

การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า  
สำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2557

**DESIGN OF A DIPOLE ANTENNA WITH  
ELECTROMAGNETIC BAND GAP  
FOR RFID TAG**

**Chavalit Phatra**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2014**

การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า  
สำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร. ชุติมา พรหมมาก)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์)

กรรมการ

(ศ. ดร. ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชวลิต เกตรา : การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า  
สำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก (DESIGN OF A DIPOLE ANTENNA WITH  
ELECTROMAGNETIC BAND GAP FOR RFID TAG) อาจารย์ที่ปรึกษา :  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์, 116 หน้า.

ระบบระบุเอกลักษณ์ด้วยความถี่วิทยุ หรืออาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification : RFID) ได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ระบบอาร์เอฟไอดีประกอบไปด้วยทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (transponder/tag) เครื่องสำหรับอ่านข้อมูล (reader) และคอมพิวเตอร์หลัก (host computer) โดยตัวแท็ก ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิป จะถูกนำมาติดตั้งบนวัตถุ อาร์เอฟไอดีเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจสำหรับระบุวัตถุในคลังสินค้า การควบคุมและกระบวนการอัตโนมัติอื่น ๆ การจัดการห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกบริการ ตัวอย่างเช่น ท่าเรืออัจฉริยะ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประโยชน์และข้อดีของการใช้ระบบ อาร์เอฟไอดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสนับสนุนกิจกรรมด้าน M-Commerce ในการใช้ผู้คอนเทนเนอร์ อย่างไรก็ตามแท็กย่านความถี่สูงยิ่งได้รับผลกระทบอย่างมากจากด้านหลังวัตถุ โดยเฉพาะวัตถุที่เป็น โลหะ เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเปลี่ยนไป ทำให้แท็กแบบไดโพลไม่สามารถทำงานได้เมื่อถูกติดตั้งบนโลหะ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการออกแบบอาร์เอฟไอดีแท็กซึ่งสามารถใช้งานได้ในพื้นผิวโลหะ ซึ่งแท็กประกอบด้วย สายอากาศไดโพล และช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap : EBG) โดยวัสดุช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าถูกออกแบบที่ความถี่ 922 เมกกะเฮิรตซ์ และเฟสสะท้อนกลับของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีผลกระทบต่อคุณลักษณะของสายอากาศ โดยแท็กจะวางบนวัสดุฐานรองของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งถูกใช้เพื่อเป็นฉนวนของสายอากาศและถูกยึดติดกัน แท็กสามารถถูกใช้งานบนวัสดุโลหะได้และมีอัตราขยายที่สูงขึ้น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแท็กที่นำเสนอสามารถสื่อสารกับตัวอ่านได้เป็นระยะทาง 8.6 เมตร

CHAVALIT PHATRA : DESIGN OF A DIPOLE ANTENNA WITH  
ELECTROMAGNETIC BAND GAP FOR RFID TAG. THESIS ADVISOR :  
ASST. PROF. PIYAPORN MEESAWAD, Ph.D., 116 PP.

ELECTROMAGNETIC BAND GAP/ METALLIC OBJECT/UHF RFID TAG

Development of Radio Frequency Identification (RFID) systems has increased rapidly in recent years. RFID systems consist of radio frequency transponders (tags), radio frequency transceivers (readers) and a host computer. Tags that consist of an antenna and a microchip are attached to objects. RFID is a promising technology for products tracking in warehousing, control and other automation processes, supply chain management and service logistics. Such as intelligent port that illustrates the benefit and advantages of using an RFID system, particularly its support of m-commerce activities in the container depot. However, the UHF RFID tag is greatly affected by backside object especially metallic object because the antenna impedance has changed. The dipole tag even can't work when it is attached on metal. Therefore, this thesis presents the design of a RFID tag that works reliably on metallic surface, it consists of a dipole antenna and an Electromagnetic Band Gap (EBG). The design of EBG material is operated at 922 MHz and its reflection phase has an effect on the antenna characteristic. The tag includes an EBG substrate which is used to insulate antenna and tagged on it. The tag can be used on metallic objects and have higher gain. The experimental results showed that the proposed tag can communicate with reader from a distance of 8.6 m.

School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ที่คอยแนะนำช่วยเหลือให้คำปรึกษาอย่างดีมาโดยตลอด

คุณนุชนาฏ ฝาเพ็ญ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและด้านเทคนิค รวมทั้งการชี้แนะเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สนับสนุนต่อการทำวิทยานิพนธ์ อย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบคุณพี่และเพื่อนบัณฑิตศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ และน้อง ๆ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ชวลิต เกตรา

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	5
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	5
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	5
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	6
<b>2 ปรัชญ์วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>7</b>
2.1 กล่าวนำ.....	7

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2	ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.2.1	สายอากาศและอาร์เอฟไอดีแท้	7
2.2.2	ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า	11
2.3	สรุป	15
<b>3</b>	<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>16</b>
3.1	คุณลักษณะของระบบอาร์เอฟไอดี	16
3.1.1	ระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID)	16
3.1.2	ความถี่ในระบบ RFID	18
3.1.3	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation pattern)	20
3.1.4	อัตราขยาย (Gain)	23
3.1.5	ระยะการอ่าน	24
3.1.6	ความกว้างแถบ (Bandwidth)	25
3.1.7	การแมตช์ (Matching)	25
3.1.8	สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient)	28
3.2	ทฤษฎีสายอากาศไดโพล	29
3.2.1	สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ	29
3.2.2	การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล (Dipole Antenna Polarization)	32
3.3	ทฤษฎีช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap: EBG)	33
3.4	การแผ่พลังงานของสายอากาศบนตัวสะท้อน	37
3.5	การสะท้อนของเฟส (Reflection Phase)	38
3.6	การใช้งานเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเพื่อเป็นทำเรืออัจฉริยะ	40
3.7	สรุป	40
<b>4</b>	<b>การออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า</b>	<b>41</b>
4.1	ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ	41
4.1.1	เครื่องอ่าน (Reader)	41
4.1.2	ไอซีชิป (IC Chip)	41



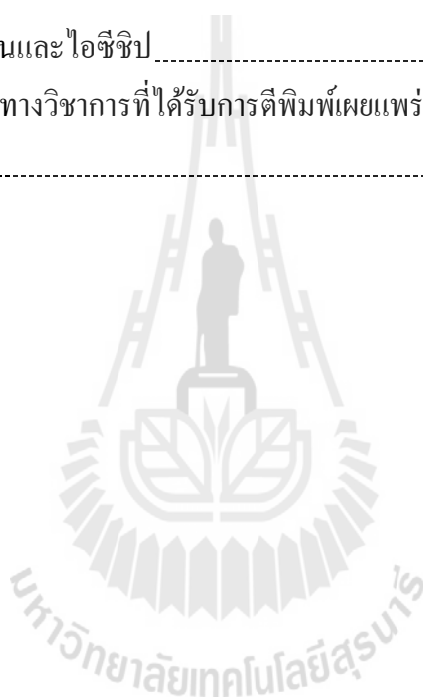
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 ความถี่.....	42
4.2 การออกแบบสายอากาศไดโพล.....	42
4.2.1 ผลการจำลอง RFID Tag โดยใช้สายอากาศไดโพลที่ลดรูป ด้วยการหักงอ.....	51
4.3 ผลกระทบของแท็กไดโพลเมื่อวางบนวัสดุที่เป็นโลหะ.....	54
4.4 การศึกษาช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (EBG).....	55
4.4.1 ปรับค่าช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ ( $g$ ).....	56
4.4.2 ปรับค่ารัศมีเส้นลวด ( $r$ ).....	57
4.4.3 ปรับค่ากว้างของแผ่นตัวนำ ( $w$ ).....	58
4.5 การศึกษาพารามิเตอร์ของอาร์เอฟไอดีแท็กบนช่องว่างแถบความถี่ แม่เหล็กไฟฟ้า.....	59
4.6 สรุป.....	73
<b>5 การทดสอบและวิเคราะห์ผล.....</b>	<b>74</b>
5.1 วิธีการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ.....	74
5.2 วิธีการสร้างและวัดทดสอบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ.....	76
5.3 การวัดทดสอบระยะการอ่านอาร์เอฟไอดีแท็ก.....	78
5.3.1 การวัดระยะการอ่านแท็กบนอากาศว่าง.....	80
5.3.2 การวัดระยะการอ่านอาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะ.....	82
5.3.3 การวัดระยะการอ่านของแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ.....	84
5.4 จำลองการทดสอบเมื่อนำแท็กติดตั้งที่ตู้คอนเทนเนอร์.....	86
5.4.1 วัดทดสอบแท็กที่ใช้บนโลหะทั่วไป.....	87
5.4.2 วัดทดสอบแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่ แม่เหล็กไฟฟ้า.....	90
5.5 สรุป.....	93
<b>6 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>94</b>
6.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	94

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	95
6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	95
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เครื่องอ่านและไอซีซีป.....	98
ภาคผนวก ข บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	116



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ย่านความถี่ต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดีและการใช้งาน.....	19
3.2	มาตรฐานย่านความถี่ UHF ของแต่ละประเทศ.....	20
4.1	ขนาดของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอต้นแบบ.....	50
4.2	ขนาดเริ่มต้นของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....	55
4.3	ขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....	59
4.4	ขนาดของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....	65
4.5	ผลการจำลองแบบต่าง ๆ.....	73
5.1	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ.....	75
5.2	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ.....	76
5.3	ค่าการวัดระยะการอ่านแท็กบนอากาศว่าง.....	81
5.4	การวัดระยะการอ่านบนแผ่นโลหะ.....	84
5.5	การวัดระยะการอ่านแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ.....	86
5.6	การวัดแท็ก Confidex Survivor.....	89
5.7	การวัดแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....	92
5.8	การวัดแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และแท็ก Confidex Survivor.....	92
6.1	ระยะการอ่านของแท็กแบบต่าง ๆ.....	95

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สายอากาศอาร์เอฟไอดีเท็กแบบต่าง ๆ.....	8
2.2	การหั่งงสายอากาศไดโพลให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม.....	9
2.3	สายอากาศแบบสล้อตรูปตัว Y.....	10
2.4	สายอากาศไมโครสตริป.....	10
2.5	สายอากาศแบบแผ่นเรียบ (planar).....	11
2.6	ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบกั้นหอย.....	12
2.7	ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด.....	12
2.8	สายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....	13
2.9	สายอากาศไดโพลพับริ่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....	14
3.1	องค์ประกอบในระบบ RFID.....	17
3.2	แสดงย่านความถี่ที่ RFID ถูกใช้งาน.....	18
3.3	ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบการแผ่กระจาย กำลังงานของสายอากาศ.....	21
3.4	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว.....	22
3.5	วงจรมุมลแบบอนุกรม.....	25
3.6	วงจรมุมลไฟฟ้าของการส่งผ่าน.....	28
3.7	สายอากาศไดโพล.....	29
3.8	ระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศไดโพล.....	31
3.9	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ.....	31
3.10	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของไดโพลอุดมคติ.....	32
3.11	ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล.....	33

