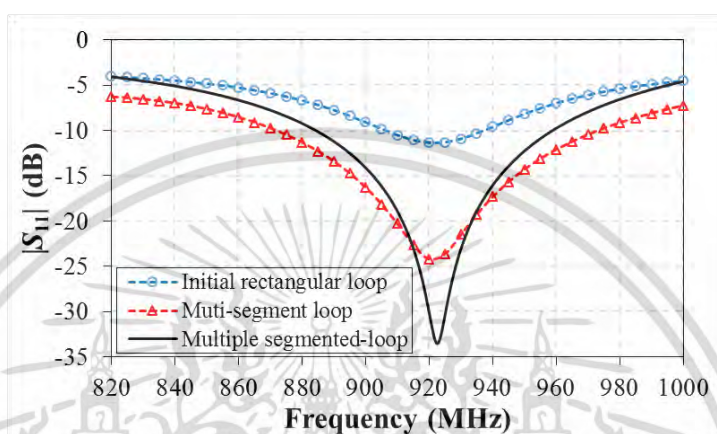
### 3.2.2 ผลการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ

ในหัวข้อการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศได้ทำการจำลองและเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศทั้ง 3 ตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ และสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง) เพื่อใช้ในการยืนยันสมรรถนะของสายอากาศที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มสมรรถนะการอ่านข้อมูลในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้ ซึ่งในการเปรียบเทียบได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ผลจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และ แนวแกน  $y$  ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x-y$  และผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.1 ผลการจำลอง $|S_{11}|$

สำหรับหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองการเปรียบเทียบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) โดยแสดงผลการจำลองการเปรียบเทียบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศทั้งสามตัวในรูปที่ 3.4 ในการพิจารณา  $|S_{11}|$  สำหรับสายอากาศอาร์เอฟไอเดียันความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้ นั้น จะพิจารณา  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน (ย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz)



รูปที่ 3.4 ผลการจำลองการเปรียบเทียบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศทั้งสามตัว

จากรูปที่ 3.4 พบว่าที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง มี  $|S_{11}|$  ที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ ส่งผลให้สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงสามารถทำงานในย่านความถี่เอชเอฟประเทศไทยได้ดีที่สุด จากนั้นทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างแบนด์วิดท์กับค่า  $Q$  (Quality factor) ของสายอากาศ โดยปกติความสัมพันธ์ของค่า  $Q$  กับความกว้างแบนด์วิดท์ของสายอากาศนั้นสามารถวิเคราะห์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศเบื้องต้น สำหรับความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า เมื่อสายอากาศมีแบนด์วิดท์กว้าง สายอากาศจะมีค่า  $Q$  ต่ำ ส่งผลให้สายอากาศมีระยะทางในการติดต่อสื่อสารใกล้ ในทางตรงกันข้ามถ้าสายอากาศมีแบนด์วิดท์แคบ สายอากาศจะมีค่า  $Q$  สูง ส่งผลให้สายอากาศมีระยะทางในการติดต่อสื่อสารไกล [27] จากผลการจำลองเมื่อเปรียบเทียบความกว้างแบนด์วิดท์ของสายอากาศทั้งสามตัว พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีความกว้างแบนด์วิดท์แคบที่สุด รองลงมาคือสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีความกว้างแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่า  $Q$  ของสายอากาศพบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีค่า  $Q$  สูงส่งผลให้สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีแนวโน้มระยะทางในการติดต่อสื่อสารไกลสุด รองลงมาคือสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ตามลำดับ โดยรายละเอียดผลการจำลองแสดงในตารางที่ 3.4 แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Q$  กับความกว้างแบนด์วิดท์ของสายอากาศนั้นยังไม่สามารถระบุได้ว่าสายอากาศตัวใดมีสมรรถนะที่ดีที่สุดในการติดต่อสื่อสาร เนื่องจากยังมีปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาสมรรถนะของสายอากาศ คือ การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ ในหัวข้อถัดไปได้แนะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

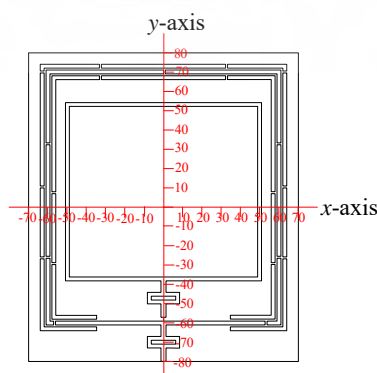
การวิเคราะห์การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง)

ตารางที่ 3.4 ผลการจำลองการเปรียบเทียบ  $|S_{11}|$  และแบนด์วิดธ์ของสายอากาศ

โครงสร้างสายอากาศ	$ S_{11} $ (dB) ในแต่ละความถี่			ย่านความถี่ (MHz) ที่ $ S_{11} $ ต่ำกว่า -10 dB	แบนด์วิดธ์ (MHz)	เปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ (%)	ค่า Q
	920 MHz	922.5 MHz	925 MHz				
สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม	-11.34	-11.36	-11.29	907.5-935.0	27.5	2.98	33.54
สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์	-24.18	-24.18	-23.59	872.0-973.0	101.0	10.95	9.13
สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง	-30.07	-33.51	-30.37	884.5-958.5	74.0	8.03	12.46

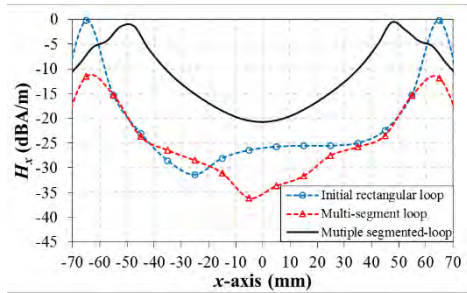
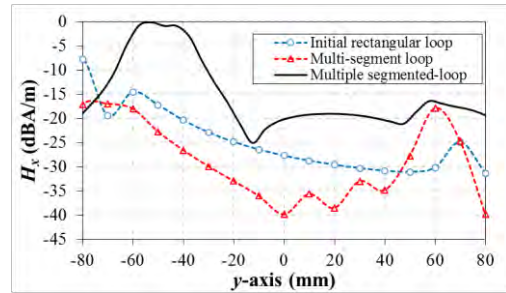
### 3.2.2.2 ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x และแนวแกน y

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x และแนวแกน y สำหรับสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) ที่ถูกพัฒนาขึ้นในสนามแม่เหล็ก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ในการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กใช้โปรแกรม CST Microwave Studio [28] ซึ่งในการจำลองสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x และแนวแกน y มีบริเวณในการวิเคราะห์ครอบคลุม  $-70$  มิลลิเมตร  $\leq x \leq 70$  มิลลิเมตร และ  $-80$  มิลลิเมตร  $\leq y \leq 80$  มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยบริเวณในการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.5 และผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กในรูปที่ 3.6 ถึง รูปที่ 3.8

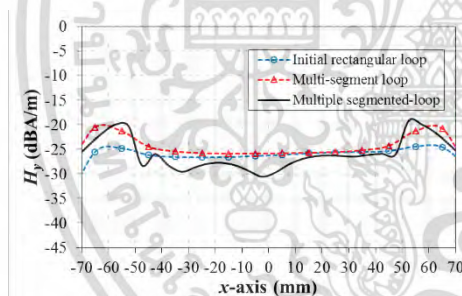
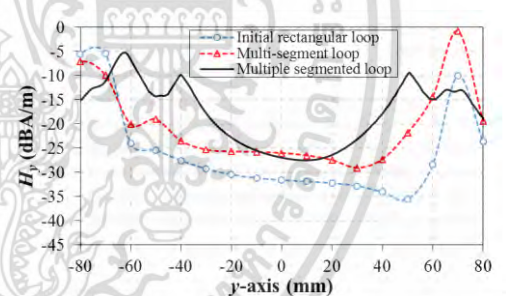


รูปที่ 3.5 บริเวณการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x และ แนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่สัญญาที่เห็นชอบโดยบริษัทเอกชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

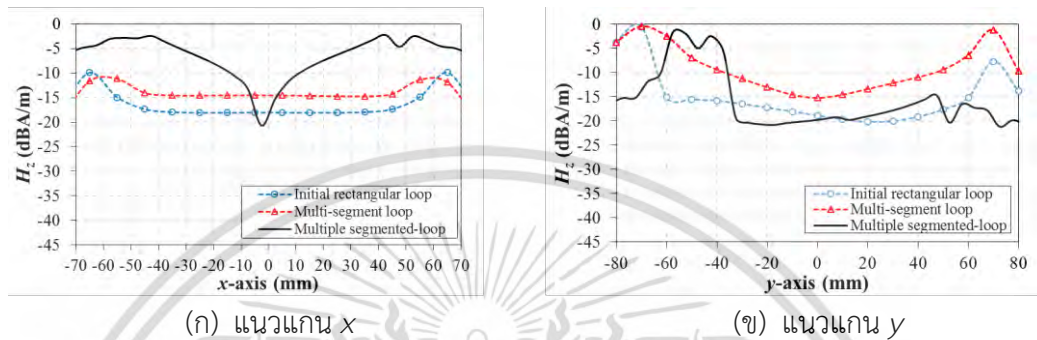
(ก) แนวแกน  $x$ (ข) แนวแกน  $y$ รูปที่ 3.6 การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และ  $y$  ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$ 

จากรูปที่ 3.6(ก) ถึง รูปที่ 3.6(ข) พบว่าการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  ตลอดแนวแกน  $x$  มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด 31.21 dB 24.50 dB และ 20.10 dB ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงตามลำดับ ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุดตลอดแนวแกน  $y$  มีค่า 23.33 dB ในสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม 22.88 dB ในสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และ 24.70 dB ในสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทั้งสองแนวแกน พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์

(ก) แนวแกน  $x$ (ข) แนวแกน  $y$ รูปที่ 3.7 การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และ  $y$  ในสนามแม่เหล็ก  $H_y$ 

จากนั้นทำการพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_y$  ของสายอากาศทั้งสามตัว ในรูปที่ 3.7 (ก) พบว่าการกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  มีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุด 11.26 dB ในสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม มีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุด 8.33 dB ในสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และ การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุด 11.40 dB ในสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กมากที่สุด แต่มีค่าความแตกต่างกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเพียงเล็กน้อย โดยสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีค่าความแตกต่างการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม 0.14 dB และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ประมาณ 3.07 dB จากนั้นได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กของสายอากาศในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวแกน  $y$  ในรูปที่ 3.7 (ข) พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุด 30.10dB 28.33dB และ 22.27dB ในสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ตามลำดับ ซึ่งในแนวแกน  $y$  พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กน้อยที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  และ  $y$  พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงยังคงมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสายบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์

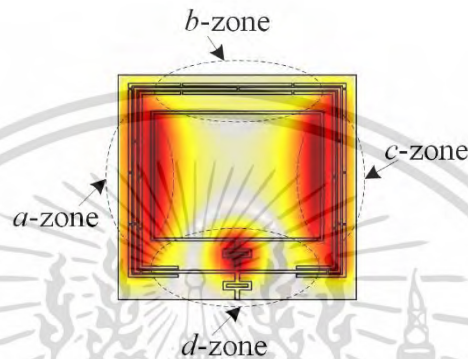


รูปที่ 3.8 การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และ  $y$  ในสนาม  $H_z$

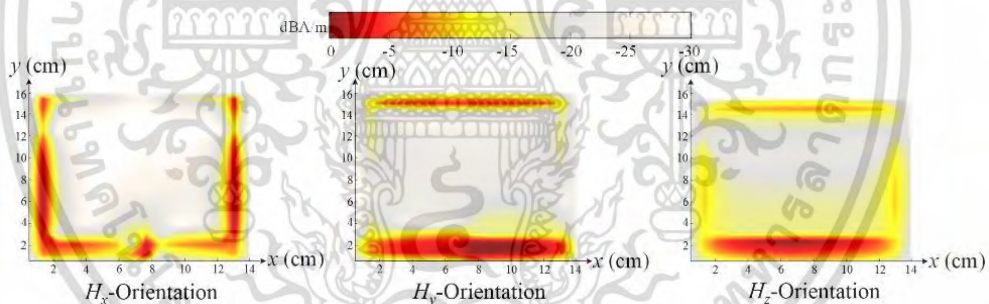
จากรูปที่ 3.8 (ก) แสดงการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  พบว่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุดของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีค่าการเปลี่ยนแปลง 8.17 dB สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุด 7.83 dB และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีค่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุด 18.28 dB แต่เมื่อพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  สังเกตเห็นว่าความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความเข้มมากกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ โดยมีค่าความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุดสำหรับสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงเท่ากับ -2.42 dB ในขณะที่สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีค่าการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุดที่ -11.12 dB และ -9.90 dB ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงสามารถเพิ่มความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มเพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $y$  ของสายอากาศทั้งสามตัวพบว่า การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กสูงสุดมีค่า 19.69 dB 14.69 dB และ 19.58 dB ในสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ตามลำดับ จากผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุดตลอดแนวแกน  $y$  ของสายอากาศทั้งสามตัว พบว่าสายอากาศทั้งสามตัวมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุดตลอดทั้งสองแนวแกนในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กในทุกสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงสามารถเพิ่มความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงสามารถเพิ่มพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กที่ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะที่การกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_z$  ยังคงสามารถให้การกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ เพื่อเป็นการ



แรง ในขณะที่การกระจายสนามแม่เหล็กที่ถูกนำเสนอด้วยสีขาว หมายถึง บริเวณที่มีความเข้มการกระจายของสนามแม่เหล็กที่อ่อน และเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายและความเข้าใจ ตัวอักษร  $a$   $b$   $c$  และ  $d$  ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการแสดงบริเวณของการกระจายสนามแม่เหล็กให้ชัดเจน โดยที่  $a$  คือ บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กด้านข้างฝั่งซ้ายของสายอากาศ  $b$  คือ บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กด้านบนของสายอากาศ  $c$  คือ บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กด้านข้างฝั่งขวาของสายอากาศ และ  $d$  คือ บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กด้านล่างของสายอากาศ โดยบริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กที่ถูกกำหนดขึ้นถูกแสดงในรูปที่ 3.10



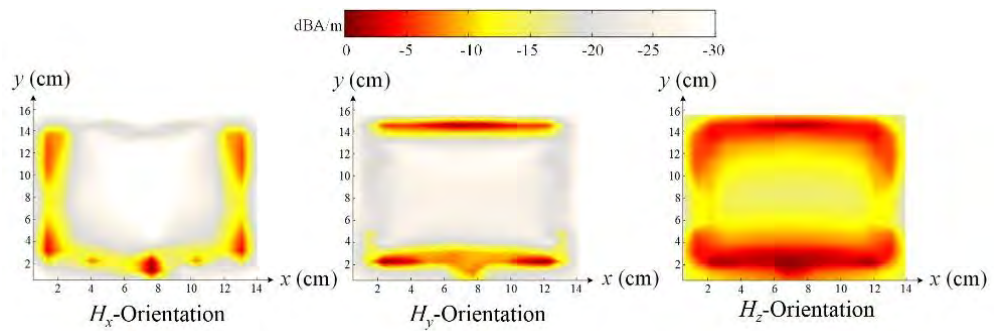
รูปที่ 3.10 บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.11 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

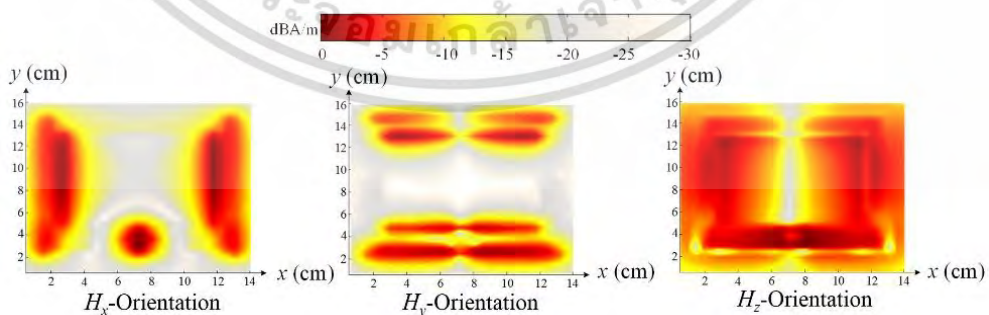
จากผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x$ - $y$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมในรูปที่ 3.11 พบว่าความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณ  $a$   $c$  และ  $d$  ในขณะที่ความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_y$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณ  $b$  และ  $d$  และในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีบริเวณความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กในบริเวณ  $a$   $b$   $c$  และ  $d$  ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีบริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กเฉพาะบริเวณขอบในทุกทิศสนามแม่เหล็กหลัก โดยบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเกิดการจางหายของสนามแม่เหล็ก ซึ่งการจางหายของสนามแม่เหล็กที่บริเวณกึ่งกลางของสายอากาศนั้นส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศ โดยสายอากาศสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้เฉพาะบริเวณขอบของสายอากาศซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลได้ หากแท็กถูกวางไว้ในบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์

จากนั้นได้นำเสนอผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ในรูปที่ 3.12 พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กเฉพาะบริเวณขอบด้านข้างของสายอากาศในบริเวณ  $a$  และ  $c$  ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายสนามแม่เหล็กระหว่างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์กับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติ พบว่าความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กที่อ่อนกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ในสนามแม่เหล็ก  $H_y$  พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเฉพาะบริเวณขอบด้านบนและด้านล่างของสายอากาศเท่านั้น (บริเวณ  $b$  และ  $d$ ) ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติ สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์นั้นยังคงมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กที่อ่อนกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติ ในขณะที่สนามแม่เหล็ก  $H_z$  สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอตลอดบริเวณพื้นที่ของสายอากาศ และเมื่อเปรียบเทียบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กระหว่างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมกับสายอากาศบ่วงเชกเมนต์ในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  พบว่าสายอากาศบ่วงเชกเมนต์มีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กที่แรงและสม่ำเสมอกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติ



รูปที่ 3.13 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง

จากรูปที่ 3.13 แสดงผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ซึ่งสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงได้ถูกพัฒนาเพื่อปรับปรุงการกระจายเอกสารนี้เป็นเอกสารทสรงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญัดเห็นาเปไซประยชนดานการคาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กให้มีความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น และมีบริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะที่สายอากาศยังคงมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  จากผลการจำลองพบว่า การกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีการกระจายสนามแม่เหล็กในบริเวณ  $a$  และ  $c$  เช่นเดียวกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ แต่พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงนั้นมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กในบริเวณ  $a$  และ  $c$  ที่เพิ่มขึ้นและมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ จากนั้นพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_y$  ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่บริเวณ  $b$  และ  $d$  เช่นเดียวกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ อย่างไรก็ตามพบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นจากบริเวณขอบบนและล่างของสายอากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์การกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_z$  ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง จากผลการจำลองพบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอและมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์

จากผลการเปรียบเทียบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศทั้งสามตัวในสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x, H_y$  และ  $H_z$ ) พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสามารถเพิ่มพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะที่ทิศสนามแม่เหล็ก  $H_z$  ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงยังคงสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอ นอกจากนี้พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงช่วยให้สายอากาศมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในทุกทิศสนามหลัก ดังนั้นสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสามารถปรับปรุงการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกทิศหลักเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ ซึ่งการกระจายสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มสมรรถนะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศและแท็ก ในหัวข้อถัดไปนำเสนอผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศทั้งสามตัวกับแท็ก เพื่อใช้เป็นการยืนยันสมรรถนะความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติ สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ และสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง)

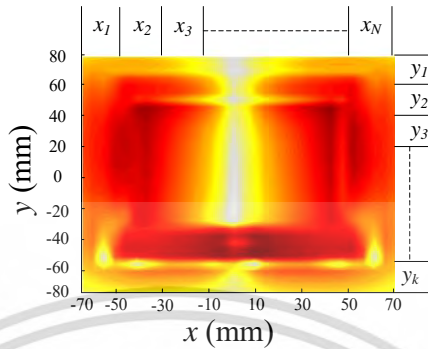
### 3.2.3 ผลการจำลองการเปรียบเทียบความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศ

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารและเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ และสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง) ในการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศนั้น ได้นำแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x-y$  ของทิศสนามแม่เหล็กหลักมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศ สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศมีพื้นที่ในการวิเคราะห์ขนาด 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร (เท่ากับพื้นที่สายอากาศ) จากนั้นแบ่งพื้นที่ของสายอากาศเป็นตารางโดยแบ่งระยะตามแนวแกน  $x$  ออกเป็นจำนวน  $N$  ส่วน ในขณะที่แนวแกน  $y$  ถูกแบ่งออกเป็นจำนวน  $k$  ส่วน แสดงดังรูปที่ 3.14 [29] ซึ่งในการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในชื่อของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

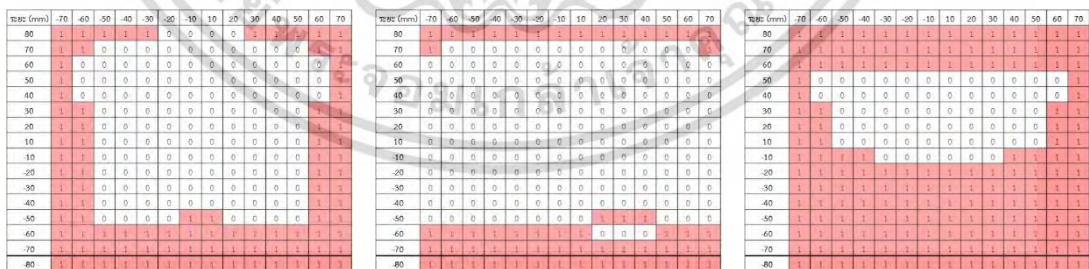
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับแท็กนั้น ได้จำลองให้แท็กจะถูกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆบนตารางที่ถูกแบ่งบนพื้นที่สายอากาศ และแท็กจะถูกหมุนไปในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  โดยแท็กสนามระยะใกล้ที่ใช้ในการจำลอง สมมติให้แท็กมีค่าเข้มสนามแม่เหล็ก  $-31.23$  dBA/m (แท็กมีค่าความไว  $-18$  dBm)



รูปที่ 3.14 พื้นผิวที่ใช้ในการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก

สำหรับผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศกับแท็กในสนามแม่เหล็กหลัก กำหนดให้สายอากาศสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ จะให้มีค่าเป็น 1 หรือบริเวณที่แสดงเป็นสีชมพู ในทางตรงกันข้ามถ้าสายอากาศไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ จะมีค่าเป็น 0 หรือบริเวณสีขาว จากนั้นทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ และสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง โดยแสดงผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศทั้งสามตัวในรูปที่ 3.15 ถึง รูปที่ 3.17 ซึ่งในการพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็ก สายอากาศควรมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทุกทิศสนามแม่เหล็กหลักประมาณ 70%



(ก) สนามแม่เหล็ก  $H_x$

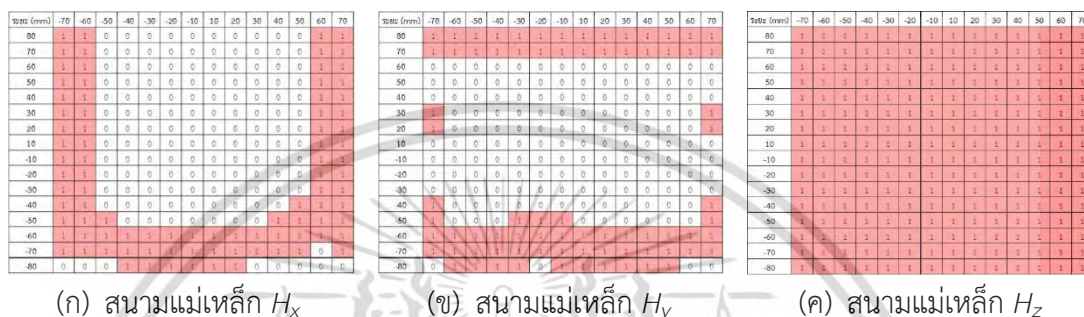
(ข) สนามแม่เหล็ก  $H_y$

(ค) สนามแม่เหล็ก  $H_z$

รูปที่ 3.15 ผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ในขณะที่แท็กถูกวางในแนวแกนต่างๆ

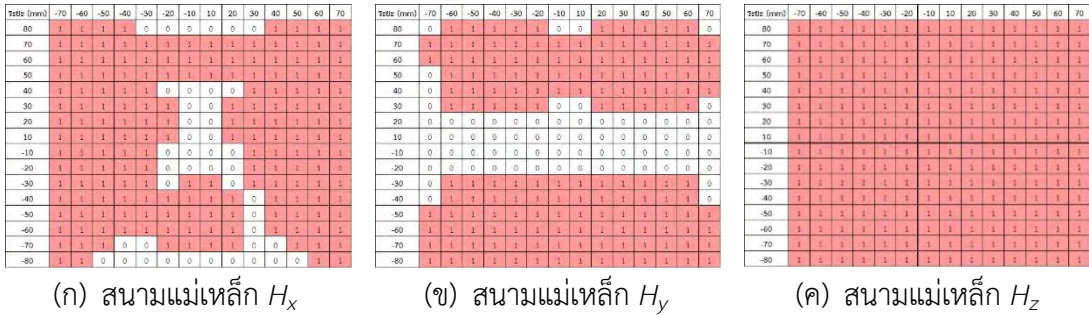
จากผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม พบว่าสายอากาศมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กสนามระยะใกล้ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  เท่ากับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42.85% ในสนามแม่เหล็ก  $H_y$  เท่ากับ 25.89% และในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กเท่ากับ 73.21% ซึ่งสังเกตได้ว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็กได้ดีที่สุดในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  อย่างไรก็ตามว่าที่บริเวณกึ่งกลางของสายอากาศ สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมยังไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมที่พบว่าพื้นที่กึ่งกลางของสายอากาศมีการจางหายของสนามแม่เหล็ก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.16 ผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ ในขณะที่แท็กถูกวางในแนวแกนต่างๆ

จากนั้นทำการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ จากผลการจำลองพบว่า สายอากาศบ่วงเซกเมนต์มีความสามารถในการติดต่อสื่อสาร 39.73% 34.38% และ 100% ในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$  ตามลำดับ จากผลการจำลองพบว่า สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์มีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  ที่ด้อยกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติ แต่เมื่อพิจารณาที่สนามแม่เหล็ก  $H_y$  และ  $H_z$  พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์มีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลที่ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม นอกจากนี้พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์นั้นช่วยปรับปรุงความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงเซกเมนต์ อย่างไรก็ตามสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์มีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ต่ำกว่า 50% ของพื้นที่การใช้งาน ซึ่งผลดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศ

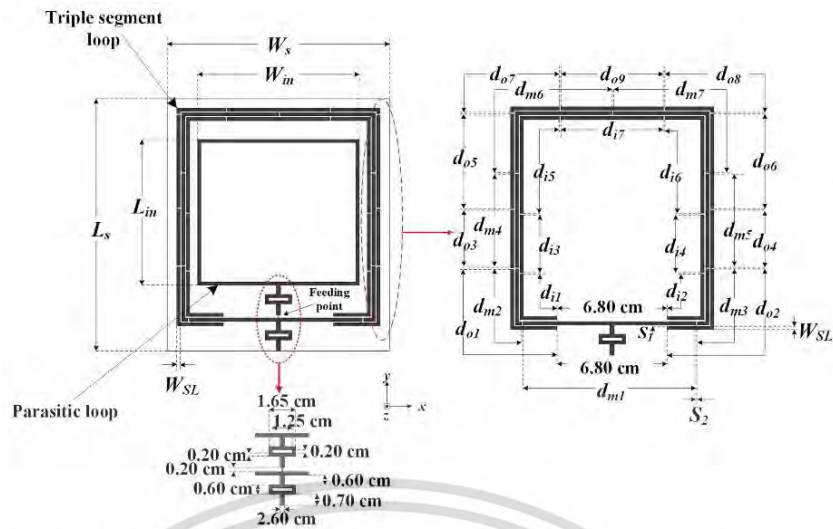


**รูปที่ 3.17** ผลการจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง ในขณะที่แท่งถูกวางในแนวแกนต่างๆ

จากนั้นจำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งสนามระยะใกล้ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  เท่ากับ 80.80% ในสนามแม่เหล็ก  $H_y$  เท่ากับ 70% และในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  เท่ากับ 100% ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  เพิ่มขึ้นจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ประมาณ 37.95% และ 41.07% ตามลำดับ ในสนามแม่เหล็ก  $H_y$  สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารเพิ่มขึ้นประมาณ 44.11% และ 35.62% จากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ตามลำดับ ในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลเพิ่มขึ้นจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมประมาณ 26.79% ในขณะที่ยังคงมีความสามารถในการติดต่อสื่อสาร 100% เช่นเดียวกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ จากผลการวิเคราะห์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ในทุกทิศสนามหลักพบว่า สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมปกติและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ในทุกทิศสนามหลัก โดยสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสามารถเพิ่มพื้นที่ในการติดต่อสื่อสารในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  นอกจากนี้ยังคงมีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลที่สม่ำเสมอในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  ซึ่งสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงดังกล่าวสอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบสายอากาศสำหรับเพิ่มสมรรถนะในการอ่านข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้

### 3.3 ศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง

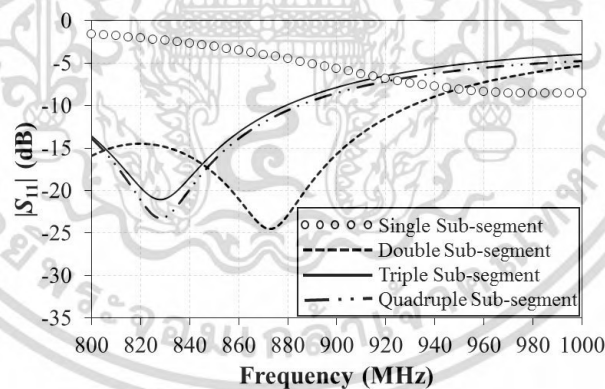
ในหัวข้อนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงที่มีผลต่อ แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก ซึ่งในการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ดังกล่าวเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศต่อไป โดยโครงสร้างสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องถูกนำเสนอในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 โครงสร้างสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

### 3.3.1 การศึกษาผลกระทบของจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลักของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง

ในหัวข้อนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลักตั้งแต่ 1 องค์ประกอบ ถึง 4 องค์ประกอบ ในการศึกษาผลกระทบดังกล่าวได้พิจารณาผลการจำลองคุณสมบัติของ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศและผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ โดยผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบของจำนวนบ่วงหลักเซกเมนต์แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลัก

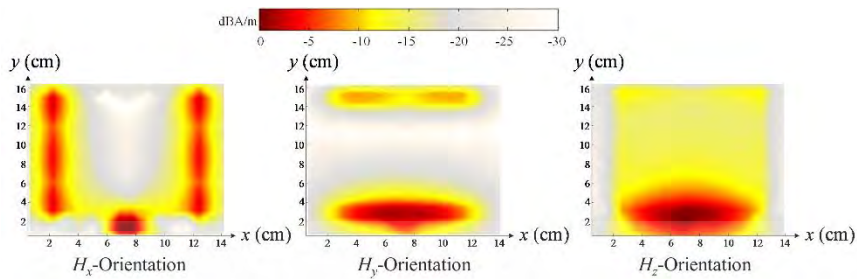
จากผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลัก พบว่าเมื่อสายอากาศมีจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลัก 1 องค์ประกอบ สายอากาศมี  $|S_{11}|$  ไม่ต่ำกว่า  $-10$  dB ส่งผลให้สายอากาศไม่สามารถทำงานในย่านความถี่ที่สนใจ จากนั้นเมื่อพิจารณา  $|S_{11}|$  ของจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลัก 2 องค์ประกอบ สายอากาศมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า  $-10$  dB ครอบคลุม 754.8 MHz ถึง 930.6 MHz ซึ่งจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลัก 2 องค์ประกอบสามารถทำงานในย่านความถี่ที่สนใจ (920 MHz ถึง 925 MHz) จากนั้นทำการพิจารณาจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบ และ 4 องค์ประกอบ ตามลำดับ จากการจำลอง  $|S_{11}|$  พบว่าจำนวนบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบ  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า  $-10$  dB ครอบคลุม 782 MHz ถึง 930.6 MHz และ 4 องค์ประกอบ  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า  $-10$  dB ครอบคลุม 830 MHz ถึง 930.6 MHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

879 MHz ในขณะที่  $|S_{11}|$  พบว่าจำนวนบ่วงเชกเมนต์หลัก 4 องค์กรประกอบ  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุม 782.3 MHz ถึง 884.5 MHz ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะ  $|S_{11}|$  พบว่าจำนวนบ่วงเชกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ มี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมย่านความถี่ที่สนใจ อย่างไรก็ตาม สิ่งที่สำคัญที่สุดในการศึกษาผลกระทบ คือ การพิจารณาแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก โดยผลการจำลองการศึกษาผลกระทบแสดงในรูปที่ 3.20(ก) ถึง รูปที่ 3.20(ง)

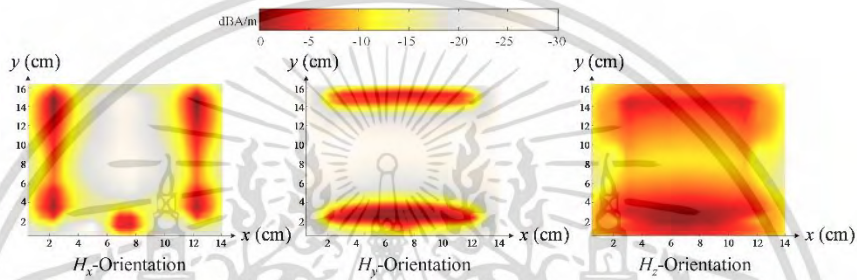
จากรูปที่ 3.20 ได้เปรียบเทียบผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อจำนวนบ่วงเชกเมนต์หลัก 1 องค์กรประกอบ ถึง 4 องค์กรประกอบ จากผลการจำลองพบว่าเมื่อพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) จำนวนบ่วงเชกเมนต์หลัก 1 องค์กรประกอบมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กที่น้อยที่สุดในสนามแม่เหล็กหลักเมื่อเปรียบเทียบกับบ่วงเชกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ ถึง 4 องค์กรประกอบ จากนั้นทำการพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อมีจำนวนบ่วงเชกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ ถึง 4 องค์กรประกอบ พบว่าในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  มีแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กที่ใกล้เคียงกัน เมื่อมีจำนวนบ่วงเชกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ ถึง 4 องค์กรประกอบ จากนั้นพิจารณาแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_y$  พบว่าการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_y$  ของจำนวนบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ และ 4 องค์กรประกอบ มีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบการกระจายสนามแม่เหล็กในสนาม  $H_y$  ของจำนวนบ่วงเชกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ โดยบริเวณกึ่งกลางของบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ และ 4 องค์กรประกอบ มีการกระจายสนามแม่เหล็กที่บริเวณกึ่งกลางเป็นสีเทา ในขณะที่บริเวณกึ่งกลางของบ่วงเชกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ มีการกระจายสนามแม่เหล็กที่บริเวณกึ่งกลางเป็นสีขาว จากนั้นทำการพิจารณาแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  พบว่าการกระจายสนามแม่เหล็กของบ่วงเชกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ และ 3 องค์กรประกอบ ทั้งสองมีแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กของบ่วงเชกเมนต์หลัก 4 องค์กรประกอบ พบว่าการกระจายสนามแม่เหล็กของบ่วงเชกเมนต์หลัก 4 องค์กรประกอบ ในบริเวณด้านข้างของบ่วงมีการจางหายของสนามแม่เหล็ก จากผลการจำลองดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่าบ่วงเชกเมนต์หลัก 4 องค์กรประกอบมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ น้อยกว่าบ่วงเชกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ และ 3 องค์กรประกอบ จากผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามแม่เหล็กหลัก พบว่าบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ มีการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาโครงสร้างสายอากาศต่อไป อย่างไรก็ตาม จากผลบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ พบว่า  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ยังไม่ครอบคลุมความถี่ที่ใช้งาน นอกจากนี้พบว่าบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ จะมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ต้องลดขนาดของบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ ซึ่งทำให้ขนาดของบ่วงไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบที่ต้องการสายอากาศขนาด 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร ดังนั้นในหัวข้อถัดไปเป็นการนำเสนอผลการศึกษาผลกระทบของขนาดบ่วงพาราซิติคส์เหลี่ยมที่ถูกเพิ่มเข้าไปในบริเวณกึ่งกลางของบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ โดยบ่วงพาราซิติคส์เหลี่ยมนั้นช่วยให้สายอากาศสามารถทำงานในย่านความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