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.12	โครงสร้างแบบ 3 มิติ (ก) โครงสร้างแบบที่นำไดอิเล็กตริกเป็นสี่เหลี่ยม วางทับกันเป็นชั้น (ข) โครงสร้างแบบรวมชั้น โลหะที่มีลักษณะสามง่าม วางเรียงลำดับกัน.....	33
3.13	โครงสร้างแบบ 2 มิติ (ก) โครงสร้างพื้นผิวแบบดอกเห็ด (ข) โครงสร้างพื้นผิว แบบระนาบเดียว.....	34
3.14	โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (Mushrommlike EBG).....	35
3.15	รูปแบบของค่าเหนี่ยวนำและค่าความจุของโครงสร้างช่องว่าง แถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....	35
3.16	คลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศบนแผ่นสะท้อน.....	37
3.17	ขนาดเฟสของการสะท้อนคำนวณโดยใช้ผลของรูปแบบของวงจร.....	39
3.18	การติดตั้งเครื่องอ่านในท่าเรืออัจฉริยะ.....	40
4.1	สายอากาศไดโพล.....	43
4.2	ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่า Reactance ของสายอากาศ และไอซีซีพเมื่อปรับความยาวของสายอากาศไดโพล.....	44
4.3	สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ.....	45
4.4	ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศ ไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอเมื่อปรับความกว้างส่วนปลายของสายอากาศ.....	46
4.5	สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติค.....	47
4.6	ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศ ไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติค เมื่อปรับความกว้าง ของเส้นพาราซิติค.....	48
4.7	ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่า Reactance ของสายอากาศไดโพล ที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติค เมื่อปรับระยะของเส้นหักงอ กับเส้นพาราซิติค.....	49
4.8	ขนาดของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอต้นแบบ.....	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9	ผลการจำลองแบบของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ ที่ความถี่ 920-925 MHz.....51
4.10	ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ.....52
4.11	Smith chart ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ.....53
4.12	ค่า $S_{11}$ ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ.....53
4.13	ระยะการอ่านของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ.....54
4.14	แท็กไดโพลวางบนวัสดุโลหะ.....54
4.15	ค่า $S_{11}$ ของสายอากาศไดโพลแท็กบนโลหะ.....55
4.16	ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....56
4.17	เฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....56
4.18	เฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อปรับขนาด ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ.....57
4.19	เฟสของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปรับค่ารัศมี.....57
4.20	เฟสช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปรับค่าความกว้างของแผ่นตัวนำ.....58
4.21	เฟสสะท้อนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....58
4.22	ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 4 x 2 มิลลิเมตร ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก.....60
4.23	ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 มิลลิเมตร.....61
4.24	ค่าอิมพีแดนซ์ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ขนาด 8 x 4 มิลลิเมตร.....62
4.25	แบบจำลองแท็กช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 มิลลิเมตร.....63
4.26	ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติค เมื่อปรับความยาวของเส้นพาราซิติค.....64

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27	ขนาดของสายอากาศไดโพลที่แมตซ์กับไอซีชิป.....65
4.28	ค่า $S_{11}$ ของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด $8 \times 4$ อลิเมนต์.....66
4.29	ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด $8 \times 4$ อลิเมนต์ ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก .....67
4.30	ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....68
4.31	Smith chart ของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....69
4.32	ระยการอ่านของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....69
4.33	สนามระยะใกล้บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก.....70
4.34	แท่งร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ ที่มีขนาด $18 \times 9$ เซนติเมตร.....70
4.35	ผลการจำลองแท่งร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ ที่มีขนาด $18 \times 9$ เซนติเมตร.....71
4.36	แท่งร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ ที่มีขนาด $40 \times 40$ เซนติเมตร.....72
4.37	ผลการจำแท่งร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ ที่มีขนาด $40 \times 40$ เซนติเมตร.....72
5.1	อาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบวาดบนโปรแกรม Corel DRAW.....74
5.2	อาร์เอฟไอดีแท็ก ต้นแบบ.....75
5.3	โปรแกรม Corel DRAW กำหนดการตัดแผ่น PCB.....76
5.4	ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ.....77
5.5	ผลวัดเฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ.....77
5.6	การวัดระยการอ่าน.....78
5.7	ห้องไร้อากาศสะท้อนของคลื่น.....79

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 Reader และ Notebook.....	79
5.9 โปรแกรมอ่านค่าแท็ก.....	80
5.10 อาร์เอฟไอดีแท็กแบบไดโพล.....	80
5.11 สายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น.....	81
5.12 อาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะขนาด 18 x 9 เซนติเมตร.....	82
5.13 อาร์เอฟไอดีแท็กพร้อมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนแผ่นโลหะขนาด 18 x 9 เซนติเมตร.....	82
5.14 อาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะขนาด 40 x 40 เซนติเมตร.....	83
5.15 อาร์เอฟไอดีแท็กพร้อมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนแผ่นโลหะขนาด 40 x 40 เซนติเมตร.....	83
5.16 สายอากาศไดโพลแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ.....	85
5.17 สายอากาศไดโพลแท็กพร้อมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่บรรจุน้ำ.....	85
5.18 คู่คอนเทนเนอร์.....	87
5.19 การวัดแท็ก Confidex Survivor.....	88
5.20 การวัดระยะอ่านของแท็กแบบไดโพลพร้อมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า.....	90



# บทที่ 1

## บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็น การอธิบายถึงความเป็นมาและเหตุจูงใจ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัยแนวทางการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการนับจำนวนสินค้ารวมไปถึงจำนวนคนนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญในระบบธุรกิจ และเทคโนโลยีที่มาแทนระบบบาร์โค้ดนั้นคือเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification : RFID) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่น่าจับตามองอย่างมาก เพราะประโยชน์ของเทคโนโลยีนี้จะทำให้การดำเนินธุรกิจมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นหลายองค์กรได้นำเอาเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาพัฒนาพร้อมกับการใช้งานภายในองค์กรในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การนับจำนวนสินค้า บัตรสำหรับผ่านเข้าออก ห้องพักบัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถหรือแม้แต่ในฉลากสินค้า เป็นต้น ประสิทธิภาพของอาร์เอฟไอดีที่มีมากกว่าระบบบาร์โค้ด คือ สามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับได้โดยไม่ต้องนำไปจ่อในมุมที่เหมาะสมอย่างการใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ด มีความละเอียดและสามารถบรรจุข้อมูลได้มาก ความเร็วในการอ่านข้อมูลจากแถบอาร์เอฟไอดีเร็วกว่าการอ่านข้อมูลจากแถบบาร์โค้ดหลายสิบเท่า สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมกันหลาย ๆ แถบ

ระบบอาร์เอฟไอดีจะมีส่วนประกอบหลัก ๆ อยู่สามส่วนด้วยกันคือ ในส่วนแรกจะเป็นทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก(Transponder/Tag) ซึ่งแท็กนั้นจะเป็นบัตรหรือป้ายสินค้าใช้สำหรับติดกับวัตถุต่าง ๆ โดยแท็กจะประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิปซึ่งถูกติดตั้งบนวัตถุ ส่วนที่สองคือ เครื่องสำหรับอ่านข้อมูล (Reader) การอ่านจะทำผ่านคลื่นความถี่วิทยุโดยเครื่องอ่านสามารถอ่านรหัสได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก เนื่องจากเพียงแคแท็กและเครื่องอ่านอยู่ในบริเวณที่สามารถรับส่งคลื่นความถี่วิทยุได้ก็สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ โดยสามารถอ่านได้ที่ละหลาย ๆ แท็กพร้อมกัน ในส่วนสุดท้ายจะเป็นคอมพิวเตอร์หลักซึ่งใช้สำหรับประมวลผลข้อมูล

การใช้งานอาร์เอฟไอดีในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศทั่วโลกในปัจจุบันนี้ มีองค์ประกอบและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นวิธีการทางศุลกากรที่แตกต่างกัน

ในแต่ละประเทศ การอำนวยความสะดวกของการเคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างเขตแดนในแต่ละประเทศข้อกำหนด ระเบียบ รวมไปถึงมาตรการในการป้องกันการก่อการร้ายเพื่อป้องกันความสูญเสียหรือเสียหายของสินค้าที่มีการขนส่งจากประเทศหนึ่ง ไปสู่อีกประเทศหนึ่ง เหล่านี้ล้วนมีผลต่อการบริหารจัดการขนส่งสินค้าในแต่ละประเทศ การขนส่งทางน้ำที่มีปริมาณสินค้าในแต่ละท่าเรือจำนวนมาก รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการบริหารท่าเรือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปริมาณสินค้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้การควบคุมหรือการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าทางเรือตลอดกระบวนการมีข้อจำกัดและไม่มีประสิทธิภาพในการควบคุมความปลอดภัยของสินค้า