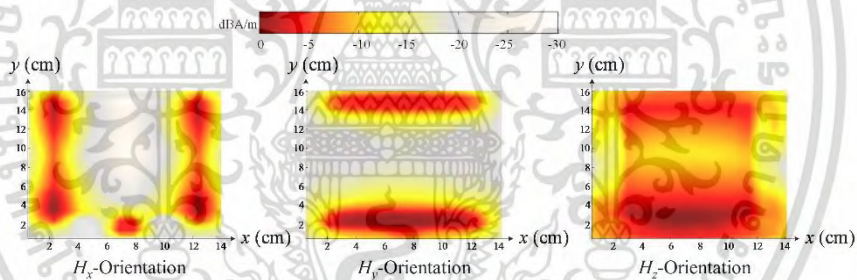
และยังคงมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบในทุกทิศสนามแม่เหล็กหลัก



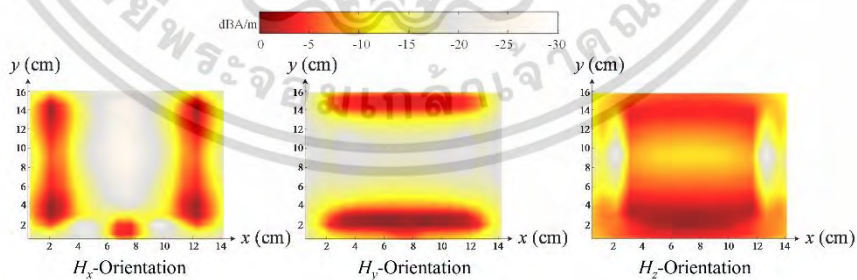
(ก) จำนวนข่วงเซกเมนต์หลัก 1 องค์กรประกอบ



(ข) จำนวนข่วงเซกเมนต์หลัก 2 องค์กรประกอบ



(ค) จำนวนข่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์กรประกอบ



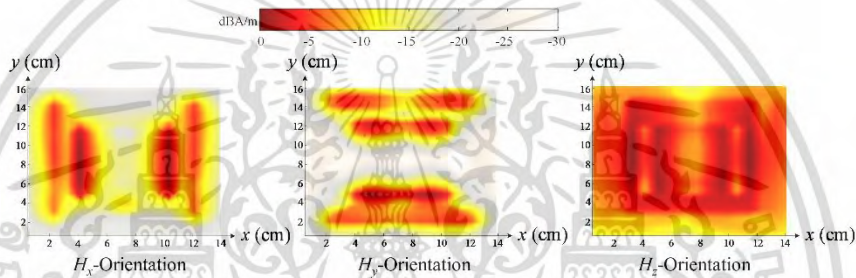
(ง) จำนวนข่วงเซกเมนต์หลัก 4 องค์กรประกอบ

**รูปที่ 3.20** ผลการจำลองการศึกษาผลกระทบของจำนวนข่วงเซกเมนต์หลักที่มีผลกระทบต่อแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การศึกษาผลกระทบของขนาดบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยมด้านในของสายอากาศ เซกเมนต์หลายบ่วง

ในการศึกษาผลกระทบของขนาดบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม ได้กำหนดให้เส้นรอบรูปของบ่วงพาราซิติก เท่ากับ  $1\lambda$  ของความยาวคลื่นที่ความถี่ 922.5 MHz โดยขนาดความกว้างของบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม ( $W_{in}$ ) เท่ากับ 8.10 เซนติเมตร และความยาวของบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม ( $L_{in}$ ) เท่ากับ 8.10 เซนติเมตร จากผลจำลองพบว่าเมื่อเพิ่มบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม สายอากาศยังไม่สามารถทำงานครอบคลุมย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz และมี  $|S_{11}|$  ไม่ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ทำการพิจารณา จากนั้นวิเคราะห์การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเมื่อเพิ่มบ่วงพาราซิติกด้านในสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง แสดงผลแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กหลักในรูปที่ 3.21



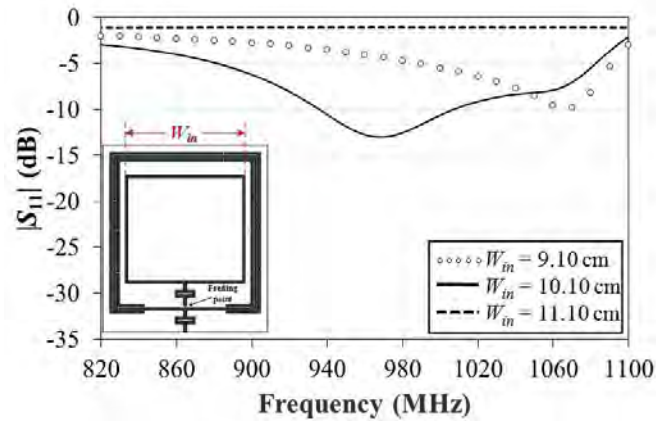
รูปที่ 3.21 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยมเมื่อพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 8.10 เซนติเมตร และ  $L_{in}$  เท่ากับ 8.10 เซนติเมตร

จากรูปที่ 3.21 เมื่อพิจารณาแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  พบว่าเมื่อเพิ่มบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยมด้านใน สายอากาศมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณาแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_y$  พบว่าสายอากาศมีความเข้มและมีพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น ในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ ดังนั้นเมื่อการเพิ่มบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยมด้านในบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบ มีแนวโน้มที่จะทำให้อากาศมีความเข้มและมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะที่ในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  สายอากาศยังคงสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศ จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบขนาดความกว้างและความยาวของบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม

#### 3.3.2.1 การศึกษาผลกระทบขนาดความกว้างของบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม ( $W_{in}$ )

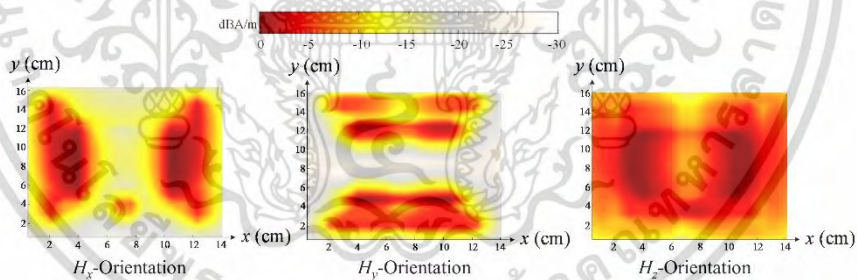
สำหรับการศึกษาผลกระทบขนาดความกว้างของบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม กำหนดให้สายอากาศมีความยาวบ่วงพาราซิติกสี่เหลี่ยม ( $L_{in}$ ) เท่ากับ 8.10 เซนติเมตร จากนั้นปรับขนาดความกว้างของบ่วงพาราซิติกตั้งแต่ 9.10 เซนติเมตร ถึง 11.10 เซนติเมตร โดยแสดงผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

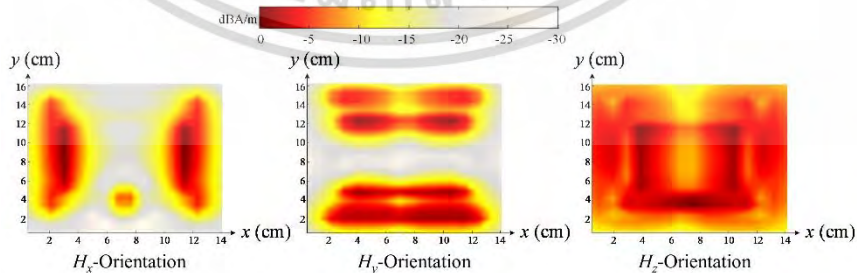


รูปที่ 3.22 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{in}$

จากผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร พบว่า  $|S_{11}|$  ยังไม่ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน จากนั้นปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 10.10 เซนติเมตร พบว่าสายอากาศมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 936 MHz ถึง 1007 MHz ซึ่งสายอากาศมีแนวโน้มที่จะทำงานในย่านความถี่ที่สนใจ จากนั้นได้ปรับขนาดของพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 11.10 เซนติเมตร พบว่าสายอากาศยังไม่สามารถทำงานครอบคลุมย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz และมี  $|S_{11}|$  ไม่ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ทำการพิจารณา จากนั้นพิจารณาแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ เซกเมนต์หลายบ่วงเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{in}$

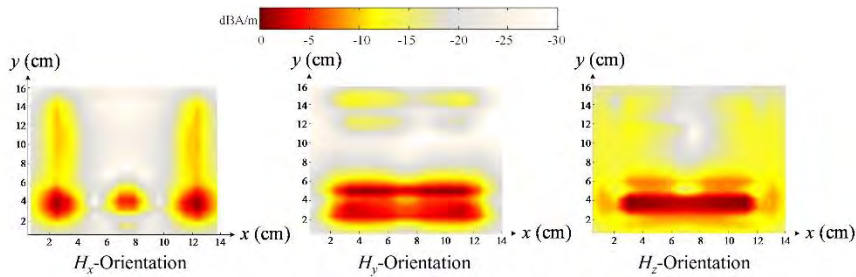


(ก) การศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร



(ข) การศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 10.10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) การศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 11.10 เซนติเมตร

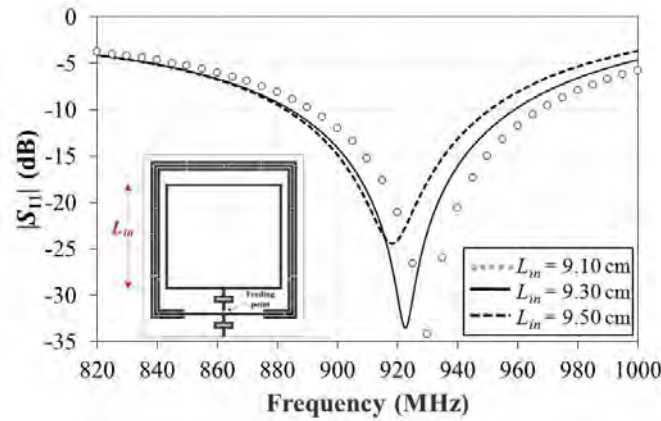
รูปที่ 3.23 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{in}$

จากรูปที่ 3.23(ก) ถึง รูปที่ 3.23(ค) พบว่าเมื่อความกว้างของบ่วงพาราซิติกส์เหลี่ยม ( $W_{in}$ ) เท่ากับ 11.10 เซนติเมตร ส่งผลกระทบให้สายอากาศมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กที่เบาบางลงเมื่อเปรียบเทียบกับความกว้างของบ่วงพาราซิติกส์เหลี่ยม ( $W_{in}$ ) เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร และ 10.10 เซนติเมตร จากนั้นพิจารณาความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง เมื่อบ่วงพาราซิติกส์เหลี่ยมมีความกว้าง ( $W_{in}$ ) เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร และ 10.10 เซนติเมตรตามลำดับ จากผลการจำลองในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  พบว่าสายอากาศมีความเข้มและพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการจำลองเมื่อพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีความเข้มและพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กที่มากกว่า  $W_{in}$  เท่ากับ 10.10 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก  $H_y$  และ  $H_z$  สายอากาศมีความเข้มและพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กที่ใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาทั้ง  $|S_{11}|$  และแบบรูปในการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) พบว่าบ่วงพาราซิติกส์เหลี่ยม ( $W_{in}$ ) ที่มีค่าเท่ากับ 10.10 เซนติเมตร มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการพัฒนาสมรรถนะของสายอากาศต่อไป เนื่องจากสายอากาศมีแนวโน้มในการทำงานในย่านความถี่ที่สนใจ (920 MHz ถึง 925 MHz) และ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศมีการแมตซ์ซึ่งดีกว่าพารามิเตอร์  $W_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร นอกจากนี้สายอากาศยังคงมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบ

### 3.3.2.2 การศึกษาผลกระทบขนาดความยาวของบ่วงพาราซิติกส์เหลี่ยม ( $L_{in}$ )

จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบขนาดความยาวของบ่วงพาราซิติกส์เหลี่ยม ( $L_{in}$ ) ในการศึกษาผลกระทบนั้น ได้กำหนดให้สายอากาศมีขนาดความกว้างของบ่วงพาราซิติกส์เหลี่ยม ( $W_{in}$ ) เท่ากับ 10.10 เซนติเมตร ในการศึกษาเบื้องต้นได้ทำการปรับขนาดของพารามิเตอร์  $L_{in}$  ตั้งแต่ 9.10 เซนติเมตร ถึง 11.10 เซนติเมตร เช่นเดียวกับการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์  $W_{in}$  อย่างไรก็ตามเมื่อปรับขนาดของพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 10.10 เซนติเมตร และ 11.10 เซนติเมตร พบว่าสายอากาศมีการแมตซ์ซึ่งของ  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ในแถบความถี่ต่ำซึ่งไม่สอดคล้องกับความถี่ที่สนใจ ดังนั้นในการจำลองผลการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์  $L_{in}$  ได้ทำการปรับขนาดของพารามิเตอร์  $L_{in}$  ตั้งแต่ 9.10 เซนติเมตร ถึง 9.50 เซนติเมตร



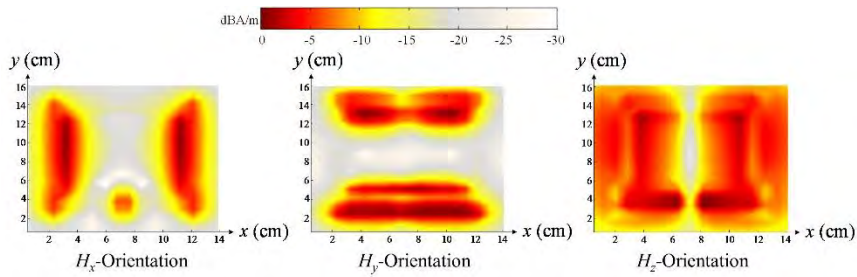
รูปที่ 3.24 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $L_{in}$

จากผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร ถึง 9.50 เซนติเมตร พบว่าสายอากาศมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่สนใจ (920 MHz ถึง 925 MHz) ในทุกขนาดพารามิเตอร์  $L_{in}$  ที่ทำการศึกษาผลกระทบ ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลกระทบเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสามารถในการแมตชิงของ  $|S_{11}|$  ในแต่ละความถี่ที่สนใจ โดยแสดงผลการเปรียบเทียบผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในตารางที่ 3.5

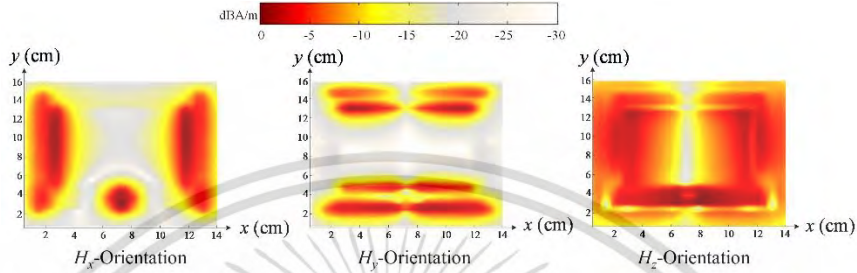
ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบผลการจำลอง  $|S_{11}|$  เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $L_{in}$

ขนาดของพารามิเตอร์ $L_{in}$ (เซนติเมตร)	ความถี่ (MHz) ที่ $ S_{11} $ ต่ำกว่า -10 dB	$ S_{11} $ (dB) ในแต่ละความถี่ที่สนใจ		
		920.0 MHz	922.5 MHz	925.0 MHz
9.10	895.0 ถึง 895.0	-21.04	-23.41	-26.60
9.30	884.5 ถึง 958.5	-30.07	-33.51	-30.37
9.50	883.0 ถึง 950.5	-24.09	-22.71	-20.96

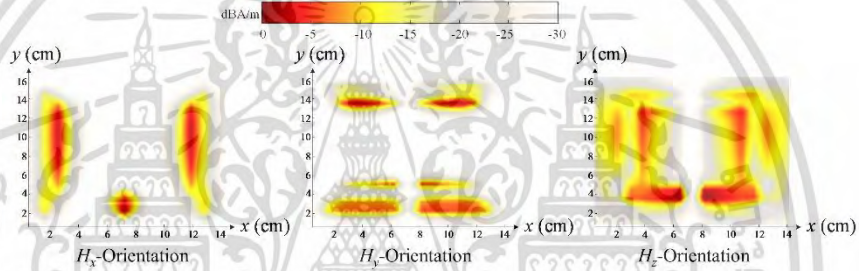
จากตารางที่ 3.5 สังเกตได้ว่าเมื่อสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีขนาดความยาวของบ่วงพาราซิติคส์เปลี่ยน ( $L_{in}$ ) เท่ากับ 9.30 เซนติเมตร สายอากาศมีความสามารถในการแมตชิงของ  $|S_{11}|$  ที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ได้เหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร และ 9.50 เซนติเมตร จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์  $L_{in}$  ที่มีผลต่อแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง โดยแสดงผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 3.25(ก) ถึง รูปที่ 3.25(ค) ตามลำดับ



(ก) การศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร



(ข) การศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.30 เซนติเมตร



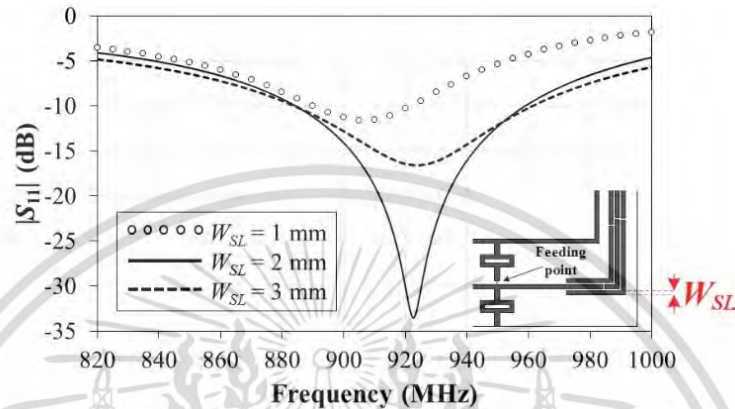
(ค) การศึกษาผลกระทบเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.50 เซนติเมตร