สืบเนื่องจากระบบซัพพลายเชนทั่วโลกมีรูปแบบการเชื่อมต่อที่มีทั้งประสิทธิภาพและความเสี่ยง เนื่องจากมีปริมาณการนำเข้าและส่งออกมากกว่า 15 ล้านตู้คอนเทนเนอร์ อย่างต่อเนื่องในจำนวน 46,000 สายเรือโดยผ่านท่าเรือสากลกว่า 4,000 แห่งทั่วโลก ซึ่งแต่ละจุดเชื่อมต่อของท่าเรือในระบบซัพพลายเชนมีความหลากหลายของภัยคุกคามที่ก่อให้เกิดการก่อการร้าย ซึ่งทำให้ผู้บริหารท่าเรือทั่วโลกตกอยู่ภายใต้แรงกดดัน ซึ่งอาจมีผลจากการหยุดชะงักของระบบซัพพลายเชนได้ ภัยของการก่อการร้ายนี้เป็นความเสี่ยงที่ยากจะจัดการให้หมดได้ แต่อย่างไรก็ตามท่าเรือต่าง ๆ และบุคลากรทั่วโลกได้มีความพยายามที่จะทำให้เกิดความเสี่ยงของการก่อการร้ายให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากมีผลกระทบต่อความปลอดภัยของประเทศ และระบบซัพพลายเชนส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเคลียร์สินค้าเข้าและออกจากท่าเรือซึ่งโดยทั่วไประบบการบริหารสินค้าของท่าเรือต่าง ๆ ทั่วโลกได้ถูกออกแบบสำหรับการบริหารงานให้มีประสิทธิภาพเพื่อสร้างผลกำไรแต่มีได้ออกแบบเพื่อรองรับความปลอดภัย ทำให้ระบบบุคลากรและการบริหารท่าเรือมีโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงสูงและก่อให้เกิดผลกระทบในระบบซัพพลายเชนได้ เพราะบุคลากรจะมีบทบาทในการควบคุมสินค้าที่มีข้อห้ามข้อจำกัดเพื่อการเรียกเก็บภาษีอากรที่ถูกต้องจากการสำแดงราคาที่ต้องท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการ รวมทั้งมีการวิจัยเพื่อค้นหาเครื่องมือมาเพื่อขจัดปัญหาและความท้าทายเหล่านี้ตัวขับเคลื่อนที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงในอนาคตจากระบบอัจฉริยะนี้มีใช้ประโยชน์ที่ได้จากระบบอัตโนมัติที่เพิ่มขึ้น แต่ยังเป็นการลดความไม่สะดวกของระบบในรูปแบบที่ใช้คนหรือเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติได้ ทั้งนี้การนำเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดีมาใช้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการให้สามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของปริมาณสินค้าหรือความเสี่ยงของสินค้าที่อาจถูกขโมย ลักลอบนำเข้าโดยไม่เสียภาษี หรือต่อต้านการก่อการร้ายได้ ซึ่งในอนาคตจะเป็นมาตรฐานของการจัดการ โลจิสติกส์เพื่อใช้ในการควบคุมความปลอดภัยของสินค้าได้จากการสำรวจบริษัทชั้นนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไปแล้วมักนิยมออกแบบแท็กด้วยสายอากาศไคโพล (Wongsiritorom, et al., 2009) สายอากาศไคโพลพับ (Genovesi and Monorchio, 2010) และสายอากาศไมโครสตริป (Cho, et al., 2010) ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการทำงานของแท็กจะลดลงเมื่ออยู่ใกล้พื้นผิวโลหะหรือผิวน้ำ เนื่องจากเมื่อนำตัวแท็กไปติดที่วัตถุที่เป็นโลหะ จะส่งผลให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าเปลี่ยนไป เนื่องจากคลื่นความถี่ที่รับส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่านจะถูกสะท้อนกลับที่ผิวโลหะหรือคลื่นความถี่จะถูกดูดซับโดยน้ำ ในการแก้ปัญหาดังกล่าวในทางปฏิบัติอาจจะนำโฟมหรือพลาสติกมาเสริมที่ด้านหลังของแท็กก่อนติดตัวแท็กบนโลหะเป็นระยะ  $\lambda/4$  เพื่อให้โลหะสะท้อนคลื่นไปทางด้านหน้าให้มีเฟสตรงกัน แต่การกระทำดังกล่าวส่งผลให้เกิดความไม่สะดวกในการติดตั้งใช้งาน และประสิทธิภาพของแท็กลดลงเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของระยะการติดตั้งนี้ ต่อมางานวิจัย (Cho, et al., 2010) จึงทำการออกแบบแท็กด้วยสายอากาศแบบไมโครสตริป เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริปมีส่วนของกราวด์โลหะ ซึ่งทำหน้าที่สะท้อนคลื่นไปทิศทางด้านหน้าได้ส่งผลให้สามารถติดตั้งสายอากาศไมโครสตริปบนวัตถุที่เป็นโลหะได้ แต่สายอากาศดังกล่าวมักมีขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องการแผ่นกราวด์ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ เพื่อให้ไม่มีคลื่นผิวเลี้ยวเบนไปด้านหลัง

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงทำการออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับใช้ในอาร์เอฟไอดีแท็กโดยโครงสร้างของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในวิศวกรรมสายอากาศ เนื่องจากคุณสมบัติที่น่าสนใจเช่น ลดคลื่นผิวน้ำหนักเบา สะดวกในการผลิตและต้นทุนในการผลิตต่ำ ซึ่งวิธีการป้องกันแท็กแบบไดโพลจากทางด้านหลังด้วยช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้แท็กแบบไดโพลยังคงสามารถใช้งานได้บนพื้นผิวโลหะหรือผิวน้ำ โดยวิทยานิพนธ์นี้จะทำการออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งทำงานที่ความถี่ 920-925 MHz เพื่อให้สามารถใช้งานบนวัสดุที่เป็นโลหะได้ดี โดยทำการศึกษาช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ และพารามิเตอร์ทั้งหมดซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแท็กตามที่ต้องการ สุดท้ายจึงได้แท็กที่มีอัตราขยายที่สูงขึ้น และสามารถใช้งานบนพื้นผิวโลหะหรือผิวน้ำได้ดีกว่าแท็กทั่วไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างและออกแบบแท็กด้วยสายอากาศไดโพลที่ความถี่ 920-925 MHz

1.2.2 เพื่อศึกษาโครงสร้างและออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าให้เหมาะสมสำหรับแท็กแบบไดโพลที่ความถี่ 920-925MHz

1.2.3 เพื่อสร้างแท็กโดยมีช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าป้องกันทางด้านหลังและวัดทดสอบผล

### 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

เมื่อนำช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าป้องกันทางด้านหลังแท็กแบบไดโพลจะทำให้สามารถใช้งานแท็กบนพื้นผิวโลหะได้ดีมากขึ้น

### 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ออกแบบแท็กด้วยไดโพลสำหรับนำมาใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 920-925 MHz และจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.4.2 สร้างแท็กแบบไดโพลที่ความถี่ 920-925 MHz และวัดทดสอบผล

1.4.3 สร้างแท็กด้วยไดโพลสำหรับนำมาใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 920-925 MHz และวัดทดสอบผล

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 จำลองแบบแท็กแบบไดโพลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ที่ความถี่ 920-925 MHz

1.5.2 จำลองแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ที่ความถี่ 920-925 MHz

1.5.3 ออกแบบแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

1.5.4 สร้างแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 920-925 MHz เพื่อเปรียบเทียบผลวัดทดสอบ

### 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1.6.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

- 1) สืบค้นปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) วิเคราะห์และออกแบบแท็กแบบไดโพลที่ความถี่ 920-925 MHz ให้เหมาะสมกับไอซีชิปที่นำมาใช้งาน
- 3) วิเคราะห์และออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้กับแท็กแบบไดโพลที่ความถี่ 920-925 MHz
- 4) จำลองแบบแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

5) วิเคราะห์และออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้กับแท็กแบบไดโพลที่ทำการปรับค่าให้ใช้งานกับไอซีชิปแล้ว

6) สร้างแท็กแบบไดโพลที่เหมาะสมกับไอซีชิปบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

7) วัดระยะการอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดี

#### 1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

1) การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2) ออกแบบและวิเคราะห์แท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

3) สร้างแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

#### 1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

#### 1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) โปรแกรม CST Microwave Studio 2009

2) โปรแกรมแมทแลบ(Matlab)

3) เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (Reader)

4) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

#### 1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เก็บผลการทดสอบแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

2) วัดระยะการอ่านข้อมูล

#### 1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ระยะการอ่าน

2) วิเคราะห์เฟสการสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

3) วัดทดสอบและวิเคราะห์ผลของการอ่านข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้แท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานบนพื้นผิวโลหะ โดยมีโครงสร้างง่าย น้ำหนักเบา

1.7.2 ได้แท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอัตราขยายสูงขึ้น

## 1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตงานวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตงานวิจัย วิธีดำเนินงานวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศไดโพล ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าและอาร์เอฟไอดีแท็ก

บทที่ 3 ทฤษฎีส่วนประกอบของสายอากาศ ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์และการออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และการจำลองผลใน โปรแกรม CST Microwave Studio

บทที่ 5 กล่าวถึงการสร้างสายอากาศต้นแบบ และผลการวัด

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผล ข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไข และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของสายอากาศและอาร์เอฟไอดีแท็ก ได้แก่ สายอากาศไดโพล ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงสายอากาศแท็กไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะของสายอากาศ ข้อดีและข้อเสียที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะนำมาใช้ปรับปรุงให้สอดคล้องกับอาร์เอฟไอดีแท็ก เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และออกแบบอาร์เอฟไอดีแท็ก ต่อไป

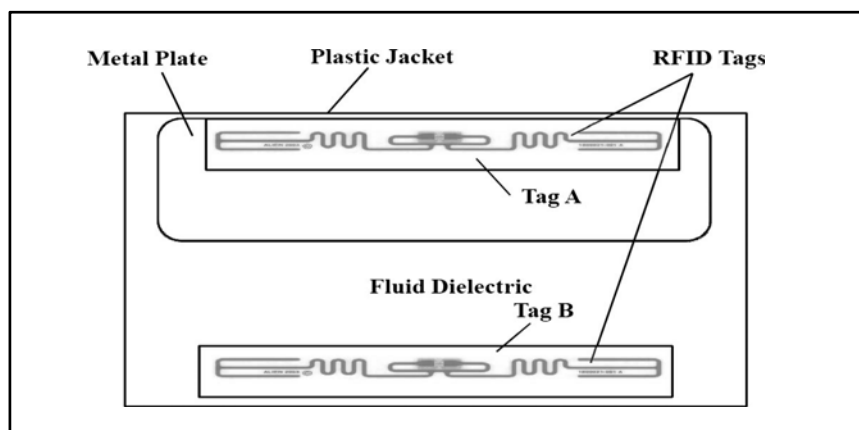
#### 2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification) ได้เข้ามามีบทบาทต่อการบริหารจัดการธุรกิจรูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นที่น่าจับตามองอย่างมาก เพราะประโยชน์ของเทคโนโลยีนี้ จะทำให้การดำเนินธุรกิจ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นหลายองค์กรได้นำเอาเทคโนโลยีนี้มาพัฒนาร่วมกับการใช้งานภายในองค์กรในรูปแบบต่างๆแล้ว เช่นระบบคลังสินค้าร้านค้าปลีกสายการผลิตในโรงงาน และโลจิสติกส์เพื่อการควบคุมหรือการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าทางเรือเป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แสดงตัวตนของมนุษย์สัตว์สินค้าและวัตถุดิบในกระบวนการผลิตหรือขนส่ง โดยทั่วไปเทคโนโลยีบ่งชี้อัตโนมัตินี้แบบต่างๆ ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้การนับหรือจดบันทึกด้วยมนุษย์ ซึ่งอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย

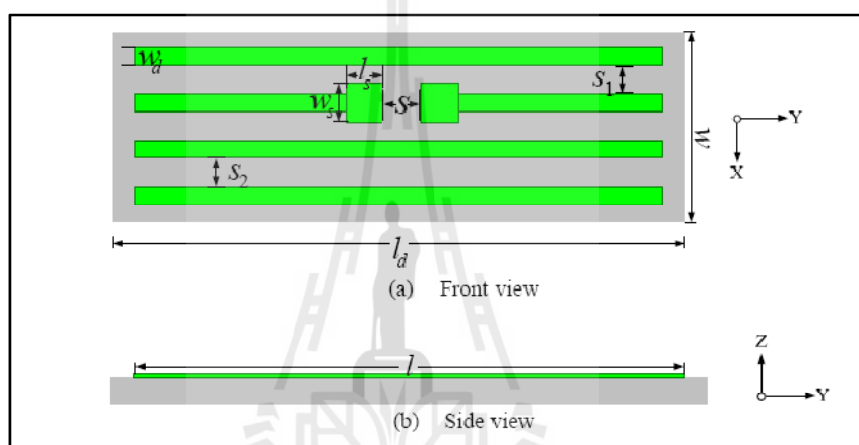
#### 2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 2.2.1 สายอากาศและอาร์เอฟไอดีแท็ก

เทคโนโลยี อาร์เอฟไอดีมักนิยมออกแบบแท็กด้วยสายอากาศไดโพล (Rahul, et al., 2010) สายอากาศไดโพลร่วมกับเส้นพาราซิติก (Wongsiritom, et al., 2009) ซึ่งมีข้อดีคือออกแบบง่าย ราคาถูกแต่จะมีอัตราขยายที่ต่ำดังแสดงในรูปที่ 2.1 เนื่องจากโครงสร้างไม่ซับซ้อนแข็งแรงสามารถนำมาดัดแปลงได้ง่าย อีกทั้งยังมีราคาถูกอีกด้วย



(ก) สายอากาศไดโพลแท่ง

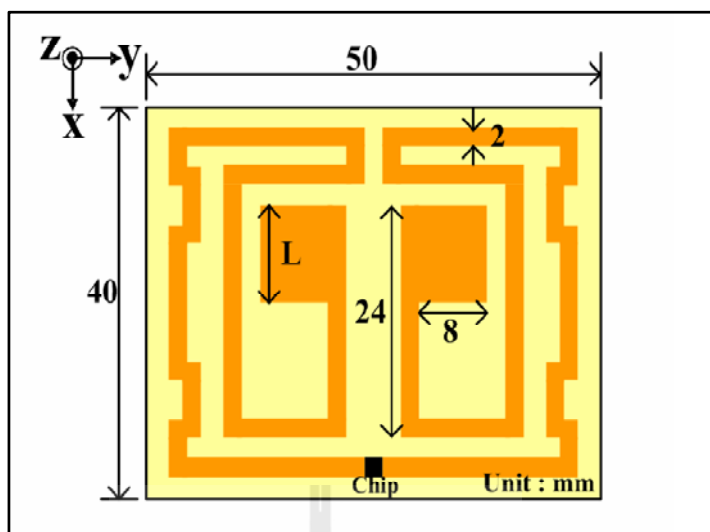


(ข) สายอากาศไดโพลร่วมกับเส้นพาราซิติค

รูปที่ 2.1 สายอากาศอาร์เอฟไอดีแท็กแบบต่างๆ

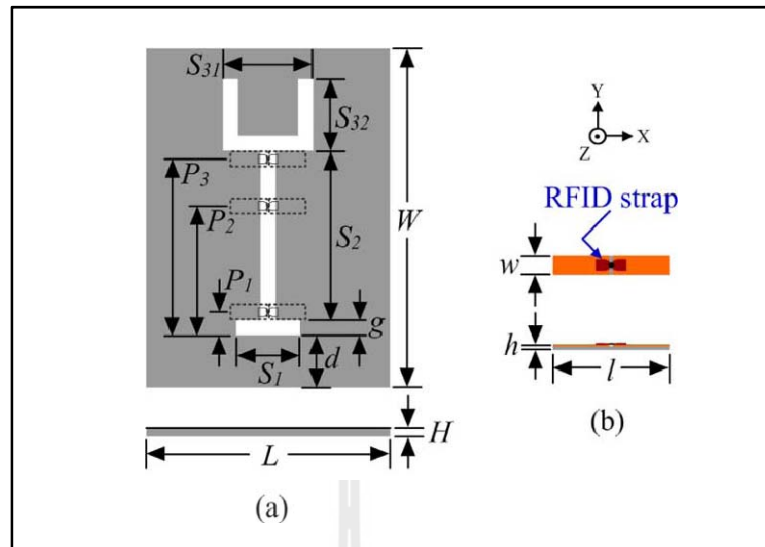
ในปัจจุบันสายอากาศไดโพลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีอย่างแพร่หลายได้แก่ เทคนิคการปรับปรุงรูปร่างของสายอากาศไดโพลเส้นตรงและทำการแมตช์กับไอซีชิปเพื่อใช้สำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก เช่นการหักงอสายอากาศไดโพลให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมและทำการแมตช์กับไอซีชิป (Band, et al., 2007) ดังรูปที่ 2.2



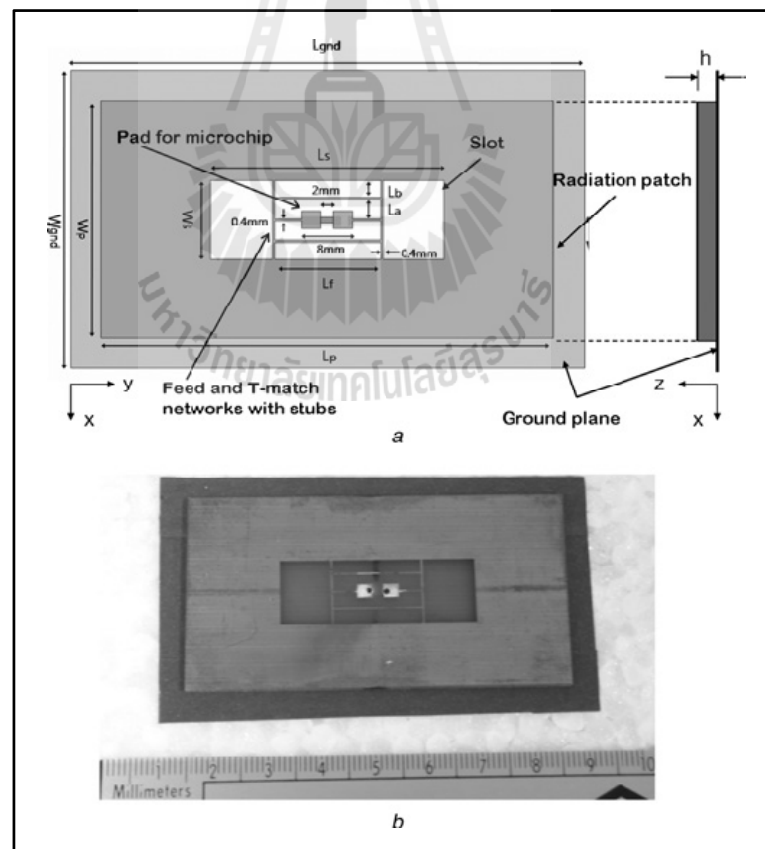


รูปที่ 2.2 การหักงอสายอากาศไดโพลให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม

ซึ่งมีข้อดีคือ ขนาดของตัวแท่งมีขนาดเล็ก แต่อาจมีการออกแบบที่ยุ่งยาก แท่งแบบต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำไปใช้งานบนวัสดุโลหะ หรือฉนวนน้ำจะทำให้ใช้งานไม่ได้ หรือระยะในการอ่านแท่งจะลดลง ต่อมาเราจึงทำการศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับ เทคนิคการออกแบบสายอากาศเพื่อให้สามารถทำงานบนวัสดุโลหะและฉนวนน้ำได้ เช่น การออกแบบ สายอากาศแบบสล็อตรูปตัว Y (Lin, 2010) แต่สายอากาศดังกล่าวจะให้อัตราขยายต่ำดังแสดงใน รูปที่ 2.3 เทคนิคต่อไปจะเป็นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับใช้งานบนวัสดุโลหะ (Cho, et al., 2009) ซึ่งเป็นการนำสายอากาศไมโครสตริปมาทำการแมตซ์กับไอซีชิป เพื่อให้สามารถ นำมาใช้งานบนวัสดุโลหะได้ แต่จะมีข้อเสียตรงที่เมื่อนำสายอากาศไมโครสตริปไปใช้งาน จำเป็นต้องวางไว้บน โฟมที่มีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถใช้งานบนวัสดุโลหะได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

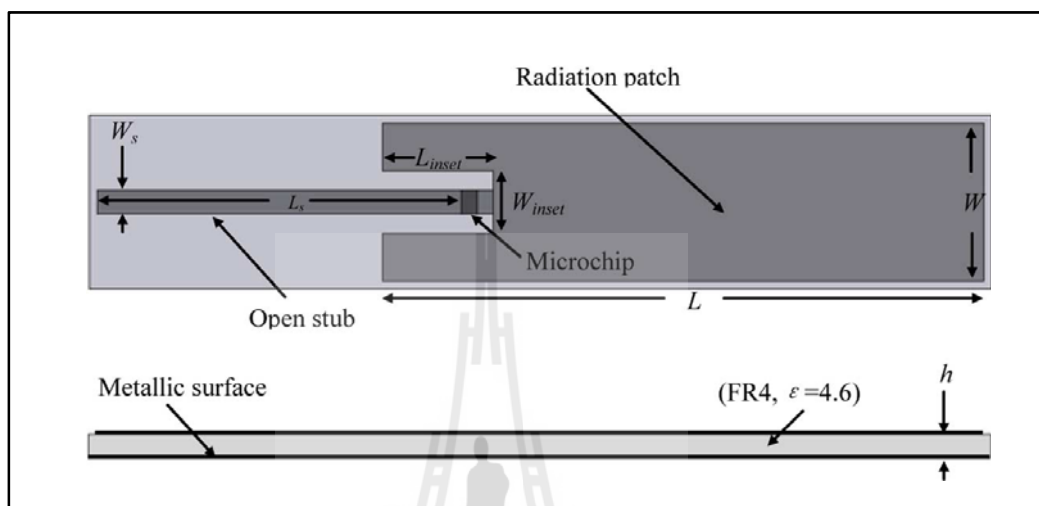


รูปที่ 2.3 สายอากาศแบบสล็อตรูปตัว Y



รูปที่ 2.4 สายอากาศไมโครสตริป

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่น ๆ เช่น การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นเรียบ (planar) ร่วมกับสตัดแบบเปิด (Open stub) (Lingfei and Chunfang, 2010) แต่ขั้นตอนในการออกแบบจะค่อนข้างยุ่งยากดังแสดงในรูปที่ 2.5

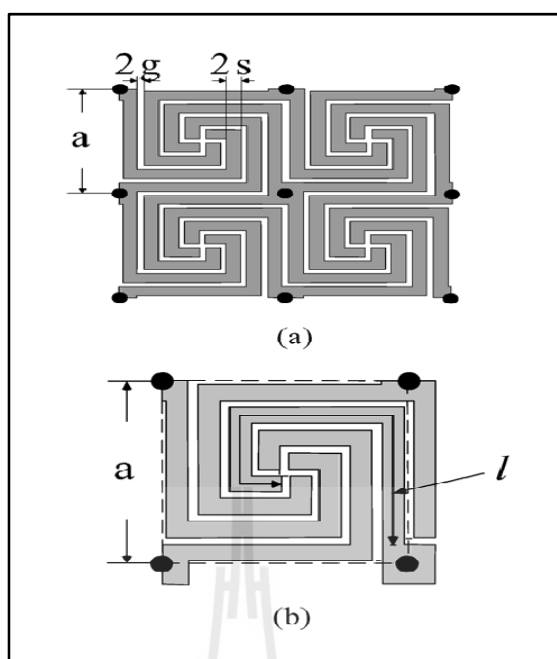


รูปที่ 2.5 สายอากาศแบบแผ่นเรียบ (planar)

จากงานปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟ ไอดีมีกนิยมนอกแบบแท็กด้วยสายอากาศไดโพล ซึ่งสามารถออกแบบได้ง่ายและมีราคาถูก