### รูปที่ 3.25 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ $L_{in}$

จากผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง เมื่อสายอากาศมีความยาวของบ่วงพาราซิติคส์เหลี่ยม ( $L_{in}$ ) ตั้งแต่ 9.10 เซนติเมตร ถึง 9.50 เซนติเมตร จากผลการจำลองพบว่า เมื่อสายอากาศมีพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.50 เซนติเมตร สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีการจางหายของการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  แสดงดังรูปที่ 3.25(ค) จากนั้นพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กของพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร กับ  $L_{in}$  เท่ากับ 9.30 เซนติเมตร พบว่าทั้งสองมีความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กที่ใกล้เคียงกันในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะที่สนามแม่เหล็ก  $H_z$  เมื่อพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.30 เซนติเมตร สายอากาศมีความเข้มและพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กได้ดีกว่า  $L_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร แสดงผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของพารามิเตอร์  $L_{in}$  เท่ากับ 9.10 เซนติเมตร และ 9.30 เซนติเมตร ในรูปที่ 3.25(ก) และ (ข) ตามลำดับ

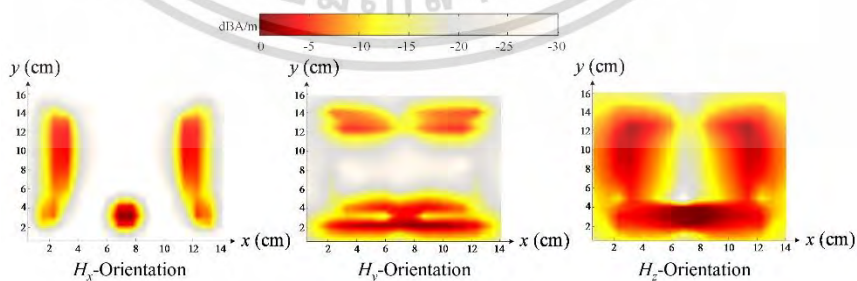
### 3.3.3 การศึกษาผลกระทบความกว้างของเส้นสตริปทองแดง ( $W_{SL}$ ) ของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง

ในหัวข้อนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบความกว้างของเส้นสตริปทองแดง ( $W_{SL}$ ) ในการศึกษาผลกระทบความกว้างของเส้นสตริปทองแดงนั้น ได้ปรับขนาดพารามิเตอร์  $W_{SL}$  ตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร



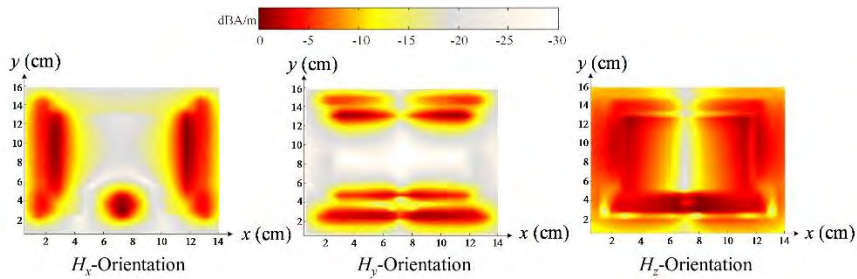
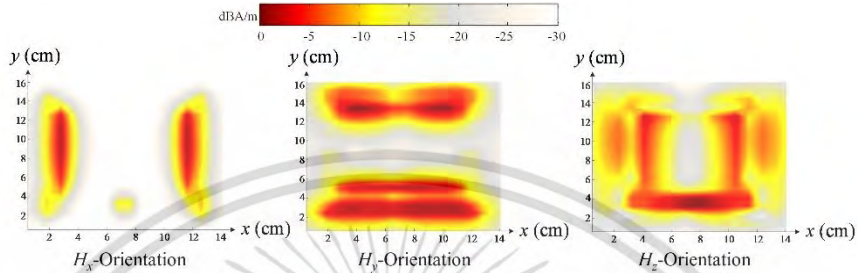
รูปที่ 3.26 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบความกว้างของเส้นสตริปทองแดง ( $W_{SL}$ )

จากรูปที่ 3.26 พบว่าเมื่อความกว้างของเส้นสตริปทองแดง ( $W_{SL}$ ) ให้มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิเมตร สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงไม่สามารถทำงานครอบคลุมความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ในขณะที่สายอากาศที่มีความกว้างของเส้นสตริปทองแดงเท่ากับ 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงสามารถทำงานครอบคลุมความถี่ที่สนใจ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz พบว่าเมื่อสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงที่มีพารามิเตอร์  $W_{SL}$  เท่ากับ 2 มิลลิเมตร  $|S_{11}|$  ของสายอากาศมีการแมตซึ่งที่ความถี่ที่สนใจได้ดีกว่า  $W_{SL}$  เท่ากับ 3 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์  $W_{SL}$  ที่มีผลต่อแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก โดยแสดงผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในรูปที่ 3.27(ก) ถึง รูปที่ 3.27(ค)



(ก) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $W_{SL}$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $W_{SL}$  เท่ากับ 2 มิลลิเมตร(ค) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $W_{SL}$  เท่ากับ 3 มิลลิเมตรรูปที่ 3.27 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับพารามิเตอร์  $W_{SL}$ 

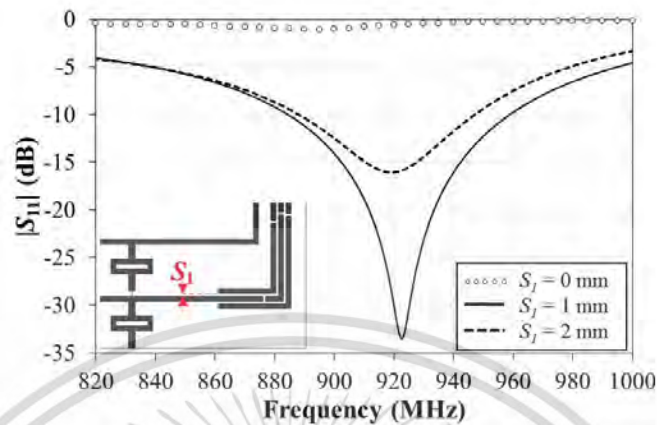
จากผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับขนาดความกว้างของเส้นสตริปทองแดง พบว่าเมื่อสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีความกว้างของเส้นสตริปทองแดง ( $W_{SL}$ ) เท่ากับ 2 มิลลิเมตร สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีความเข้มและมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  ดีกว่าความกว้างของเส้นสตริปทองแดง เท่ากับ 1 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร จากนั้นศึกษาผลกระทบการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_y$  พบว่าเมื่อสายอากาศมีความกว้างของเส้นสตริปทองแดง เท่ากับ 3 มิลลิเมตร สายอากาศมีความเข้มและมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศที่มีความกว้างของเส้นสตริปทองแดง เท่ากับ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_z$  พบว่าเมื่อสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีขนาดความกว้างเส้นสตริปทองแดงเท่ากับ 2 มิลลิเมตร สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่แรงและสม่ำเสมอตลอดทั้งบริเวณของสายอากาศ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามหลัก พบว่าเมื่อสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีความกว้างของเส้นสตริปทองแดง เท่ากับ 2 มิลลิเมตร สายอากาศมีสมรรถนะในการทำงานที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบอาร์เอฟไอเดีย ความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้

### 3.3.4 การศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างบ่วงเซกเมนต์แต่ละองค์ประกอบ ( $S_1$ )

สำหรับการศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างบ่วงเซกเมนต์แต่ละองค์ประกอบ ( $S_1$ ) ได้เริ่มศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์  $S_1$  ตั้งแต่ ระยะห่างระหว่างบ่วงเซกเมนต์แต่ละองค์ประกอบ เท่ากับ 0 มิลลิเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร โดยศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์จาก  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจาย

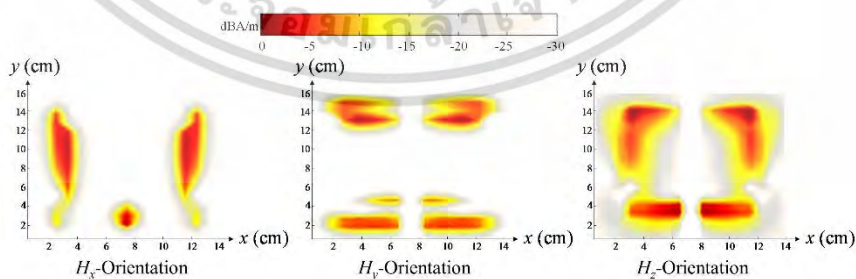
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็ก ตามลำดับ โดยผลการจำลองการศึกษาผลกระทบ  $|S_{11}|$  แสดงในรูปที่ 3.28 และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กแสดงในรูปที่ 3.29(ก) ถึง รูปที่ 3.29(ค)

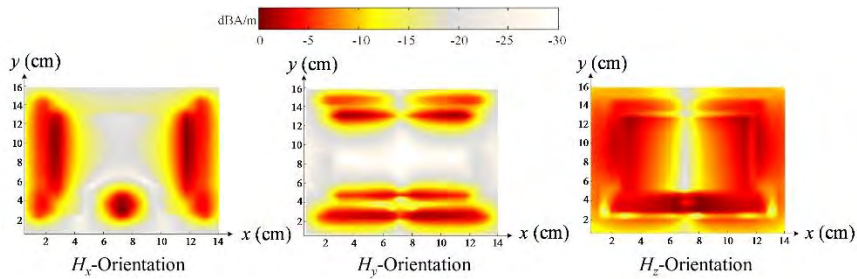


รูปที่ 3.28 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างบ่วงเซกเมนต์แต่ละองค์ประกอบ ( $S_j$ )

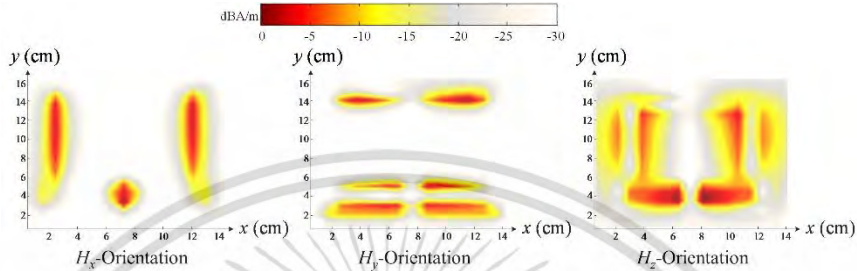
จากผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในรูปที่ 3.28 พบว่าเมื่อสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีพารามิเตอร์  $S_j$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร สายอากาศไม่สามารถทำงานที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz นอกจากนี้เมื่อพิจารณา  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่พิจารณาในกราฟ (820 MHz ถึง 1000 MHz) สายอากาศมี  $|S_{11}|$  ไม่ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่พิจารณาในกราฟ จากนั้นทำการพิจารณาเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์  $S_j$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อสายอากาศมีค่าพารามิเตอร์  $S_j$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร สายอากาศมีการแมตชิงที่ความถี่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ได้ดีกว่าพารามิเตอร์  $S_j$  เท่ากับ 2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการพิจารณาความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะในการทำงานเมื่อพารามิเตอร์  $S_j$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร



(ก) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $S_j$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร



(ข) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $S_1$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร



(ค) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $S_1$  เท่ากับ 2 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.29 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับพารามิเตอร์  $S_1$

จากผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับพารามิเตอร์  $S_1$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร ในรูปที่ 3.29(ก) ถึง รูปที่ 3.29(ค) พบว่าเมื่อสายอากาศมีพารามิเตอร์  $S_1$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร การกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$  มีการจางหายของการกระจายสนามแม่เหล็กที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์  $S_1$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร เนื่องจากระยะห่างระหว่างบ่วงเชกเมนต์แต่ละองค์ประกอบนั้นส่งผลกระทบต่อ การเชื่อมต่อของกระแสภายในสายอากาศ ส่งผลให้กระแสที่ไหลภายในสายอากาศไม่สามารถเชื่อมต่อกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้เกิดการจางหายของสนามแม่เหล็กเชกเมนต์หลายบ่วง ดังนั้นจากผล การศึกษาผลกระทบทั้ง  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก พบว่าเมื่อสายอากาศมี พารามิเตอร์  $S_1$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร สายอากาศความสามารถในการแมตซ์ซึ่งที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz และมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กที่ดีกว่าพารามิเตอร์  $S_1$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ในทุกสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$ )

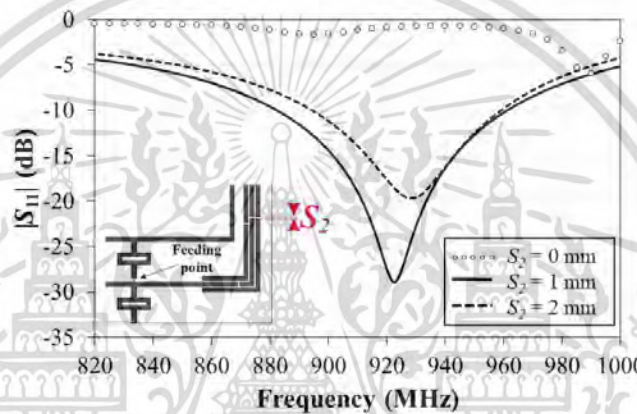
### 3.3.5 การศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดง ( $S_2$ )

จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดง ( $S_2$ ) ในการศึกษาได้เริ่ม พิจารณาให้ระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดงมีระยะห่างตั้งแต่ 0 มิลลิเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร โดย ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ดังกล่าวจากผลการจำลอง  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจาย สนามแม่เหล็กของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง โดยแสดงผลการจำลองการศึกษาผลกระทบของ พารามิเตอร์  $S_2$  ในรูปที่ 3.30 และ รูปที่ 3.31(ก) ถึง รูปที่ 3.31 (ค)

จากผลการจำลองในรูปที่ 3.30 พบว่าการปรับขนาดของพารามิเตอร์  $S_2$  นั้นส่งผลกระทบต่อ การแมตซ์ของ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศและแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ โดยผล

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

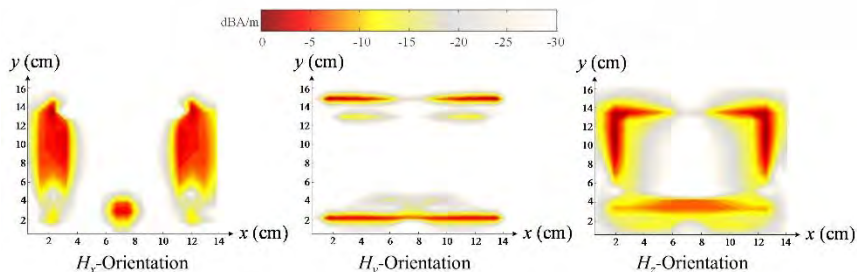
การจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศ พบว่าเมื่อปรับพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร การแมตซิ่งของ  $|S_{11}|$  นั้นไม่สามารถแมตซิ่งได้ดีต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่พิจารณาในกราฟ (820 MHz ถึง 1000 MHz) จากนั้นปรับขนาดของพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร พบว่าสายอากาศมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ดังนั้นจึงได้พิจารณาและทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแมตซิ่งของ  $|S_{11}|$  ที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz โดยแสดงผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 3.6 จากตารางที่ 3.6 เมื่อสายอากาศเซกเมนต์หลายช่วงมีพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ผล  $|S_{11}|$  ของสายอากาศเซกเมนต์หลายช่วงสามารถแมตซิ่งที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ได้ดีกว่าพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 2 มิลลิเมตร จากนั้นพิจารณาแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์  $S_2$  ตั้งแต่ 0 มิลลิเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.30 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้น ( $S_2$ )

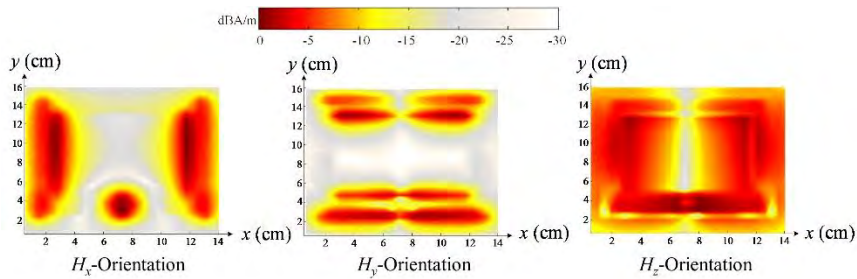
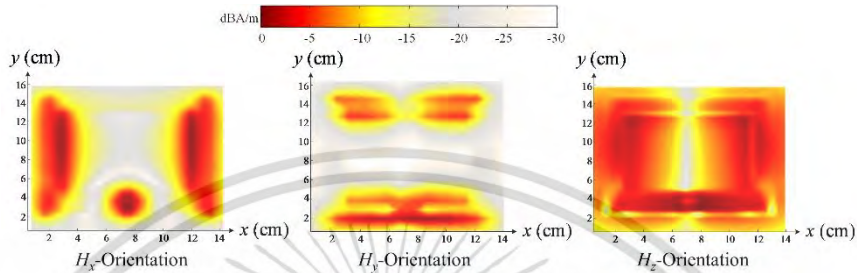
ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบผลการจำลอง  $|S_{11}|$  เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $S_2$

ขนาดของพารามิเตอร์ $S_2$ (มิลลิเมตร)	ความถี่ (MHz) ที่ $ S_{11} $ ต่ำกว่า -10 dB	$ S_{11} $ (dB) ในแต่ละความถี่ที่สนใจ		
		920.0 MHz	922.5 MHz	925.0 MHz
1	884.5 ถึง 958.5	-30.07	-33.51	-30.37
2	894.5 ถึง 959.0	-17.64	-18.57	-19.31



(ก) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 1 มิลลิเมตร(ค) การศึกษาผลกระทบเมื่อพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 2 มิลลิเมตรรูปที่ 3.31 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อปรับพารามิเตอร์  $S_2$ 

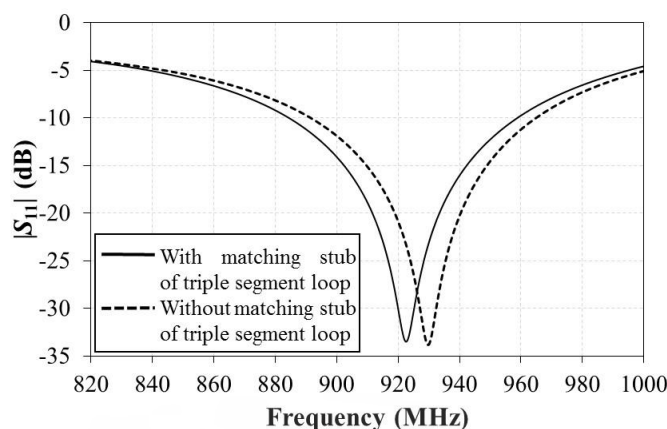
จากผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในรูปที่ 3.31 พบว่าถ้าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร (ไม่มีระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดง) สายอากาศคล้ายกับบ่วงยาวต่อเนื่อง ส่งผลให้สายอากาศการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศมีการจางหายของสนามแม่เหล็กในบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศในทุกสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) จากนั้นเมื่อปรับขนาดของพารามิเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 1 มิลลิเมตร พบว่าสายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่ความเข้มและมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในทิศสนามหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  จากนั้นปรับขนาดพารามิเตอร์  $S_2$  เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 2 มิลลิเมตร พบว่าการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_z$  มีการกระจายสนามที่ใกล้เคียงกับการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อพารามิเตอร์  $S_2$  มีขนาดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร แต่เมื่อพิจารณาการกระจายสนามในสนามแม่เหล็ก  $H_y$  สายอากาศมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กลดลงเพียงเล็กน้อย