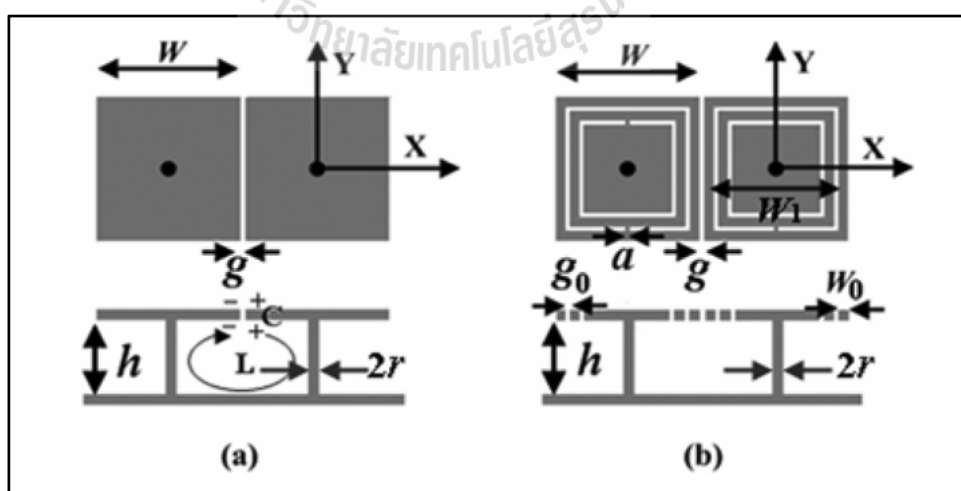
### 2.2.2 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวงจรกรองความถี่ เกรตติ้ง พื้นผิวเลือกความถี่ ผลึกพลังแสง และช่องแถบพลังงานแสงเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเรียกว่าโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำหน้าที่เป็นตัวกีดขวางหรือเสริมรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเฉพาะแถบของความถี่ และเนื่องด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ส่งผลให้ความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศมีมากขึ้นตามไปด้วย จากสายอากาศธรรมดาหนึ่งต้นก็สามารถพัฒนาให้มีอัตราขยายที่สูงด้วยการเพิ่มตัวสะท้อนที่ด้านหลังของสายอากาศ จากเดิมนิยมใช้แผ่นโลหะตัวนำแต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องของคลื่นผิว (surface wave) ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากโดยช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีรูปแบบต่าง ๆ เช่น แบบก้น หอย (Spiral Electromagnetic Band-Gap) ซึ่งจะมีลักษณะหมุนวนคล้ายกับก้นหอย (Qiu, et al., 2008) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



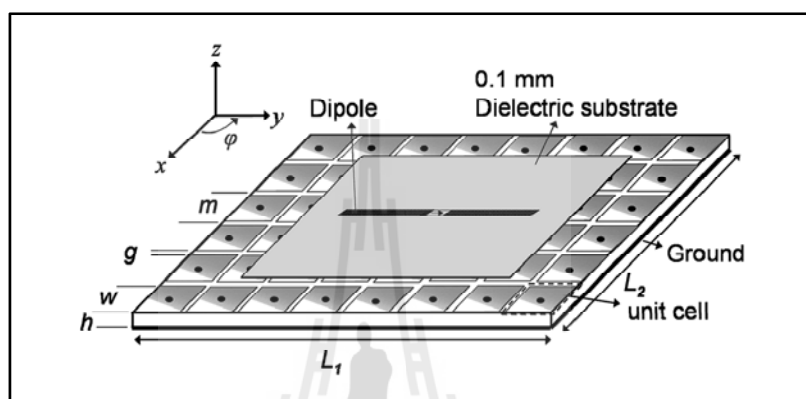
รูปที่ 2.6 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบก้นหอย

อีกรูปแบบหนึ่งคือช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (mushroom-type EBG) (Lin, et al., 2010) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนี้จะมีขนาดคล้ายดอกเห็ดและสามารถเพิ่มอัตราขยายให้สายอากาศได้ และมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน



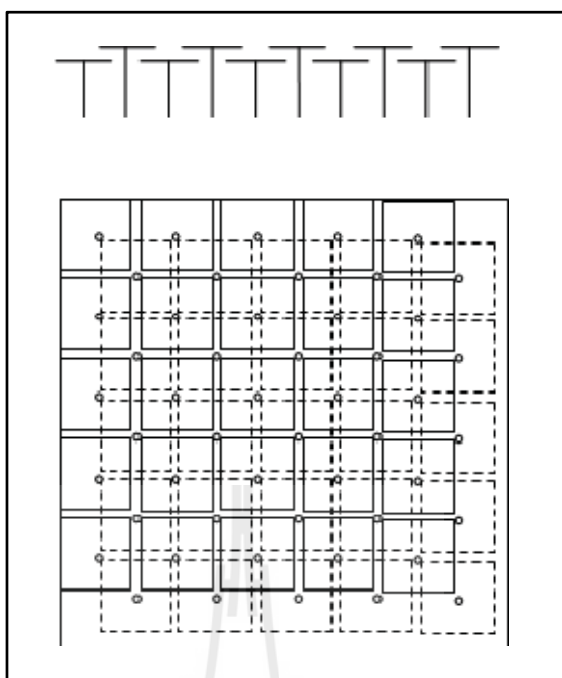
รูปที่ 2.7 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด

ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามักถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นตัวสะท้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศครึ่งปริศน์วงจรที่ จะกล่าวถึงคือจั่ววงสายอากาศไดโพลชนิดเส้นตรงบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Mohammed, et al., 2008) ซึ่งเป็นการนำช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด มาใช้งานร่วมกับสายอากาศแบบไดโพล ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ผลที่ได้คือสายอากาศไดโพลมีอัตราขยายที่สูงขึ้น



รูปที่ 2.8 สายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า





(ก) ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบสองชั้น



(ข) สายอากาศบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

รูปที่ 2.9 แท็กแบบไดโพลพับร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

เทคนิคต่อไปจะเป็นการวางแท็กแบบไดโพลพับ (Folded dipole antenna) บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Gao, et al., 2011) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เทคนิคนี้สามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้ดีแต่จะต้องมีโพรงระหว่างสายอากาศและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีความซับซ้อนเนื่องจากออกแบบให้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีสองชั้น

จากปริทัศน์วรรณกรรมที่กล่าวมาจึงวิเคราะห์ได้ว่าช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้ด้วยการระงับคลื่นผิวที่เกิดบนแผ่นสะท้อน โดยมีพลังงานที่รั่วไหลตรงบริเวณช่องว่างระหว่างแผ่นโลหะช่วยเสริมให้ตัวกำเนิดสัญญาณมีพลังงานเพิ่มสูงขึ้น

### 2.3 สรุป

ตามเนื้อหาที่กล่าวมาในบทนี้จะเห็นว่า สายอากาศไดโพลยังคงเป็นที่นิยมนำมาดัดแปลงโครงสร้างเพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำมาเพิ่มอัตราขยายด้วย ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าได้ เนื่องจากช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถระงับคลื่นผิวที่เกิดบนแผ่นสะท้อนจึงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทำการออกแบบสายอากาศแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอาร์เอฟไอดีแท็กดังกล่าวต่อไปในบทที่ 4



## บทที่ 3

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณ หรือท่อนำคลื่น ให้แพร่กระจายออกสู่อากาศที่สายอากาศวางอยู่ และในทางกลับกันจะทำหน้าที่รับคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางให้เข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณได้ การศึกษารูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศจึงมีความสำคัญในบทนี้กล่าวถึง คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งเป็นหลักการของระบบซึ่งเฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) นอกจากนี้ยังกล่าวถึงทฤษฎีสายอากาศไดโพล และทฤษฎีช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าอีกด้วย

#### 3.1 คุณลักษณะของระบบอาร์เอฟไอดี

##### 3.1.1 ระบบอาร์เอฟไอดี(Radio Frequency Identification: RFID)

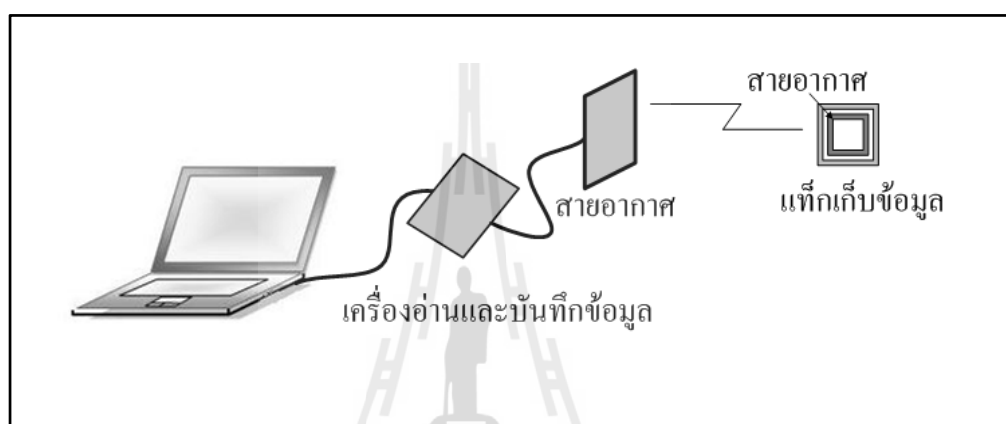
RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification system: RFID เป็นระบบซึ่งเฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ 1980 โดยที่อุปกรณ์อาร์เอฟไอดีที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือตรวจจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน

อาร์เอฟไอดีในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุ เพื่อตรวจติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้ายซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใด ๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุหนึ่งชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้น ๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้น ๆ ก่อนทำงาน โดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียน

โดยจุดเด่นของระบบ RFID อยู่ที่การอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลาย ๆ แท็กแบบไร้สัมผัส (contactless) และสามารถที่จะอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงแสงสะท้อน การกระทบกระแทก และสามารถอ่านค่าได้ด้วยความเร็วสูงโดยข้อมูลจะ



ถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก ในปัจจุบันได้มีการนำอาร์เอฟไอดีไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้ในระบบบาร์โค้ดแบบเดิม เช่น ใช้ในบัตรชนิดต่าง ๆ บางครั้งอาจพบอยู่ในรูปของแท็กสินค้าซึ่งมีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรืออาจจะเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังอยู่ในตัวสัตว์ เพื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เป็นต้น องค์ประกอบพื้นฐานของระบบอาร์เอฟไอดีประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ แท็ก และ ตัวอ่านและบันทึกข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบในระบบ RFID

#### 1) ป้ายชื่อหรือแท็กเก็บข้อมูล (RFID Tag)

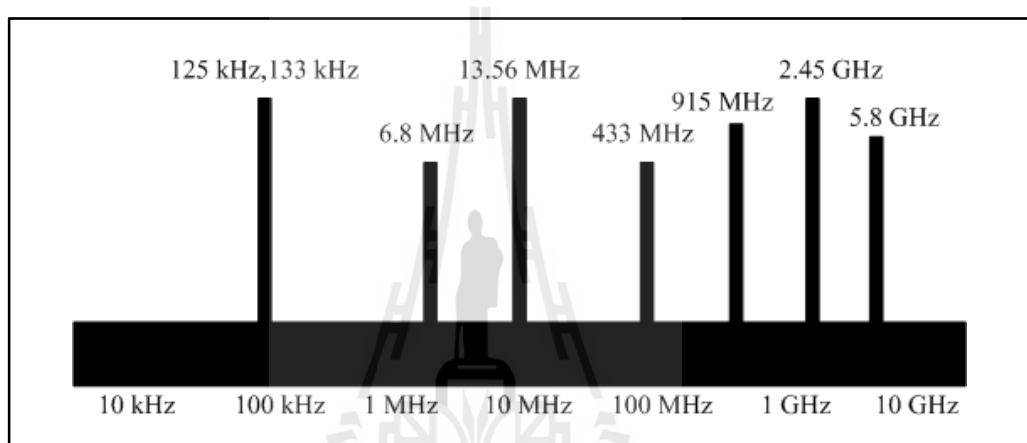
แท็ก (Tag) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) หมายถึงแท็กจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โดยแท็กจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือไมโครชิปและสายอากาศ

#### 2) เครื่องอ่านและบันทึกข้อมูล (Reader)

หน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อหรือเขียนข้อมูลลงในแท็ก ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุนอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดียังมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อย ๆ ไม่สิ้นสุด โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้ ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ ภาครับสัญญาณพาหะ วงจรจูนสัญญาณ หน่วยประมวลผลข้อมูลภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

### 3.1.2 ความถี่ในระบบ RFID

ในปัจจุบันความถี่ที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารโดยทั่วไป โดยมี 3 ย่านความถี่ใช้งาน คือ ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LH) ต่ำกว่า 150 KHz ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF) 13.56 MHz และย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) 433/868/915 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงย่านความถี่ที่ RFID ถูกใช้งาน

ในแง่การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ ๆ (LH ระยะอ่านประมาณ 10-20 ซม. และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่งจะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่นระบบเก็บค่าบริการทาง

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนอาร์เอฟไอดีที่ใช้คลื่นความถี่ในอีกสองย่านความถี่จะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมี 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา

(Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศ ตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ ความถี่ต่าง ๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละ ประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่าง ๆ รวมถึงกำลัง ส่งของระบบ RFID ด้วย

ตารางที่ 3.1 ย่านความถี่ต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดีและการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 125 kHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ -ต้นทุนไม่สูง -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access Control -ปลุสตัดว์ -ระบบคงคลัง -รถยนต์
ย่านความถี่สูง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 13.56 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง -ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต -ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access Control -สมาร์ทการ์ด
ย่านความถี่สูงยิ่ง 850-950 MHz แสดงดังตารางที่ 2.1 และย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 2.45 GHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง -ราคาแพง	-รถไฟ -ระบบเก็บค่าผ่านทาง

สำหรับคลื่นย่าน UHF นั้นปัจจุบันมีข้อกำหนดในหลาย ๆ ประเทศให้มีการใช้กัน สำหรับมาตรฐาน EPC global Gen 2 standard ทั้งนี้ในแต่ละ region ก็จะมีรายละเอียดการใช้งานความถี่ ในย่าน UHF นี้แตกต่างกันไป การสื่อสารข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีคือระหว่างแท็กและตัวอ่าน ข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (modulation) กับคลื่น พายัพที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่น

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานย่านความถี่ UHF ของแต่ละประเทศ

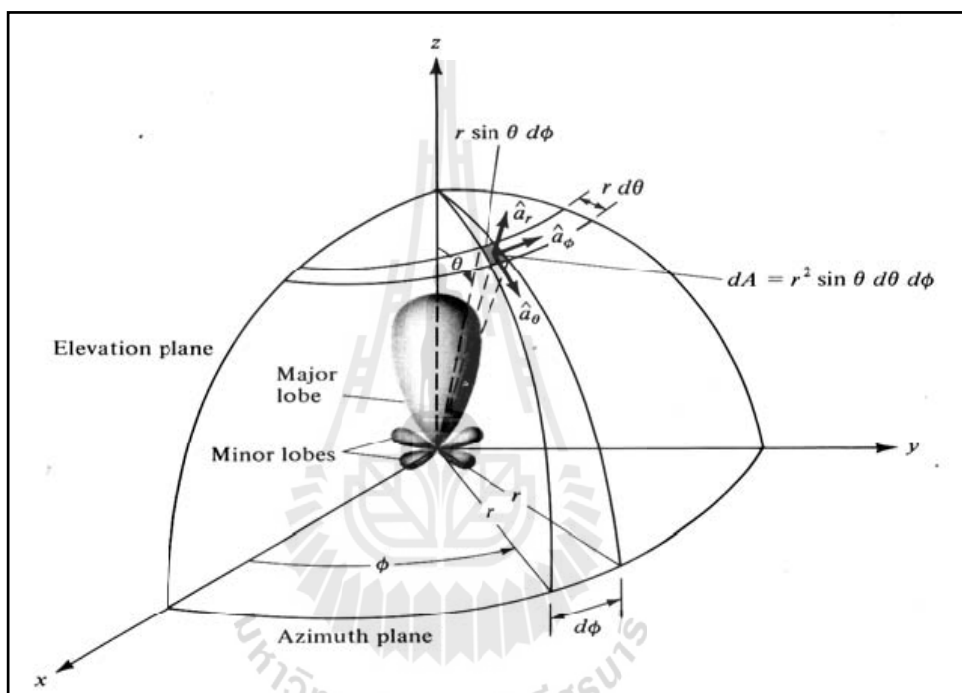
ประเทศ	ความถี่
US and Canada	902 ~ 928 MHz
Mexico	915 MHz
South America	915 MHz
Europe	865 ~ 868 MHz
Northern Africa	862 ~ 870 MHz
South Africa	915 MHz
Middle East	862 ~ 870 MHz
China	917 ~ 922 MHz
Japan	952 ~ 954 MHz
Pacific Rim	ขึ้นกับแต่ละประเทศ – 866 ~ 925 MHz
Australia	915MHz
New Zealand	862 ~ 928 MHz
Thailand	920-925 MHz

### 3.1.3 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation pattern)

สำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่งที่ติดตั้งจะต้องเป็นสายอากาศที่ทำให้สายอากาศภาครับสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุดนั่นคือไม่ว่าสายอากาศภาครับจะอยู่ทางทิศใดของสายอากาศภาคส่ง และมีการ โพลาริซเป็นแบบใดก็ควรที่จะสามารถรับคลื่นจากตัวส่งสัญญาณได้ โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณของเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลในย่าน 920-925 MHz จะต้องมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (radiation pattern) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการหรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการ ได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา และมีโครงสร้างของสายอากาศที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปสามารถประกอบได้ง่ายมีน้ำหนักเบารองรับกำลังงานที่สูงได้และมีอัตราขยายในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศได้มากขึ้น

แบบรูปการแผ่พลังงานหรือแบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศเป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปของกราฟฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (space coordinates) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (far-field region) เท่านั้นและจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (directivity coordinates) เสมอซึ่งคุณสมบัติการแผ่กำลังงานนี้สามารถ

ที่จะพิจารณารวมถึงความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (power flux density) ความเข้มการแผ่กำลังงาน (radiation intensity) ความแรงของสนาม (field strength) เฟสของสภาพเจาะจงทิศทาง (directivity phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (polarization) ได้ซึ่งคุณสมบัติของการแผ่กำลังงานสามารถที่จะแสดงในรูปของการกระจายพลังงานในแต่ละตำแหน่งและทิศทางที่เป็นแบบสองมิติและแบบสามมิติซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวของทรงกลมที่มีรัศมีคงที่ ดังแสดงในรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ

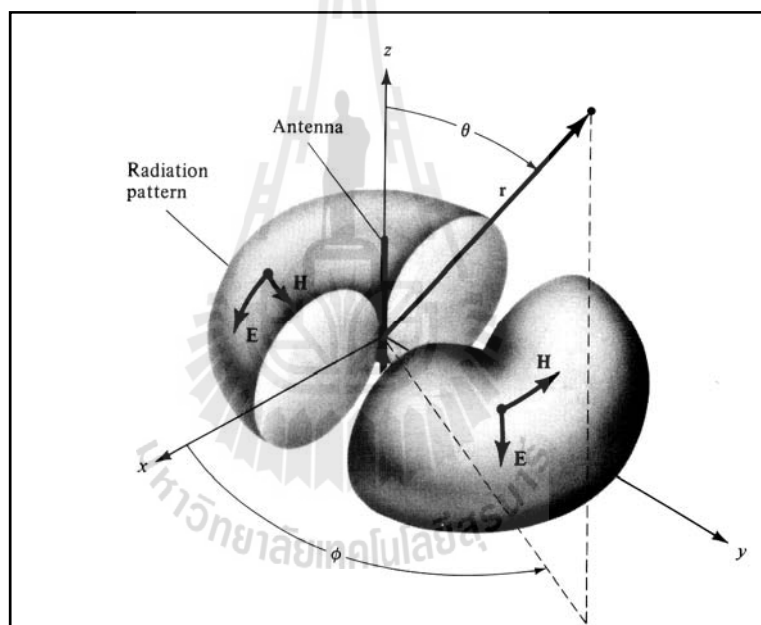
เส้นการกวาดของกำลังงานที่รับได้ที่ตำแหน่งรัศมีคงที่จะถูกเรียกว่าแบบรูปกำลังงาน (field pattern) และอีกวิธีหนึ่งถ้าเป็นแบบรูปที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กตามฟังก์ชันของตำแหน่งเราจะเรียกว่าแบบรูปแอมพลิจูดของสนาม (amplitude field pattern)

แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศสามารถอธิบายได้ 3 แบบดังนี้

1) แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบไอโซทรอปิก (isotropic radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นว่าไม่มีการสูญเสียภายในตัวเองและมีการแผ่พลังงานออกมาเท่ากันทุกทิศทาง

2) แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแบบมีทิศทาง (directional pattern) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานหรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่น ๆ ซึ่งมักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (maximum directivity) มากกว่าจะใช้กับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (half wave dipole)

3) แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (omnidirectional pattern) คือสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือมุมกวาด (azimuth) และระนาบที่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่กำลังงานเป็นแบบมีทิศทางในกรณีนี้คือมุมเงยดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบสายอากาศแผ่นไดโพลวางบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีมีแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทางเพราะสายอากาศที่ใช้สำหรับระบบอาร์เอฟไอดี จะต้อง มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (radiation pattern) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการหรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา และเป็นแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทางเหมาะสมสำหรับแท็กที่ใช้งานบนวัสดุโลหะ

### 3.1.4 อัตราขยาย (Gain)

ก. อัตราขยายจริง (absolute gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ต่อความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้รับเข้ามา

ข. อัตราขยายสัมพัทธ์ (relative gain) หมายถึงอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบก็คือสายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มี การสูญเสีย (lossless isotropic source) และสายอากาศแบบไดโพล

การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกันวิธีที่ง่ายที่สุดก็คือวิธีที่เรียกว่าวิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (reference antenna method) หรือวิธีการเปรียบเทียบ (comparison method) หรือวิธีการแทนที่ (substitution method) ซึ่งสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง ( $P_{ref}$ ) กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ ( $P_{test}$ ) ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{ref}} \times G_{ref} \quad (3.1)$$

เมื่อต้องการคำตอบให้มีหน่วยเป็น dB ก็จะได้จากสมการ

$$G_{test} (dB) = P_{test} (dB) - P_{ref} (dB) + G_{ref} (dB) \quad (3.2)$$

ก่อนที่จะนำวิธีการแทนที่มาใช้ เราจะต้องเปรียบเทียบเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศ ที่ใช้ในการอ้างอิงเสียก่อน โดยการใช้สายอากาศสองตัวที่เหมือนกันทุกประการมาเป็นสายอากาศรับและส่ง จากนั้นวัดค่ากำลังงานที่ส่งออกไปและค่าของกำลังงานที่รับได้นำมาคำนวณหาค่าอัตราขยาย ซึ่งเป็นอัตราขยายของสายอากาศอ้างอิงดังสมการ

$$G = \frac{4\pi R}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{ref}}{P_o}} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $G$  คือค่าอัตราขยายของสายอากาศที่จะใช้เป็นตัวอ้างอิง  
 $R$  คือระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง  
 $P_{rec}$  และ  $P_o$  คือกำลังงานที่รับได้และกำลังงานที่ส่งออกไปตามลำดับ  
 $\lambda$  คือความยาวคลื่นในอากาศ (หน่วยเดียวกันกับระยะทาง)

### 3.15 ระยะการอ่าน

ระบบการส่งผ่านอากาศว่าง โดยทั่ว ๆ ไปประกอบด้วย สายอากาศภาคส่ง และสายอากาศภาครับ โดยพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาได้แก่ กำลังส่ง พารามิเตอร์ของสายอากาศ และระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ จากหลักของฟรีส (Friis Transmission)

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (3.4)$$

เมื่อเราต้องการทราบค่าระยะการอ่าน ( $R$ ) จะได้ดังสมการ

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_R}{P_T} \cdot G_R G_T} \quad (3.5)$$

โดยที่  $P_R$  คือ กำลังงานเครื่องรับ (Tag)

$P_T$  คือ กำลังงานของเครื่องอ่าน

$R$  คือ ระยะทางการอ่าน

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (wavelength)

$G_T$  คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (gain of the transmitting antenna)

$G_R$  คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (gain of the receiving antenna)

ในระบบอาร์เอฟไอดีจะวัดระยะการอ่านซึ่งขึ้นกับอัตราขยายของแท็ก การแมตช์ไดโพลกับชิป และประสิทธิภาพของแท็กและเครื่องอ่าน



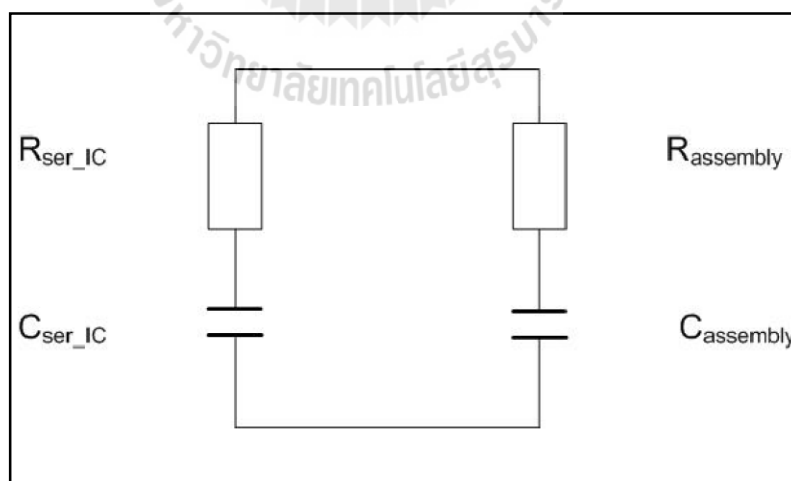
### 3.1.6 ความกว้างแถบ (Bandwidth)

ความกว้างแถบของสายอากาศถูกนิยามว่าย่านความถี่ที่ยังอยู่ในสภาวะที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้สภาวะดังกล่าวพิจารณาจากคุณสมบัติบางตัวของสายอากาศและให้ เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดความกว้างแถบจะพิจารณาจากช่วงของความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง (center frequency) ซึ่งสภาวะการทำงานของสายอากาศที่ยอมรับได้จะต้องสามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่นี้

กรณีที่เป็นสายอากาศแถบกว้าง (broadband antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดง ในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่นถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 10:1 แสดงว่าความถี่สูงสุดมีค่ามากกว่าความถี่ต่ำสุดอยู่ 10 เท่าและถ้าหากเป็นกรณีของสายอากาศแถบแคบ (narrowband antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ (ความถี่สูงสุดลบความถี่ต่ำสุด) เมื่อเทียบกับความถี่กลางของความกว้างแถบตัวอย่างเช่นถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้มีค่าเป็น 5% ของความถี่กลางของความกว้างแถบสำหรับงานวิจัยนี้จะออกแบบแท็กที่มีความถี่แคบใช้งานช่วง 920-925 MHz

### 3.1.7 การแมตช์ (Matching)

สำหรับการออกแบบ UHF RFID Tag จำเป็นต้องตรวจสอบค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างไอซีชิปและสายอากาศไดโพล ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลแบบอนุกรม

อิมพีแดนซ์ขาเข้าคือพารามิเตอร์ที่อธิบายถึงพฤติกรรมในส่วนของวงจรโดยปกติแล้วในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำคัญมากที่ทำการแมตซ์อิมพีแดนซ์ขาเข้า ( $Z_{antenna}$ ) ในส่วนของคุณสมบัติของอาร์เอฟไอดีโดยปกติแล้วอิมพีแดนซ์ของไอซีชิป ( $Z_{chip}$ ) ที่จะส่งกำลังงานสูงสุดจากแหล่งจ่ายไปยังสายอากาศจะต้องเป็นสังยุคของจำนวนเชิงซ้อนของไอซีชิป

$$Z_{antenna} = Z_{chip}^* \quad (3.6)$$

หรือ

$$R_{antenna} = R_{chip} \quad (3.7)$$

$$X_{antenna} = -X_{chip} \quad (3.8)$$

สำหรับการออกแบบสายอากาศที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำการแมตซ์ส่วนจริง และการสังยุคส่วนจินตภาพในส่วนของความต้านทานแหล่งกำเนิด หลักการนี้คำนึงถึงความต้านทานของไอซีชิปและความต้านทานรวมของแท็ก ถ้าเราสมมติว่าความต้านทานตัวประกอบสังยุคแมตซ์ระหว่างสายอากาศกับชิปสายอากาศได้รับกำลังงานสูงสุดดังสมการ

$$P_{antenna, max} = \frac{|V_{antenna}|^2}{4 R_{antenna}} \quad (3.9)$$

ซึ่ง  $V_{antenna}$  คือ แรงดันที่กำเนิดโดยแท็กที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$R_{antenna}$  คือ ความต้านทานของแท็ก

การที่จะหาลำกำลังงานของแท็กที่จุดใด ๆ ได้ดังสมการ (3.10)

$$P_{tag} = A_{tag} \cdot S \quad (3.10)$$

$A_{tag}$  คือ พื้นที่รับได้ของสายอากาศตามสเปกของเครื่องอ่าน (Reader)

$S$  คือ ความหนาแน่นกำลังงาน

โดยที่

$$A_{tag} = \frac{\lambda_0^2}{4\pi} \cdot G_{tag} \quad (3.11)$$

$\lambda_0$  คือ ความยาวคลื่น  
 $G_{tag}$  คือ อัตราขยายของแท็ก

ดังนั้น

$$S = \frac{P_{reader} \cdot G_{reader}}{4\pi \cdot R^2} \quad (3.12)$$

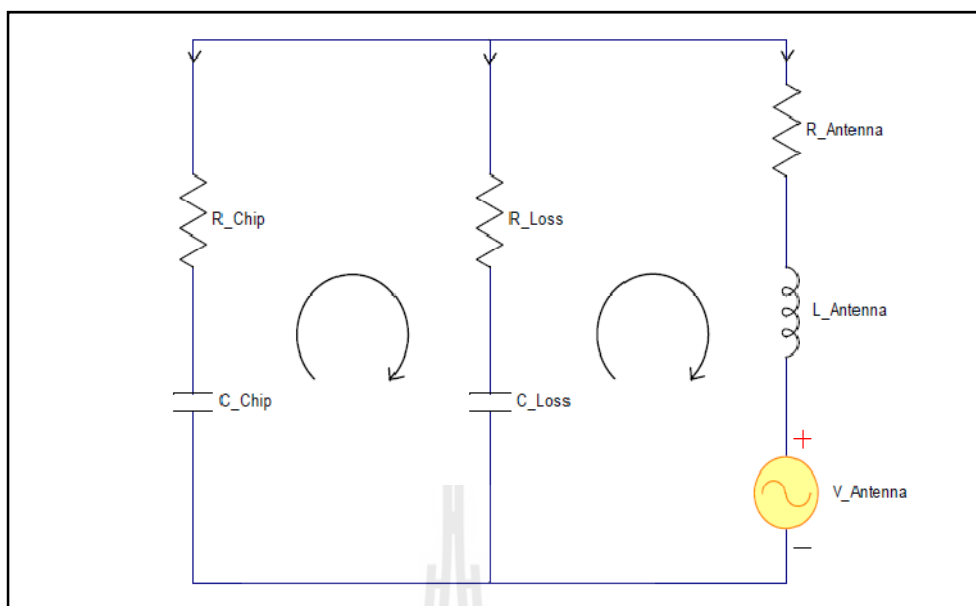
$P_{reader}$  คือ กำลังงานของเครื่องอ่าน  
 $G_{reader}$  คือ อัตราขยายสายอากาศของเครื่องอ่าน  
 $R$  คือ ระยะทางสูงสุดระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน

การหาลำดับงานรวมที่แท็กได้รับประกอบด้วยสามส่วนคือ

$$P_{Tot} = P_{chip} + P_{loss} + P_{antenna} \quad (3.13)$$

ประสิทธิภาพของไอซีชิปหาได้จาก

$$\eta_{Chip} = \frac{P_{chip}}{P_{Tot}} = \frac{P_{Chip}}{P_{Chip} + P_{Loss} + P_{antenna}} \quad (3.14)$$



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลไฟฟ้าของการส่งผ่าน

### 3.1.8 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient)

การเกิดสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยเฉพาะในความถี่สูง ๆ อย่างเช่นความถี่ย่าน UHF การไม่แมตช์ ระหว่างแหล่งกำเนิดกับ โหลดถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $\Gamma$ ) พื้นฐานของทฤษฎีสายนำสัญญาณสัมประสิทธิ์การสะท้อนกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่างคลื่นสะท้อนกับคลื่นตกกระทบ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นตัวที่จะใช้วัดคุณภาพการแมตช์ระหว่างแหล่งกำเนิดกับความต้านทานของโหลดตั้งสมการ