จากการเปรียบเทียบผลการจำลองของ  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก พบว่าระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้นมีผลกระทบต่อ  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กที่รุนแรง เมื่อสายอากาศมีพารามิเตอร์  $S_2$  เท่ากับ 0 มิลลิเมตร จึงกล่าวได้ว่าถ้าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงไม่มีระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้น ( $S_2$ ) ในบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบ จะส่งผลให้สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการทำงานลดลงและจะส่งผลต่อความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง ดังนั้นการทำให้สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้น ( $S_2$ ) ในบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบจะช่วยเพิ่มความเข้มและพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอย่างละเอียด พบว่าการเพิ่มระยะห่างระหว่างเส้นสตริปทองแดงแต่ละเส้นนั้น (เพิ่มระยะห่างตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร) จะส่งผลกระทบต่อการกระจายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  เพียงเล็กน้อย แต่การเพิ่มระยะห่างระหว่างเส้น สตรีปทองแดงแต่ละเส้น ( $S_2$ ) ในบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบนั้น ได้ส่งผลกระทบต่อ ความสามารถในการแมตซิงของ  $|S_{11}|$  ในย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz อย่างชัดเจน ดังนั้นเมื่อ พิจารณาผลการจำลองของ  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการทำงานได้สอดคล้องกับจุดประสงค์ใน การออกแบบสายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ เมื่อ สายอากาศมีระยะห่างระหว่างเส้นสตรีปทองแดงแต่ละเส้น ( $S_2$ ) ในบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร

### 3.3.6 การศึกษาผลกระทบของสตัปแมตซิง

ในหัวข้อนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของแมตซิงสตัปที่บริเวณบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศ เซกเมนต์หลายบ่วงที่มีและไม่มีสตัปแมตซิงที่บริเวณบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบว่าส่งผล กระทบอย่างไรกับสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง จากผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในรูปที่ 3.32 เมื่อ สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงไม่มีสตัปแมตซิงที่บริเวณบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบ พบว่า สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมี  $|S_{11}|$  ต่ำที่สุดเท่ากับ -33.76 dB ที่ความถี่ 930 MHz ในขณะที่ สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีสตัปแมตซิงที่บริเวณบ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบ พบว่า สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมี  $|S_{11}|$  ต่ำที่สุดเท่ากับ -33.51 dB ที่ความถี่ 922.5 MHz และเมื่อ เปรียบเทียบความสามารถในการแมตซิงของ  $|S_{11}|$  ที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ระหว่างการมี สตัปแมตซิงและไม่มีสตัปแมตซิงนั้น พบว่าเมื่อสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีสตัปแมตซิงที่บริเวณ บ่วงเซกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบ สายอากาศมีความสามารถในการแมตซิงที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ได้ดีกว่าไม่มีสตัปแมตซิง ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแมตซิงที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ในตารางที่ 3.7 จากนั้นได้พิจารณาผลการจำลองแบบรูปการกระจาย สนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  พบว่า สตัปแมตซิงไม่ส่งผลกระทบต่อการกระจายสนามแม่เหล็ก ในทุกทิศสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) ดังนั้นจึงไม่ได้แสดงผลการจำลองแบบรูปการกระจาย สนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.32 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์  $M_{S1}$

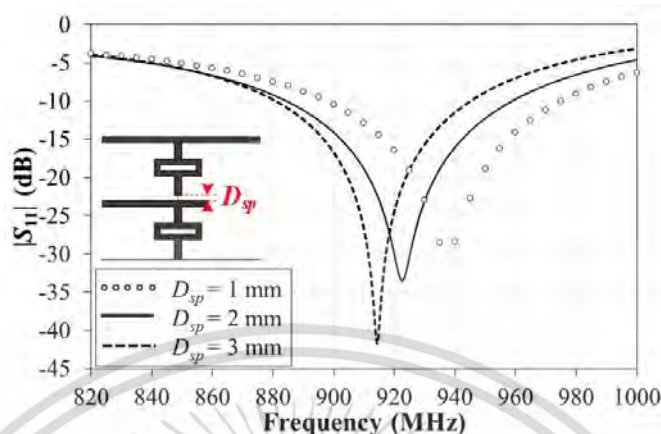
ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบระหว่างการมีสตับแมตชิงและไม่มีสตับแมตชิง

คุณสมบัติในการจำลอง	ความถี่ (MHz) ที่ $ S_{11} $ ต่ำกว่า -10 dB	$ S_{11} $ (dB) ในแต่ละความถี่ที่สนใจ		
		920.0 MHz	922.5 MHz	925.0 MHz
มีแมตชิงสตับ	884.5 ถึง 958.5	-30.07	-33.51	-30.37
ไม่มีแมตชิงสตับ	892.0 ถึง 964.5	-20.85	-23.21	-26.37

### 3.3.7 การศึกษาผลกระทบระยะห่างจุดป้อนสัญญาณระหว่างบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบและบ่วงพาราซิติกส์เหล็ยิม ( $D_{sp}$ )

สำหรับหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองการศึกษาผลกระทบระยะห่างจุดป้อนสัญญาณระหว่างบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบและบ่วงพาราซิติกส์เหล็ยิม โดยกำหนดให้ระยะห่างจุดป้อนสัญญาณระหว่างบ่วงเชกเมนต์หลัก 3 องค์ประกอบและบ่วงพาราซิติกส์เหล็ยิมด้วยพารามิเตอร์  $D_{sp}$  สำหรับผลการจำลองการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์  $D_{sp}$  ที่มีผลต่อ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงในรูปที่ 3.33 จากผลการจำลองพบว่าเมื่อพารามิเตอร์  $D_{sp}$  มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิเมตร สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการแมตชิงที่ดีในแถบความถี่สูง โดยมี  $|S_{11}|$  ต่ำที่สุดเท่ากับ -30.26 dB ที่ความถี่ 937.5 MHz จากนั้นเมื่อพารามิเตอร์  $D_{sp}$  มีค่าเท่ากับ 2 มิลลิเมตร พบว่า  $|S_{11}|$  ต่ำที่สุดเท่ากับ -33.51 dB ที่ความถี่ 922.5 MHz ในขณะที่พารามิเตอร์  $D_{sp}$  มีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตร พบว่า  $|S_{11}|$  ต่ำที่สุดเท่ากับ -41.73 dB ที่ความถี่ 914.5 MHz จากนั้นผลดังกล่าวพบว่าเมื่อสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีพารามิเตอร์  $D_{sp}$  เท่ากับ 2 มิลลิเมตร สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการแมตชิงได้ดีที่สุดที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่เอชเอฟ ประเทศไทย อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการยืนยันความสามารถในการทำงาน ดังนั้นได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแมตชิงที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ในตารางที่ 3.8 จากผลการเปรียบเทียบสามารถยืนยันได้ว่าเมื่อพารามิเตอร์  $D_{sp}$  เท่ากับ 2 มิลลิเมตร สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการแมตชิงได้ดีที่สุดตลอดย่านความถี่ที่สนใจ นอกจากนี้พบว่าระยะห่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของจุดป้อนสัญญาณไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ )



รูปที่ 3.33 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ในการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์  $D_{sp}$

ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบผลการจำลอง  $|S_{11}|$  เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์  $D_{sp}$

ขนาดของพารามิเตอร์ $D_{sp}$ (มิลลิเมตร)	ความถี่ (MHz) ที่ $ S_{11} $ ต่ำกว่า -10 dB	$ S_{11} $ (dB) ในแต่ละความถี่ที่สนใจ		
		920.0 MHz	922.5 MHz	925.0 MHz
1	898.0 ถึง 975.0	-16.42	-17.65	-19.10
2	884.5 ถึง 958.5	-30.07	-33.51	-30.37
3	881.0 ถึง 945.0	-24.47	-21.31	-19.00

### 3.4 สรุป

บทที่ 3 ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศและศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ โดยมีจุดประสงค์ในการออกแบบ คือ สายอากาศสามารถทำงานที่ย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz สายอากาศสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอและมีพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในสนามแม่เหล็ก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ซึ่งช่วยให้สายอากาศมีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารและระยะในการติดต่อสื่อสารกับแท็กเพิ่มขึ้นในขณะที่แท็กถูกหมุนไปในสนามแม่เหล็กแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  สายอากาศควรมีขนาด 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับชั้นวางหลอดเก็บตัวอย่างเลือดขนาดเล็ก (Microcentrifuge rack) จากจุดประสงค์การออกแบบดังกล่าว ในหัวข้อที่ 3.2 ได้นำเสนอวิวัฒนาการการออกแบบสายอากาศเพื่อให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบ โดยวิวัฒนาการของสายอากาศที่นำเสนอทุกตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) สามารถทำงานครอบคลุมความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz และมีขนาดของสายอากาศเท่ากันทุกตัวเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของสายอากาศ โดยโครงสร้างเริ่มต้นในการออกแบบ คือ สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม จากผลการจำลองพบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีการจางหายของสนามแม่เหล็กในบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศในสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) ส่งผลให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานและไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบ จากนั้นได้นำเสนอโครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์สามารถช่วยเพิ่มพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กและความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กได้เฉพาะในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาโครงสร้างสายอากาศ และได้มีการนำเสนอโครงสร้างสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ซึ่งผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กใน  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงสามารถเพิ่มความเข้มและพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ซึ่งสอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบสายอากาศ จากนั้นเพื่อยืนยันสมรรถนะของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ได้จำลองความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศทั้งสามตัวกับแท็ก และได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการติดต่อสื่อสาร จากผลการจำลองพบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กสนามระยะใกล้ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ได้ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ จากนั้นได้นำเสนอผลการจำลองการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง โดยนำเสนอผลการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับ  $|S_{11}|$  และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศในสนามแม่เหล็กหลัก เพื่อเป็นการยืนยันขนาดกายภาพและสมรรถนะในการทำงานของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง

## บทที่ 4

# ผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบ คุณสมบัติของสายอากาศ

### 4.1 บทนำ

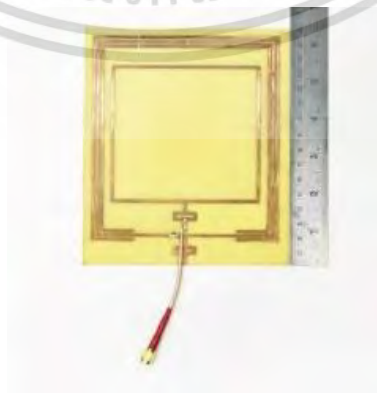
สำหรับบทนี้นำเสนอการเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติสายอากาศกับผลการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติ  $|S_{11}|$  การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ในสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ ) และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x-y$  นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิวัฒนาการสายอากาศ (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) เพื่อเป็นการยืนยันว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการทำงานที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอเดียันความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้ และมีผลที่สอดคล้องกับผลการจำลองที่ได้ทำการศึกษาในบทที่ 3 สำหรับโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศต้นแบบบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศต้นแบบรวมหลายบ่วง แสดงดังรูปที่ 4.1(ก) ถึง รูปที่ 4.1(ค) ตามลำดับ โดยสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) ถูกสร้างบนวัสดุฐานรองชนิด FR4 และสายอากาศต้นแบบมีขนาด 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร



(ก) สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

(ข) สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

เชกเมนต์



(ค) สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายสายอากาศต้นแบบ

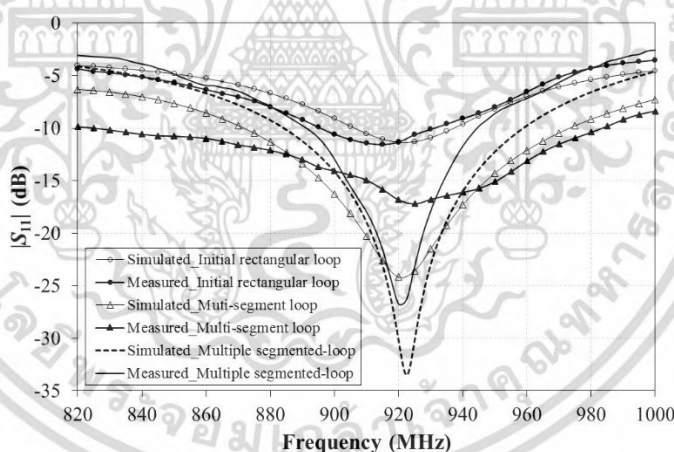
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการจำลองและผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองและผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติ  $|S_{11}|$  การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x-y$  จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบของสายอากาศทั้งสามตัว

### 4.2.1 ผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$

สำหรับหัวข้อนี้นำเสนอผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติ  $|S_{11}|$  ระหว่างผลการจำลองและการทดสอบของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติดังกล่าว ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP8720C ในการพิจารณาคุณสมบัติ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศทั้งสามตัว จากผลการทดสอบพบว่า สายอากาศทั้งสามมี  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า  $-10$  dB ตลอดย่านความถี่เอชเอฟอาร์เอฟไอดีมาตรฐานประเทศไทย (920 MHz ถึง 925 MHz) โดยแสดงผลการเปรียบเทียบ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศทั้งสามตัวในรูปที่ 4.2 และแสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแมตซ์ซิ่งของสายอากาศทั้งสามตัวในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 ผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบ  $|S_{11}|$  ของวิวัฒนาการของสายอากาศที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองและผลการทดสอบ  $|S_{11}|$  และแบนด์วิดธ์ของสายอากาศทั้งสามตัว

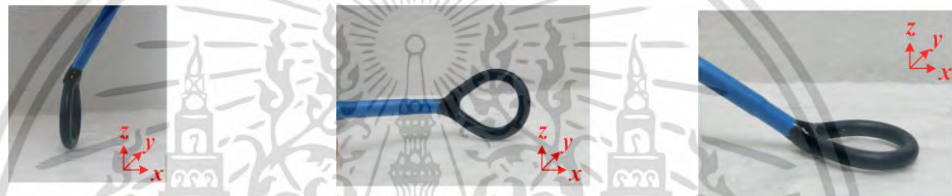
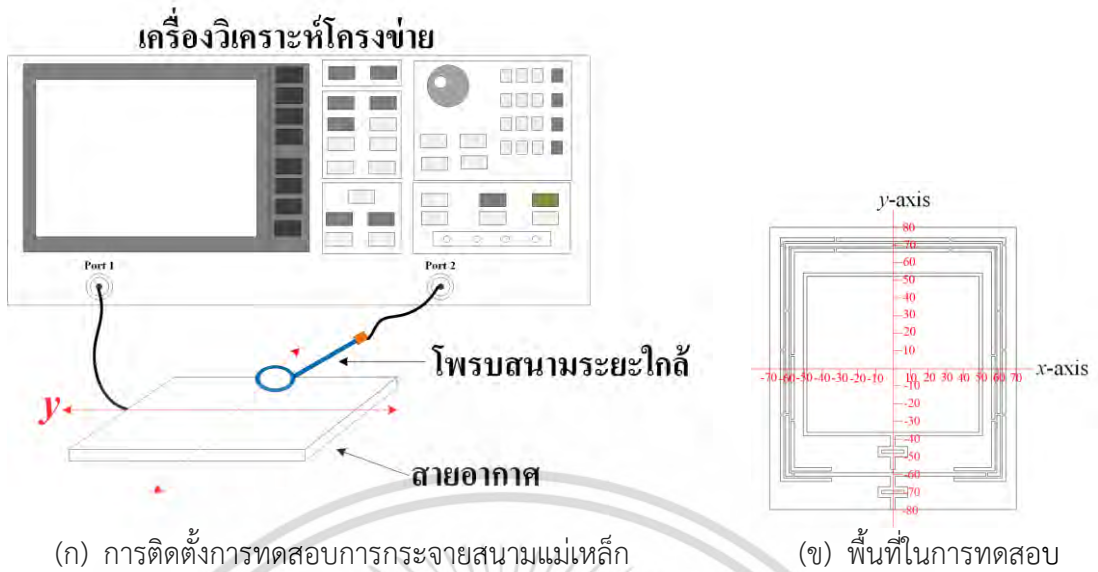
โครงสร้างสายอากาศ	ความถี่ (MHz) ที่ $ S_{11} $ ต่ำกว่า $-10$ dB		แบนด์วิดธ์ (MHz)	
	ผลการจำลอง	ผลการทดสอบ	ผลการจำลอง	ผลการทดสอบ
บ่วงสี่เหลี่ยม	907.5 ถึง 935.0	897.5 ถึง 930.0	27.5	32.5
บ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์	872.0 ถึง 973.0	827.5 ถึง 982.5	101.0	155.0
เชกเมนต์หลายบ่วง	884.5 ถึง 958.5	892.5 ถึง 942.5	74.0	50.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลการจำลองและผลการทดสอบของสายอากาศแต่ละตัวสอดคล้องกัน จากนั้นได้พิจารณาแบนด์วิดธ์ของสายอากาศแต่ละตัว พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีแบนด์วิดธ์ที่กว้างที่สุด รองลงมาคือสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ซึ่งโดยปกติแล้วความกว้างแบนด์วิดธ์ของสายอากาศจะสอดคล้องกับค่า  $Q$  และระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็ก โดยสายอากาศที่มีแบนด์วิดธ์กว้าง ส่งผลให้มีค่า  $Q$  ต่ำและมีระยะทางในการติดต่อสื่อสารใกล้ ในทางตรงกันข้ามถ้าสายอากาศมีแบนด์วิดธ์แคบ ส่งผลให้สายอากาศมีค่า  $Q$  สูงและมีระยะในการติดต่อสื่อสารไกล ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีแนวโน้มที่จะมีระยะในการติดต่อสื่อสารใกล้ที่สุด รองลงมาคือสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีระยะในการติดต่อสื่อสารไกลสุด อย่างไรก็ตามไม่สามารถพิจารณาเฉพาะค่า  $Q$  ของสายอากาศได้เพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้สายอากาศมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารเพิ่มขึ้น คือ การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ

#### 4.2.2 ผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน $x$ และแนวแกน $y$

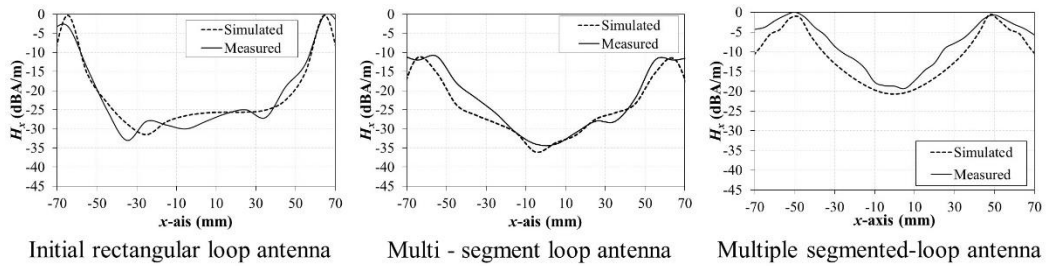
ในหัวข้อนี้นำเสนอการเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงในทิศการกระจายสนามแม่เหล็ก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ซึ่งในการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ได้ใช้โพรบสนามระยะใกล้ (Triarchy TNP6Gx-2 H-field probe) โดยโพรบทำงานครอบคลุมความถี่ 10 MHz ถึง 6 GHz มีความถี่เรโซแนนซ์ด้านบนมากกว่า 5 GHz โพรบมีขนาดเส้นรอบวง 15 มิลลิเมตร [30] และเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP 8720C ในการทดสอบสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมต้นแบบ สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ต้นแบบ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงต้นแบบ จะถูกติดตั้งเข้ากับพอร์ต 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย และโพรบสนามระยะใกล้ถูกติดตั้งเข้ากับพอร์ต 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โดยพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  จาก  $|S_{21}|$  สำหรับการทดสอบ  $|S_{21}|$  โพรบสนามระยะใกล้จะถูกวางอยู่เหนือพื้นผิวของสายอากาศต้นแบบโดยมีระยะห่าง 5 มิลลิเมตร และโพรบจะถูกเคลื่อนที่ไปตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ของสายอากาศ ในการทดสอบโพรบจะถูกหมุนไปในทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  โดยการหมุนของโพรบถูกแสดงในรูปที่ 4.3(ค) ในการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ของสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) มีพื้นที่ในการพิจารณาในแนวแกน  $x$  ตั้งแต่  $-70$  มิลลิเมตร  $\leq x \leq 70$  มิลลิเมตร ในขณะที่มีพื้นที่ในการพิจารณาในแนวแกน  $y$  ตั้งแต่  $-80$  มิลลิเมตร  $\leq y \leq 80$  มิลลิเมตร โดยแสดงวิธีการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ดังรูปที่ 4.3



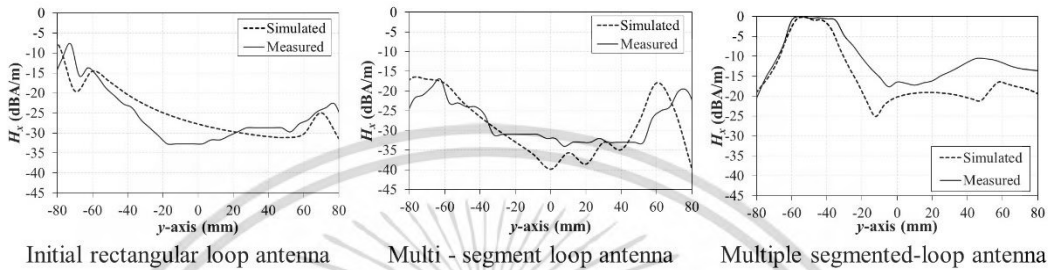
(ค) ลักษณะการวางโพรบสนามระยะใกล้ในการทดสอบ

### รูปที่ 4.3 วิธีการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน $x$ และแนวแกน $y$

สำหรับผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  แสดงดังรูปที่ 4.4 ถึงรูปที่ 4.6 ตามลำดับ ในรูปที่ 4.4(ก) และรูปที่ 4.4(ข) แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  ของสายอากาศทั้งสามตัว พบว่าสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) มีผลการจำลองและผลการทดสอบที่สอดคล้องกัน โดยผลการทดสอบสนามแม่เหล็กใน  $H_x$  ตลอดแนวแกน  $x$  สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด 33 dB สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด 23 dB และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด 19 dB ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด เท่ากับ 25 dB 17 dB และ 17 dB ในสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ตามลำดับ จากผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบทั้งสองแนวแกนพบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กน้อยกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์



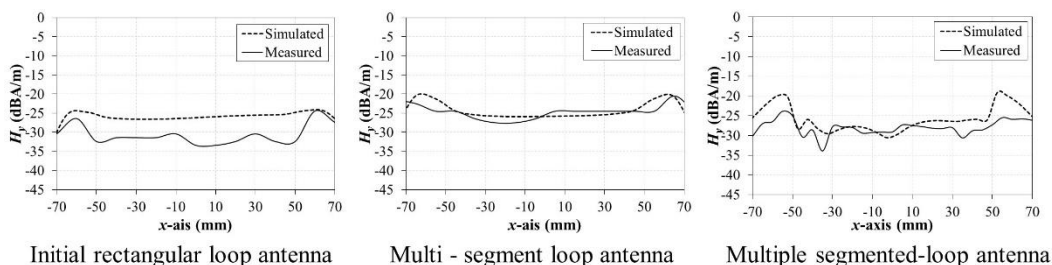
(ก) การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x



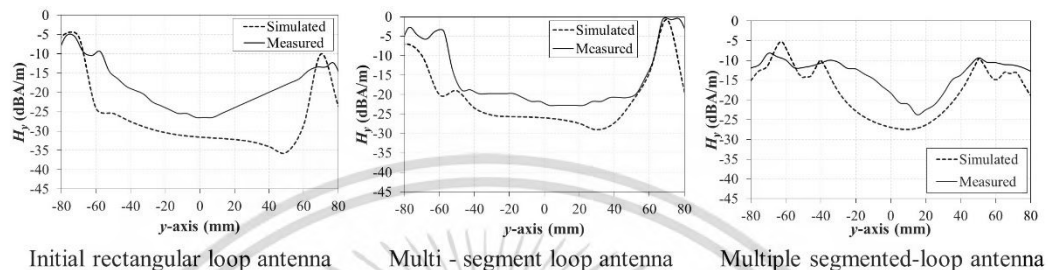
(ข) การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน y

#### รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามหลัก $H_x$

จากนั้นนำเสนอผลการจำลองการเปรียบเทียบผลการทดสอบตลอดแนวแกน x และแนวแกน y ในสนามแม่เหล็ก  $H_y$  แสดงในรูปที่ 4.5(ก) และ รูปที่ 4.5(ข) จากผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุด 9 dB สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุด 7 dB และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุด 10 dB จากผลการทดสอบสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x สังเกตได้ว่าสายอากาศทั้งสามตัวมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันเล็กน้อย ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กสูงสุดในแนวแกน y ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง เท่ากับ 21 dB 22 dB และ 15.55 dB ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กในแนวแกน y พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายสนามแม่เหล็กน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุดทั้งสองแนวแกน พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและการทดสอบของสายอากาศทั้งสามตัวพบว่า ผลการจำลองและผลการทดสอบสอดคล้องกัน



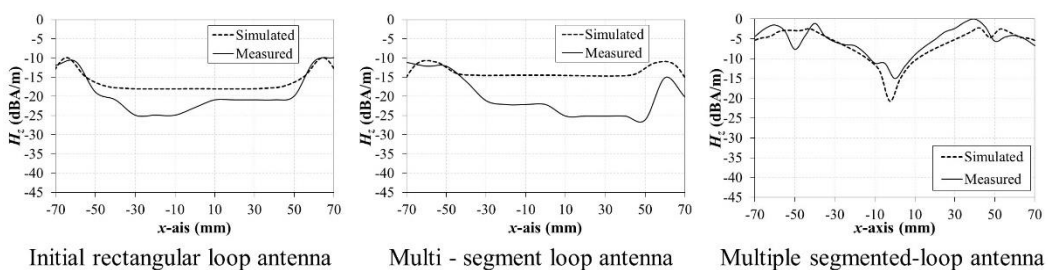
(ก) การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x



(ข) การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน y

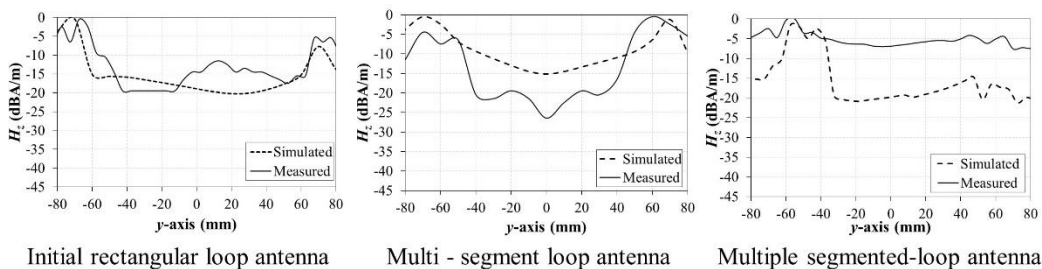
#### รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามหลัก $H_y$

ในรูปที่ 4.6(ก) และรูปที่ 4.6(ข) แสดงผลการจำลองและการทดสอบสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงตลอดแนวแกน x และแนวแกน y ในสนามแม่เหล็ก  $H_2$  จากผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x ในรูปที่ 4.6(ก) พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด เท่ากับ 15 dB ในสายอากาศทั้งสามตัว ในขณะที่ผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน y ในรูปที่ 4.6(ข) สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด 19 dB สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด 26 dB และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุด 7 dB จากผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กสูงสุดทั้งแนวแกน x และแนวแกน y พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กน้อยกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์



(ก) การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำมาเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



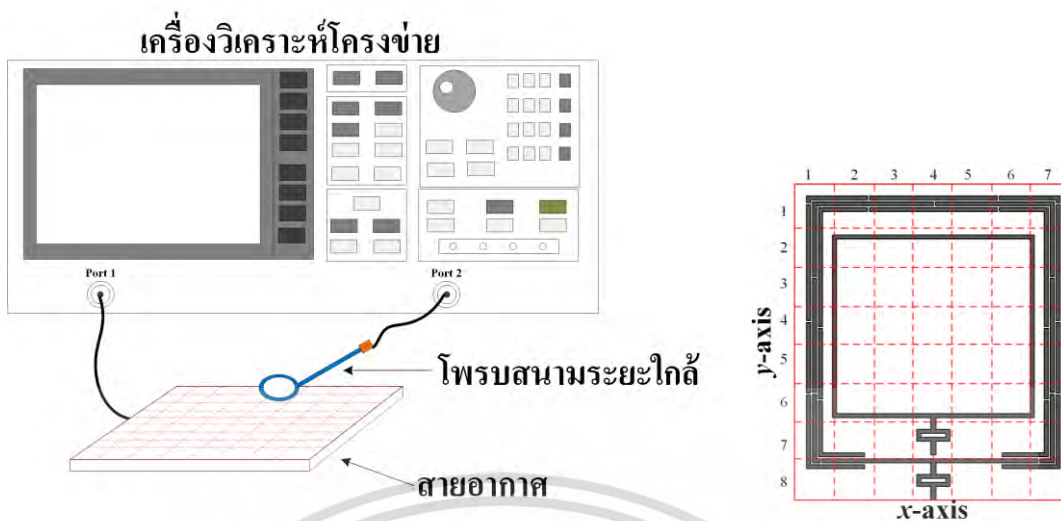
(ข) การกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $y$

#### รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามหลัก $H_z$

จากการเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศอินทิเกรต ในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  สายอากาศทั้งสามมีผลการจำลองและผลการทดสอบที่สอดคล้องกัน นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการกระจายสนามแม่เหล็กในทั้งสองแนวแกน การเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดในทุกสนามแม่เหล็กหลัก ส่งผลให้สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กและมีความสม่ำเสมอในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในทุกสนามแม่เหล็กหลัก ( $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$ )

#### 4.2.3 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ $x$ - $y$

หัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x$ - $y$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงที่มีความถี่ 922.5 MHz สำหรับการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x$ - $y$  แสดงวิธีการทดสอบดังรูปที่ 4.7 ในการทดสอบดังกล่าวสายอากาศจะถูกติดตั้งเข้ากับพอร์ต 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ในขณะที่โพรบสนามระยะใกล้จะถูกติดตั้งเข้ากับพอร์ต 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายโดยแสดงวิธีการติดตั้งการทดสอบดังกล่าวในรูปที่ 4.7(ก) ในการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศนั้น สายอากาศที่ถูกทดสอบจะถูกแบ่งพื้นที่ในระนาบ  $x$ - $y$  เป็นตารางแสดงดังรูปที่ 4.7(ข) จากนั้นโพรบสนามระยะใกล้จะเลื่อนไปตามตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิวของสายอากาศตลอดระนาบ  $x$ - $y$  โดยโพรบจะถูกวางเหนือพื้นผิวของสายอากาศที่ถูกทดสอบเป็นระยะ 5 มิลลิเมตร ในขณะเดียวกันโพรบสนามระยะใกล้จะถูกหมุนไปในทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ตามลำดับ โดยแสดงการหมุนของโพรบดังรูปที่ 4.7(ค)



(ก) การติดตั้งการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็ก

(ข) พื้นที่ในการทดสอบ



การวางโพรบในทิศ x



การวางโพรบในทิศ y

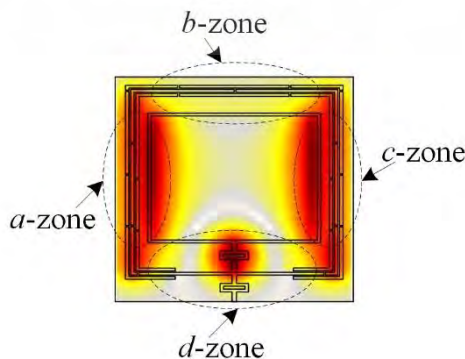


การวางโพรบในทิศ z

(ค) ลักษณะการวางโพรบสนามระยะใกล้ในการทดสอบ

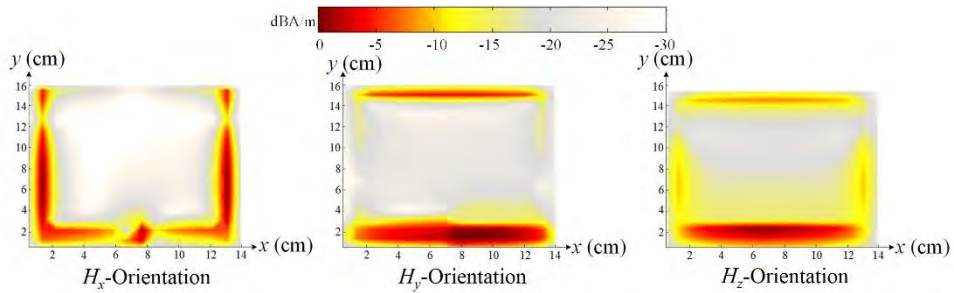
รูปที่ 4.7 วิธีการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ x-y

ซึ่งผลการทดสอบถูกแสดงด้วยแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก 2 มิติ โดยพื้นที่สีแดงแสดงถึงบริเวณที่สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้ม และพื้นที่สีขาวยแสดงถึงบริเวณที่สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เบาบาง เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายและความเข้าใจ ได้กำหนดตัวอักษร  $a$   $b$   $c$  และ  $d$  เพื่อแสดงบริเวณการกระจายสนามแม่เหล็ก โดย  $a$  คือ บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กขอบด้านซ้ายของสายอากาศ  $b$  คือ บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กขอบด้านบนของสายอากาศ  $c$  คือ บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กขอบด้านขวาของสายอากาศ และ  $d$  คือ บริเวณการกระจายสนามแม่เหล็กขอบด้านล่างของสายอากาศ แสดงพื้นที่ในการพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กในรูปที่ 4.8

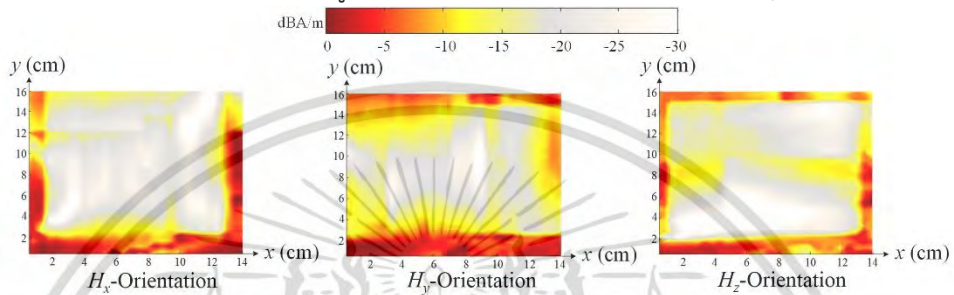


รูปที่ 4.8 พื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นิยนาได้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



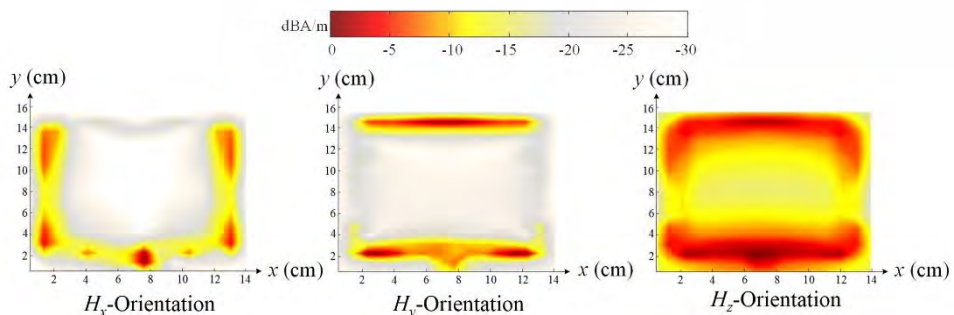
(ก) ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$



(ข) ผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$

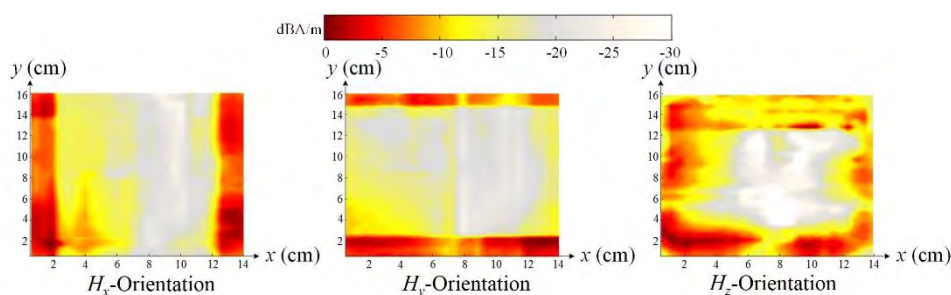
#### รูปที่ 4.9 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลักของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

ในรูปที่ 4.9(ก) และ รูปที่ 4.9(ข) แสดงผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ซึ่งผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กมีผลที่สอดคล้องกัน จากการทดสอบพบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีการกระจายสนามแม่เหล็กเฉพาะบริเวณขอบด้านข้างของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม โดยในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  สายอากาศมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กบริเวณ  $a$   $c$  และ  $d$  สำหรับการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_y$  พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มเฉพาะบริเวณ  $b$  และ  $d$  ส่วนในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มบริเวณขอบโดยรอบของสายอากาศ (บริเวณ  $a$   $b$   $c$  และ  $d$ ) อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบพบว่าในทุกการกระจายสนามแม่เหล็ก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$  บริเวณกึ่งกลางของสายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เบาบาง ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม



(ก) ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

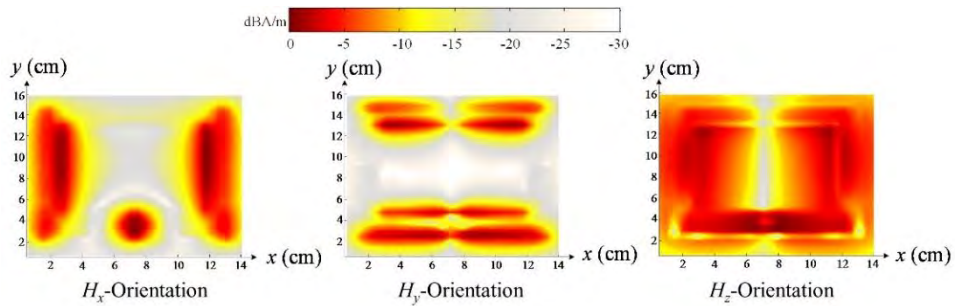
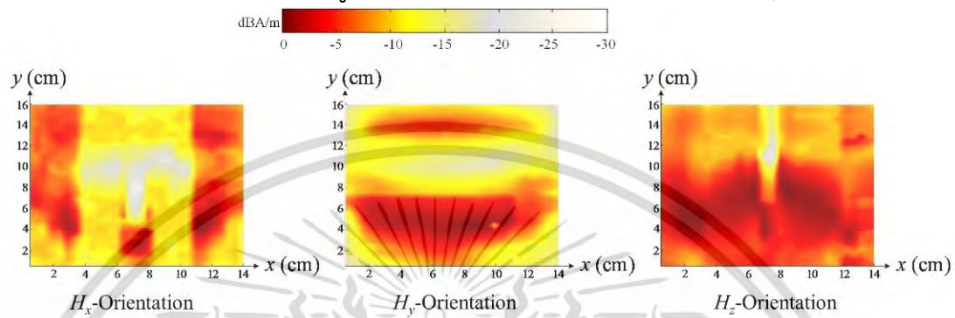


(ข) ผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$

#### รูปที่ 4.10 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลักของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม เซกเมนต์

ในรูปที่ 4.10(ก) และ รูปที่ 4.10(ข) นำเสนอผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ จากผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก พบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์มีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มเฉพาะบริเวณขอบด้านข้างของสายอากาศ (บริเวณ  $a$  และ  $c$ ) ในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และมีการกระจายสนามแม่เหล็กบริเวณขอบด้านบนและล่าง (บริเวณ  $b$  และ  $d$ ) ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ ในสนามแม่เหล็ก  $H_y$  ในขณะที่การกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_z$  สายอากาศมีความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดบริเวณ  $a$   $b$   $c$  และ  $d$  อย่างไรก็ตามบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เบาบางในทุกสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$  ส่งผลความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ลดลง

จากนั้นได้พิจารณาผลการจำลองและผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงในรูปที่ 4.11(ก) และ รูปที่ 4.11(ข) จากการทดสอบพบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดบริเวณขอบ  $a$   $b$   $c$  และ  $d$  ในการกระจายสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และมีความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็กที่แรงบริเวณขอบ  $b$  และ  $d$  ใน  $H_y$  นอกจากนี้เมื่อสังเกตจากผลการทดสอบพบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  และ  $H_y$  เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ ในขณะที่การกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_z$  ของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง พบว่าสายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มและสม่ำเสมอตลอดทั้งบริเวณของสายอากาศ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในทุกสนามแม่เหล็กหลักของสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ และสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง) พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงสามารถเพิ่มพื้นที่และความเข้มในการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะเดียวกันในสนามแม่เหล็ก  $H_z$  สายอากาศยังคงมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกสนามแม่เหล็กหลักเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์

(ก) ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$ (ข) ผลการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$   $H_y$  และ  $H_z$ 

รูปที่ 4.11 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กหลักของสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง

อย่างไรก็ตาม จากผลการจำลองและการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x-y$  ในรูปที่ 4.9 ถึง รูปที่ 4.11 พบว่ามีผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กบางส่วนที่ไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กนั้น มีการพิจารณาการกระจายสนามแม่เหล็กในพื้นที่ที่เป็นช่องว่างอิสระ แต่ในการทดสอบนั้นได้ใช้โพรบสนามระยะใกล้ในการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ โดยโพรบสนามระยะใกล้จะถูกเคลื่อนไปยังตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิวของสายอากาศ ซึ่งการทดสอบดังกล่าวส่งผลต่อความสามารถในการแมตซิ่งและการกระจายสนามแม่เหล็ก ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้ผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กในบางกรณีมีความคลาดเคลื่อนไปจากผลการจำลอง

### 4.3 สรุป

บทที่ 4 นำเสนอผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ และสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วง) สำหรับผลการทดสอบพบว่าสายอากาศทั้งสามตัว สามารถทำงานในย่านความถี่เอชเอฟมาตรฐานประเทศไทย (920 MHz ถึง 925 MHz) เมื่อพิจารณาความสามารถในการแมตซิ่งที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz พบว่าสายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีการแมตซิ่งที่ความถี่ดังกล่าวได้เหมาะสมที่สุด จากนั้นพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างแบนด์วิดธ์ของสายอากาศกับค่า  $Q$  และความสัมพันธ์ของค่า  $Q$  กับระยะทางในการติดต่อสื่อสาร จากผลการทดสอบพบว่าสายอากาศเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีความกว้างแบนด์วิดธ์สูงสุด ส่งผลให้สายอากาศมีค่า  $Q$  ต่ำ ซึ่งทำให้สายอากาศมีแนวโน้มที่จะมีระยะในการติดต่อสื่อสารใกล้ที่สุด รองลงมาคือสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความสามารถในการติดต่อสื่อสารของสายอากาศยังมีปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ จากผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กตลอดแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กในแต่ละแนวแกนของสายอากาศทั้งสามตัวในทุกสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีการเปลี่ยนแปลงการกระจายสนามแม่เหล็กน้อยที่สุดในทุกทิศสนามแม่เหล็กหลัก และเพื่อเป็นการยืนยันความสามารถในการกระจายสนามแม่เหล็ก ได้ทำการทดสอบแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x-y$  ของสายอากาศทั้งสามตัว จากผลการทดสอบ พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความเข้มและพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  และ  $H_y$  ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กหลัก  $H_z$  ของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอตลอดบริเวณของสายอากาศได้ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ จากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้

## บทที่ 5

# การทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศ

### 5.1 บทนำ

บทที่ 5 นำเสนอการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ซึ่งในการทดสอบแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ คือ การทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่แท็กถูกทดสอบบนอากาศ และการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่แท็กถูกติดตั้งบนหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก สำหรับการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูล สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลได้ถูกติดตั้งเข้ากับเครื่องอ่านข้อมูล Motorola XR480 RFID [31] โดยทดสอบการอ่านข้อมูลกับแท็กสนามระยะใกล้ย่านความถี่ยูเอชเอฟของบริษัท SAG (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร) แท็กสนามระยะใกล้ทำงานครอบคลุมความถี่ 860 MHz ถึง 960 MHz [32]

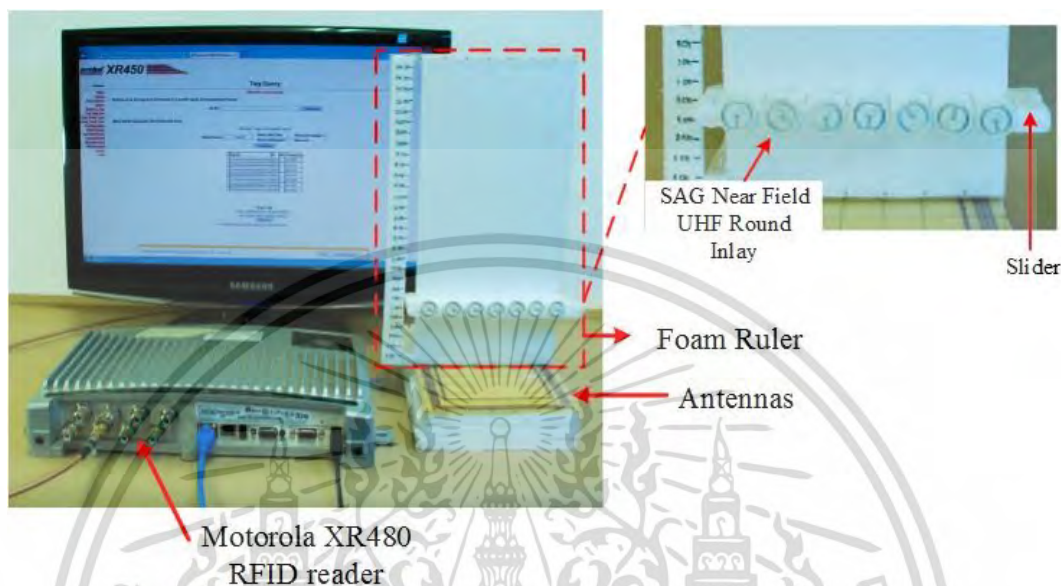
ในการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กสายอากาศจะถูกแบ่งพื้นที่ในการทดสอบออกเป็น 56 ช่อง โดยแต่ละช่องจะมีขนาดเท่ากับขนาดของแท็ก (1.8 เซนติเมตร  $\times$  1.8 เซนติเมตร) ในการทดสอบสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลจะถูกวางอยู่กับที่ โดยแท็กสนามระยะใกล้จะถูกหมุนไปในทิศทาง การติดต่อสื่อสาร  $x$   $y$  และ  $z$  ตามลำดับ ในขณะที่แท็กสนามระยะใกล้ที่ใช้ในการทดสอบจะถูกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆของสายอากาศและแท็กสนามระยะใกล้จะถูกปรับให้มีระยะห่างจากสายอากาศตั้งแต่ 1 เซนติเมตร ถึง 25 เซนติเมตร จากนั้นทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารเชิงพื้นที่ที่ระยะต่างๆ (ยกตัวอย่างเช่น ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร ถ้าสายอากาศสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กสนามระยะใกล้ได้ทั้ง 56 ช่อง แสดงว่าสายอากาศมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารที่ระยะดังกล่าวเป็น 100%) จากนั้นทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยการติดต่อสื่อสารของสายอากาศจากเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ตั้งแต่วัดระยะ 1 เซนติเมตร ถึง 25 เซนติเมตร โดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทาง  $x$   $y$  และ  $z$  ของสายอากาศทั้งสามตัว ตามลำดับ

### 5.2 การทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศ

#### 5.2.1 การทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศภายใต้เงื่อนไขแท็กถูกทดสอบบนอากาศ

ในการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศภายใต้เงื่อนไขแท็กถูกทดสอบบนอากาศ เพื่อลดผลกระทบจากมนุษย์ในการทดสอบแท็กได้ถูกติดตั้งเข้ากับแผ่นโฟม โดยแสดงรูปการติดตั้งในการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลในรูปที่ 5.1 ในการทดสอบแท็กจะถูกหมุนไปในทิศทาง การติดต่อสื่อสาร  $x$   $y$  และ  $z$  โดยแสดงการหมุนของแท็กไปในทิศทาง การติดต่อสื่อสารต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

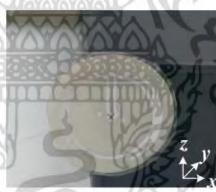
ดังรูปที่ 5.1(ข) และแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) กับแท็กในระยะห่างต่างๆในตารางที่ 5.1



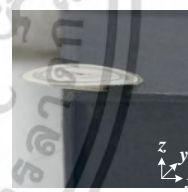
(ก) การติดตั้งสายอากาศในการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูล



แท็กถูกวางในทิศ x



แท็กถูกวางในทิศ y



แท็กถูกวางในทิศ z

(ข) ทิศทางการติดต่อสื่อสารของแท็กในทิศ x y และ z

รูปที่ 5.1 การทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็กภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเมื่อแท็กถูกทดสอบในอากาศ

ในตารางที่ 5.1 พบว่าระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็กสูงสุด เมื่อแท็กถูกหมุนไปในทิศ x พบว่าของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 9 เซนติเมตร สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 7 เซนติเมตร และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 9 เซนติเมตร จากผลการทดสอบดังกล่าวสังเกตได้ว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีระยะห่างในการติดต่อสื่อสารสูงสุดเท่ากัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศกับแท็ก พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลได้ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ประมาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12.50% สำหรับผลการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็กในขณะที่แท็กถูกหมุนไปในทิศทาง  $y$  พบว่าระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง มีระยะห่างในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 7 เซนติเมตร 11 เซนติเมตร และ 13 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ ประมาณ 16.07% สำหรับระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์และเชกเมนต์หลายบ่วงในทิศทาง  $z$  พบว่าสายอากาศมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 7 เซนติเมตร 23 เซนติเมตร และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์สมรรถนะการอ่านข้อมูลพบว่า สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะการอ่านข้อมูลที่ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ประมาณ 23.21% ดังนั้นจากผลการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศทั้งสามตัว พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลกับแท็กสนามระยะไกลได้ดีที่สุดในทิศทาง  $xy$  และ  $z$  นอกจากนี้พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กถูกหมุนไปในทิศทาง  $xy$  และ  $z$  เท่ากับ 25.27% 31.73% และ 85.43% โดยมีความสามารถในการอ่านข้อมูลกับแท็กสนามระยะไกลได้ 100% ที่ระยะ 1 เซนติเมตร 3 เซนติเมตร และ 7 เซนติเมตรในทิศทาง  $xy$  และ  $z$  ตามลำดับ

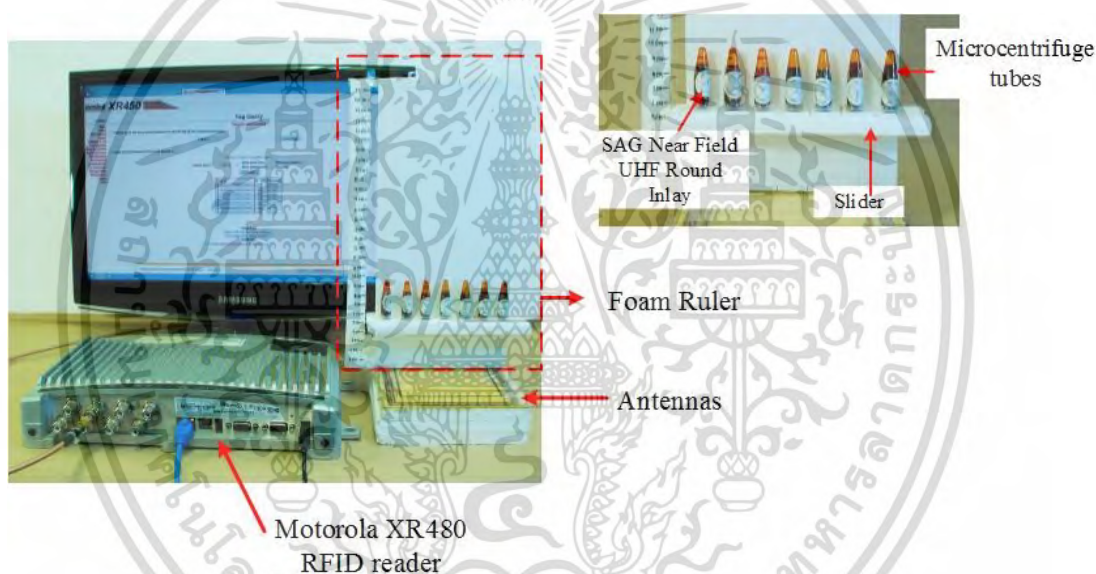
อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงพบว่าเมื่อสายอากาศมีระยะในการติดต่อสื่อสารห่างจากแท็กเป็นระยะ 11 เซนติเมตร สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูล 78.57% แต่เมื่อสายอากาศมีระยะในการติดต่อสื่อสารห่างจากแท็กเป็นระยะ 13 เซนติเมตร สายอากาศมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูล 92.86% เนื่องจากที่ระยะ 11 เซนติเมตร เป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงระหว่างบริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ไปสู่บริเวณสนามการแผ่กระจายระยะใกล้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศที่ระยะ 11 เซนติเมตรลดลง

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศภายใต้เงื่อนไขที่ถูทดสอบบนอากาศ

ระยะห่าง (cm)	สมรรถนะในการอ่านข้อมูล (%)								
	แท่งทดสอบในทิศ x			แท่งทดสอบในทิศ y			แท่งทดสอบในทิศ z		
	สายอากาศ บ่วง สี่เหลี่ยม	สายอากาศ บ่วงสี่เหลี่ยม เชกเมนต์	สายอากาศ เชกเมนต์ หลายบ่วง	สายอากาศ บ่วง สี่เหลี่ยม	สายอากาศ บ่วงสี่เหลี่ยม เชกเมนต์	สายอากาศ เชกเมนต์ หลายบ่วง	สายอากาศ บ่วงสี่เหลี่ยม	สายอากาศ บ่วงสี่เหลี่ยม เชกเมนต์	สายอากาศ เชกเมนต์ หลายบ่วง
1	62.50	60.71	100.00	82.14	82.29	100.00	37.50	76.79	100.00
3	46.43	46.42	80.36	51.79	80.36	100.00	21.43	80.06	100.00
5	39.28	25.00	75.00	26.79	57.14	78.57	8.93	80.36	100.00
7	21.42	12.50	53.57	7.14	44.64	53.57	3.57	78.57	100.00
9	7.14	0.00	19.64	0.00	32.14	37.50	0.00	64.29	91.07
11	0.00	0.00	0.00	0.00	16.07	26.79	0.00	57.14	78.57
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.07	0.00	58.93	92.86
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.36	94.64
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.79	94.64
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.71	81.14
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.64	69.65
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.71	41.07
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.21
ค่าเฉลี่ยความสามารถ ในการอ่านข้อมูล (%)	13.51	11.12	25.27	12.91	24.58	31.73	5.49	51.51	85.43

## 5.2.2 การทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศกับแท็กในการประยุกต์ใช้งานจริง

ในส่วนนี้นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศวงสี่เหลี่ยม สายอากาศวงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง ในการทดสอบนั้นแท็กที่ใช้ในการทดสอบจะถูกติดตั้งเข้ากับหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก ในการทดสอบแท็กจะถูกเคลื่อนไปบนพื้นผิวของสายอากาศทั้งสามตัว และแท็กจะถูกหมุนไปในทิศการติดต่อสื่อสาร  $x$   $y$  และ  $z$  เช่นเดียวกับการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศภายใต้เงื่อนไขแท็กถูกทดสอบบนอากาศ นอกจากนี้แท็กที่ถูกทดสอบมีระยะในการทดสอบตั้งแต่ 1 เซนติเมตร ถึง 25 เซนติเมตร โดยแสดงรูปการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศกับแท็กในการประยุกต์ใช้งานจริง ในรูปที่ 5.2 และแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศทั้งสามตัว ในตารางที่ 5.2



(ก) การติดตั้งสายอากาศในการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูล



แท็กถูกวางในทิศ  $x$



แท็กถูกวางในทิศ  $y$



แท็กถูกวางในทิศ  $z$

(ข) ทิศทางการติดต่อสื่อสารของแท็กในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$

รูปที่ 5.2 การทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศกับแท็กในการประยุกต์ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การทดสอบสมรรถนะของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง จากผลการทดสอบพบว่าระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดของสายอากาศทั้งสามตัวเมื่อแก้กถูกหมุนไปในทิศ  $x$  สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีระยะห่างสูงสุด 5 เซนติเมตร สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีระยะห่างสูงสุด 5 เซนติเมตร และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีระยะห่างสูงสุด 15 เซนติเมตร โดยสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะในการอ่านข้อมูลที่ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ประมาณ 20% ในขณะที่เมื่อแก้กถูกหมุนไปในทิศ  $y$  สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 5 เซนติเมตร สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 9 เซนติเมตร และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 15 เซนติเมตร ตามลำดับ จากผลการทดสอบดังกล่าวพบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลสูงกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ประมาณ 7.14% สำหรับผลการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลเมื่อแก้กถูกหมุนไปในทิศ  $z$  จากการทดสอบพบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดที่ 9 เซนติเมตร สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์มีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดที่ 15 เซนติเมตร และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดที่ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลที่ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ประมาณ 14.28% จากผลการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็ก สามารถกล่าวได้ว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการอ่านข้อมูลกับแท็กได้มีประสิทธิภาพกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมหรือสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ในทุกทิศการหมุนแท็ก (ทิศ  $x$   $y$  และ  $z$ ) โดยผลการทดสอบพบว่าสายอากาศเชกเมนต์รวมหลายบ่วงที่ถูกทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่แก้กถูกติดตั้งกับหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็ก เท่ากับ 30.55% 25.90% และ 69.09% ในทิศการติดต่อสื่อสาร  $x$   $y$  และ  $z$  ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศภายใต้เงื่อนไขที่ถูกต้องตั้งเข้ากับหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก

ระยะห่าง (cm)	สมรรถนะในการอ่านข้อมูล (%)								
	แท็กถูกทดสอบในทิศ x			แท็กถูกทดสอบในทิศ y			แท็กถูกทดสอบในทิศ z		
	สายอากาศ บ่วง สี่เหลี่ยม	สายอากาศ บ่วงสี่เหลี่ยม เชกเมนต์	สายอากาศ เชกเมนต์ หลายบ่วง	สายอากาศ บ่วง สี่เหลี่ยม	สายอากาศ บ่วงสี่เหลี่ยม เชกเมนต์	สายอากาศ เชกเมนต์ หลายบ่วง	สายอากาศ บ่วงสี่เหลี่ยม	สายอากาศ บ่วงสี่เหลี่ยม เชกเมนต์	สายอากาศ เชกเมนต์ หลายบ่วง
1	57.14	46.42	95.36	80.35	89.28	95.71	41.07	100.00	100.00
3	32.14	26.78	67.50	55.35	78.57	66.07	33.92	91.07	83.92
5	3.51	10.71	56.78	26.79	50.00	60.71	30.35	75.00	82.14
7	0.00	0.00	49.64	0.00	32.14	42.85	21.43	73.21	87.50
9	0.00	0.00	38.92	0.00	7.14	26.78	1.78	67.85	87.50
11	0.00	0.00	37.14	0.00	0.00	23.21	0.00	64.28	87.50
13	0.00	0.00	31.78	0.00	0.00	14.28	0.00	48.21	87.50
15	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	7.14	0.00	17.85	87.50
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.92
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.07
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.07
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.28
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.28
ค่าเฉลี่ยความสามารถ ในการอ่านข้อมูล(%)	7.14	6.45	30.55	12.49	19.77	25.90	9.88	41.34	69.09

### 5.3 สรุป

บทที่ 5 นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศทั้งสามตัว (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง) และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศทั้งสามตัว เพื่อยืนยันสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศ โดยการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ คือ การทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่แท็กถูกทดสอบบนอากาศ และการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่แท็กถูกติดตั้งบนหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก (ประยุกต์ใช้งานจริง) ในการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก สายอากาศจะถูกแบ่งพื้นที่ในการทดสอบออกเป็น 56 ช่อง โดยแท็กจะถูกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆของสายอากาศโดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแท็กตั้งแต่ 1 เซนติเมตร ถึง 25 เซนติเมตร และแท็กจะถูกหมุนไปในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$

จากการทดสอบสมรรถนะในการอ่านข้อมูลของสายอากาศทั้ง 2 การทดสอบ พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารได้ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม และสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ ในทุกทิศการติดต่อสื่อสาร (ทิศ  $x$   $y$  และ  $z$ ) สำหรับการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่แท็กถูกทดสอบบนอากาศ สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กถูกหมุนไปในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  เท่ากับ 25.27% 31.73% และ 85.43% และมีความสามารถในการอ่านข้อมูลกับแท็กสนามระยะไกลได้ 100% ที่ระยะ 1 เซนติเมตร 3 เซนติเมตร และ 7 เซนติเมตรในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  ตามลำดับ ในขณะที่การทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่แท็กถูกติดตั้งบนหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็ก เท่ากับ 30.55% 25.90% และ 69.09% ในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  ตามลำดับ และมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 15 เซนติเมตรในทิศ  $x$  และ ทิศ  $y$  ในขณะที่ทิศ  $z$  มีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 25 เซนติเมตร

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอสายอากาศสำหรับการเพิ่มสมรรถนะการอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้เป็นการนำข้อดีของย่านความถี่ยูเอชเอฟที่สามารถส่งผ่านข้อมูลที่รวดเร็วและสามารถอ่านแท็กได้หลายตัวพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกัน และข้อดีของการติดต่อสื่อสารในสนามระยะใกล้ที่สามารถทำงานใกล้กับวัสดุที่เป็นของเหลวหรือมีความชื้น จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ได้รับความสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการแพทย์เพิ่มมากขึ้น

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอสายอากาศที่ถูกพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ โดยมีจุดประสงค์ในการออกแบบสายอากาศ คือสายอากาศสามารถทำงานที่ย่านความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ซึ่งเป็นมาตรฐานความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีประเทศไทย สายอากาศสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอและมีพื้นที่การกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ซึ่งช่วยให้สายอากาศมีสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารและระยะในการติดต่อสื่อสารกับแท็กเพิ่มขึ้นในขณะแท็กถูกหมุนไปในทิศแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีขนาด 14 เซนติเมตร  $\times$  16 เซนติเมตร ในการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ที่ได้นำเสนอได้นำเสนอวิวัฒนาการของสายอากาศโดยเริ่มต้นจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม จากนั้นได้ปรับปรุงโครงสร้างสายอากาศเป็นสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์ และในโครงสร้างสุดท้ายได้พัฒนาการเป็นสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง จากผลการจำลองและผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ ( $|S_{11}|$ ) การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  และแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ  $x$ - $y$ ) พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วง สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการแมตซ์ที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ได้ดีที่สุด รวมทั้งสามารถเพิ่มพื้นที่และความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก  $H_x$  และ  $H_y$  ในขณะที่สนามแม่เหล็ก  $H_z$  สายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงยังคงสามารถมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่เข้มและสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิวัฒนาการของสายอากาศ (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์) พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงสามารถในการทำงานสอดคล้องกับจุดประสงค์ในการออกแบบ เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของสายอากาศทั้งสามตัว ได้ทำการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลของสายอากาศทั้งสามตัวเพื่อเป็นการยืนยันว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีสมรรถนะการอ่านข้อมูลที่ดีกว่าสายอากาศตัวอื่น (สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเชกเมนต์) เมื่อแท็กถูกหมุนไปในทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  จากผลการทดสอบสมรรถนะการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็ก พบว่าสายอากาศเชกเมนต์หลายบ่วงมีความสามารถในการอ่านข้อมูลได้ดีกว่าสายอากาศบ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์หรือการดำเนินงานอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สี่เหลี่ยมและสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมเซกเมนต์ในทุกทิศที่แท็กถูกหมุนไปในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  สำหรับการทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารภายใต้เงื่อนไขที่แท็กถูกทดสอบบนอากาศ สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กถูกหมุนไปในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  เท่ากับ 25.27% 31.73% และ 85.43% และมีความสามารถในการอ่านข้อมูลกับแท็กสนามระยะใกล้ได้ 100% ที่ระยะ 1 เซนติเมตร 3 เซนติเมตร และ 7 เซนติเมตรในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  ตามลำดับ ในขณะที่การทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารภายใต้เงื่อนไขที่แท็กถูกติดตั้งบนหลอดเก็บเลือดตัวอย่างขนาดเล็ก สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็ก เท่ากับ 30.55% 25.90% และ 69.09% ในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  ตามลำดับ และมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 15 เซนติเมตรในทิศ  $x$  และ ทิศ  $y$  ในขณะที่ทิศ  $z$  มีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 25 เซนติเมตร

## 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

สายอากาศเซกเมนต์หลายบ่วงที่นำเสนอซึ่งพบว่าในบางบริเวณของสายอากาศในสนามแม่เหล็กหลัก  $H_x$  และ  $H_y$  บางบริเวณมีการจางหายของสนามแม่เหล็ก ซึ่งถ้าพัฒนาให้มีพื้นที่ในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและมีความสม่ำเสมอในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้สายอากาศมีความสามารถในการอ่านข้อมูลได้ดีขึ้นเมื่อแท็กถูกหมุนไปในทิศ  $x$  และ  $y$  สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทางการแพทย์ชนิดอื่น เช่น ยา วัคซีน หรือ ถุงเลือด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Kamalvand, G. K.Pandey, M. K. Meshram, and A. Mallahzadeh, "A single sided dual-antenna structure for UHF RFID tag applications," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, pp. 619–628, 2015.
- [2] M. O. Sallam, E. A. Soliman, G. A. E. Vandenbosch, and W. D. Raedt, "Novel electrically small meander line RFID tag antenna," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, pp. 639–645, 2013.
- [3] C. Y. D. Sim, C. C. Chen, R. Cao, and B. S. Chen, "A circular patch antenna with parasitic element for UHF RFID applications," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, pp. 681–687, 2015.
- [4] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, John Wiley & Son, New York, 2003.
- [5] E. M. Cooney, *The complete review of radio frequency identification*, Thomson Delmar Learning, 2006.
- [6] V. Nikitin, K. V. S. Rao, and S. Lazar, "An overview of near-field UHF RFID," in *Proc. IEEE Int. Conf. on RFID*, pp. 167-174, 2007.
- [7] P. Harrop, Near Field UHF vs. HF for Item Level Tagging, Available from: [http://www.eurotag.org/?Articles\\_and\\_Publications](http://www.eurotag.org/?Articles_and_Publications)
- [8] P. Cole, D. Ranasinghe, and B. Jamali, "Coupling Relations in RFID Systems II: Practical Performance Measurements," *White paper*, pp. 1-33, 2003.
- [9] RFID Coupling Techniques, Available from: <http://www.radio-electronics.com>.
- [10] Healthcare Data Capture Solutions for Hospitals and Acute Care Facilities, Available from: <http://www.barcoding.com/hospital-actual-care-facility-data-capture-solution.shtml>
- [11] F. Giza, C. Turcu, and C. Turcu, "RFID Technology and Multi-Agent Approaches in Healthcare," *Stefan cel Mare University Romania*, pp. 127-140.
- [12] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [13] J. Carr, *Practical Antenna Handbook*, McGraw-Hill Companies, 2001.
- [14] D. M. Dobkin, *The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice*, Newnes, 2008.
- [15] D. M. Dobkin, S.M. Weigand, and N. Lye, "Segmented Magnetic Antenna for Near-Field UHF RFID," *Microw. Journal*, vol.50, no.6, 2007.
- [16] R. A. Oliver, "Broken-loop RFID reader antenna for near field and far field UHF RFID tags," *U.S. design patent D574*, 369 S, 2008.
- [17] R. A. Oliver, "Broken-loop RFID reader antenna for near field and far field UHF RFID tags," *U.S. design patent D574*, 370 S, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [18] R. A. Oliver, “Broken-loop RFID reader antenna for near field and far field UHF RFID tags,” *U.S. design patent US D570, 337 S*, 2008
- [19] X. Qing, C. K. Goh, and Z. N. Chen, “A Broadband UHF Near-Field RFID Antenna,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 12, pp.3829-3837, 2010.
- [20] X. Li, J. Liao, Y. Yuan, and D. Yu, “Eye-Shaped Segmented Reader Antenna for Near-Field UHF RFID Applications,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 114, pp.481-493, 2011.
- [21] J. Shi, X. Qing, Y. Yuan, and Z.N. Chen, Electrically Large Dual-Loop Antenna for UHF Near-Field RFID Reader, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, No. 3, pp. 1019-1025, March 2013.
- [22] V. Chawla and D.S. Ha, “An Overview of Passive RFID,” *IEEE Applications & Practice*, pp. 11-17, September 2007.
- [23] S. Kawdungta, Genetic Algorithm Optimization of Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency Band, Master Thesis, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2008.
- [24] N. Contaxes and A. J. Hatch, “High-Frequency Fields in Solenoidal Coils”, *Journal of Applied Physics*, vol. 40, no. 9, pp. 3548-3550, 1969.
- [25] AN678 RFID Coil Design, Available from: <http://www.microchip.com>
- [26] Near-field vs Far-field, Available from: [http://www.keysight.com/upload/cmc\\_upload/All/NSI-near-far.pdf?&cc=ES&lc=eng](http://www.keysight.com/upload/cmc_upload/All/NSI-near-far.pdf?&cc=ES&lc=eng).
- [27] P. Sorrells, Optimizing Read Range in RFID Systems, designfeature, pp. 173-184, 2000.
- [28] CST Microwave Studio (User’s Manual, 2013).
- [29] S. Kawdungta, C. Phongcharoenpanich, and D. Torrungrueng, “Design of a Novel Dual-Loop Gate Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) Systems at Low Frequency Band,” *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 12, pp.1-14, 2010.
- [30] Near-field probe Triarchy TNP6Gx-2 H-field probe, Available from: <http://www.triarchytech.com/productprobe.html>.
- [31] RFID Reader Motorola XR 480, Available from: <http://www.motorola.com>.
- [32] Near Field UHF Round Inlay, Available from: [http://www.sag.com.tw/index.php?\\_Page=product&mode=show&cid=&pid=327&SetLang=en-us](http://www.sag.com.tw/index.php?_Page=product&mode=show&cid=&pid=327&SetLang=en-us).

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวรัศมีทัต แผนสมบูรณ์
วัน เดือน ปีเกิด	20 ตุลาคม 2530
ที่อยู่	403/1 ซอยเนรแก้ว ถนนเนรแก้ว ตำบลท่าระหัด อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72000
ประวัติการศึกษา	
ปริญญาตรี	สำเร็จการศึกษา พ.ศ.2553 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาโท	สำเร็จการศึกษา พ.ศ.2555 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำ สายสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้

### วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] R. Pansomboon and C. Phongcharoenpanich, "The Multiple Loop Antenna for Enhanced Readability Performances of Near-Field UHF RFID Applications," *International Journal of RF and Microwave Computer Aided Engineering*, 2016.

### บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] R. Pansomboon, S. Prasong, and C. Phongcharoenpanich "Printed L-Slot Antenna with Dual-band Operation for Portable Device," *Thailand – Japan MicroWave 2014 (TJMW2014)*, Bangkok, November 2014.
- [2] R. Pansomboon, C. Phongcharoenpanich, and, S. Kawdungta "Improvement of Multiple Loop Antenna for Near-Field UHF RFID Applications," *2014 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (IWEM2014)*, Sapporo, Hokkaido, Japan, pp.139-140, August 2014.
- [3] R. Pansomboon, C. Phongcharoenpanich, and, S. Kawdungta, "Single Spiral Loop Antenna for Near-Field UHF RFID Applications," *2nd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2013)*, Chaing Mai, Thailand, pp.59-60, August 2013.
- [4] S. Prasong, R. Pansomboon, and C. Phongcharoenpanich, "Dual-Band Printed L-Slot Antenna for 2.4/5 GHz WLAN Operation in the Laptop Computer,"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2013 *International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2013)*, Nanjing, China, October 2013.

- [5] C. Phongcharoenpanich, R. Pansomboon, T. Lertwiriaprapa and S. Kawdungta, "Fishing Net Antenna for LF-RFID Reader of Cuboid Aquarium Applications," 2012 *IEEE International Conference on Wireless Information Technology and Systems (ICWITS 2012)*, Maui, Hawaii, USA, November 2012.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้