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (3.15)$$

$Z$  คือ ความต้านทานที่ได้จากการวัด

$Z_0$  คือ normalizing impedance

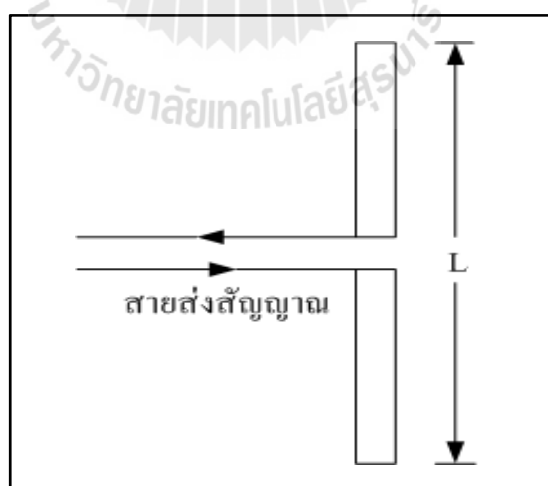
โดยส่วนมากส่วนจินตภาพของ  $Z_0$  มักจะมีค่าเป็นศูนย์ และส่วนจริงจะถูกกำหนดไว้

$$\Gamma = \frac{Z - R_0}{Z + R_0}$$

## 3.2 ทฤษฎีสายอากาศไดโพล

### 3.2.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ

สายอากาศไดโพล (dipole antenna) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุดมีส่วนประกอบเป็นเส้นลวดสองเส้นที่มีความยาว  $L$  วางเป็นแนวเส้นตรงดังรูปที่ 3.7 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่ง โดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศกระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพลและไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพลดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังขั้วแรกของไดโพลการแจกแจงรูปของกระแส (current distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลซึ่งมีค่าไม่เท่ากันโดยที่ปลายทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์แต่จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่น ๆ บนสายอากาศไดโพลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



รูปที่ 3.7 สายอากาศไดโพล

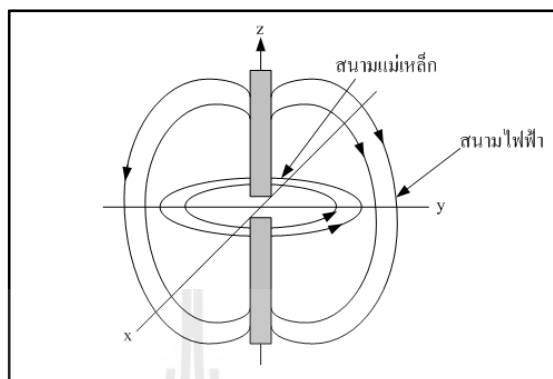
ไดโพลอุดมคติ (ideal dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่น ๆ สามารถพิจารณาให้เป็นส่วนประกอบเล็ก ๆ ของความยาวไดโพล (infinitesimal dipole) ที่มีการแจกแจงรูปของกระแสที่เท่ากันตลอดความยาวคุณลักษณะทางทฤษฎีของไดโพลอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็ก ๆ โดยแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานคือการแสดงรูปแบบของกำลังงานที่แผ่กระจายออกจากตัวสายอากาศเป็นรูปภาพ 3 มิติที่วัดได้ในบริเวณสนามระยะไกล (far field region) คุณสมบัติ การแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง (space coordinates) บริเวณของสนามระยะไกลคือ บริเวณที่ไกลเพียงพอสำหรับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับการวัดที่อยู่ที่ห่างจากสายอากาศ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศใด ๆ สามารถที่จะทราบได้ด้วยการวัดทดลองและถ้าเราทราบลักษณะการแจกแจงรูปของกระแสบนตัวสายอากาศ ก็จะสามารถคำนวณหาจากการคำนวณได้เช่นเดียวกับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ จะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (far-field region) โดยสามารถคำนวณจากสมการ

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.16)$$

เมื่อ  $R$  คือ ระยะของสนามระยะไกล  
 $D$  คือ ความยาวสูงสุดของสายอากาศ  
 $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของสายอากาศ

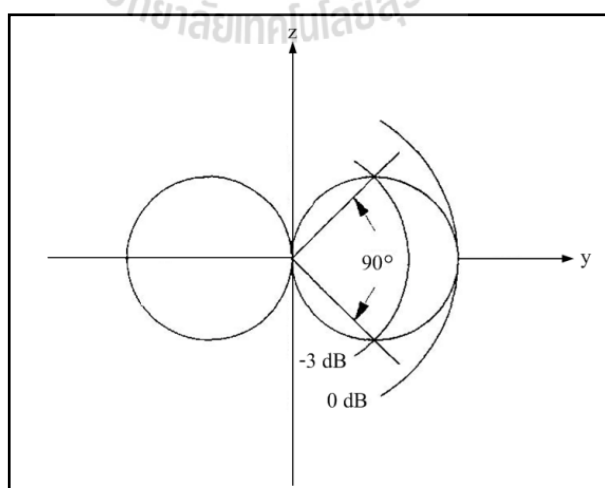
แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายพลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศซึ่งแสดงถึงระดับความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไป ซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแผ่กระจายกำลังงาน” กับแบบรูปที่ใช้กับสายอากาศส่งแต่ความจริงจะเป็นแบบรูปอันเดียวกันกับแบบรูป “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วยตามทฤษฎีภาวะย้อนกลับ (reciprocity theorem) ถึงแม้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่สมบูรณ์จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติ แต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติก็เพียงพอที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้ การวัดในแต่ละมิติจะวัดในแต่ละระนาบที่ตั้งฉากกัน คือระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้าและระนาบที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก โดยเรียกว่า E-plane และ H-plane ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.8 แบบรูปการแผ่กระจาย กำลังงานในระนาบหนึ่ง ๆ สามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้น ๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่กระจาย กำลังงานที่

ถูกต้องควรจะจัดสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบสายอากาศที่จะทำการวัดให้ปราศจากวัตถุใด ๆ ที่อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการวัดอยู่

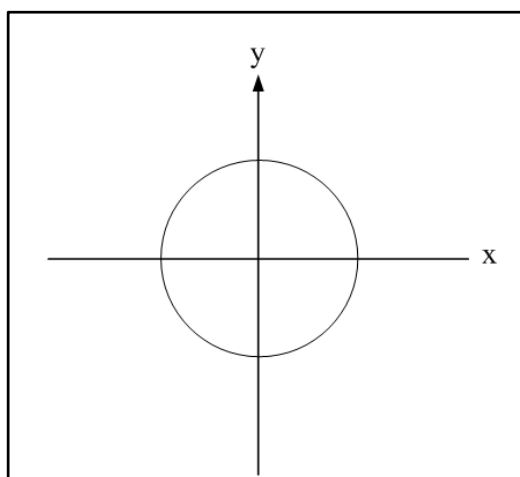


รูปที่ 3.8 ระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศไดโพล

รูปที่ 3.9 ได้แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนี้แสดงให้เห็นว่าไดโพลอุดมคตินั้นมีทิศทางด้วยเพราะว่าการแผ่กระจายกำลังงานจะมีความแรงของสัญญาณสูงในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางอื่น ๆ ส่วนแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในสนามแม่เหล็ก (H-plane) ได้แสดงไว้ ในรูปที่ 3.10 ซึ่งในแบบรูปนี้การแผ่กระจายกำลังงานจะเท่ากันทุกทิศทาง



รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ

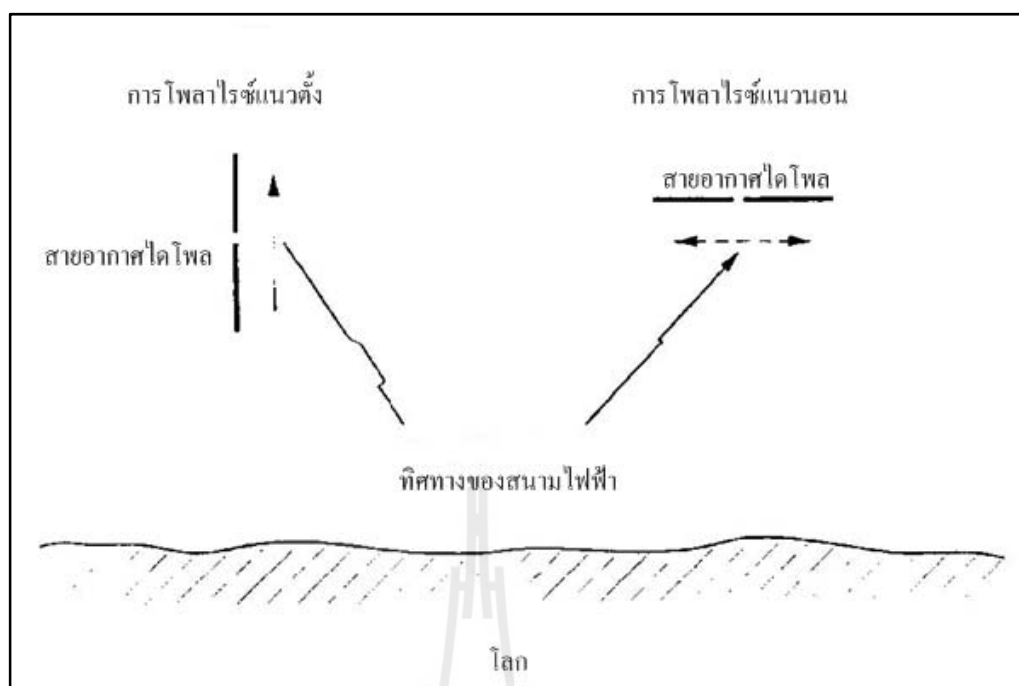


รูปที่ 3.10 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของไดโพลอุดมคติ

### 3.2.2 การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล (Dipole Antenna Polarization)

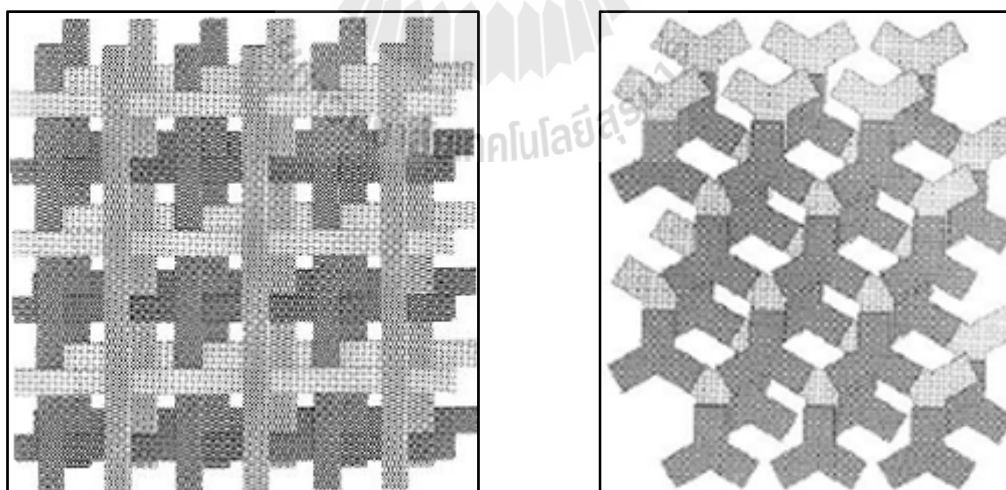
การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะใช้ในการอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกลสายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น (linear polarization) นั่นคือในหนึ่งรอบ (cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและยังถูกแบ่งออกเป็น การโพลาไรซ์แนวตั้ง (vertical polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (horizontal polarization) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (circular) และแบบรูปวงรี (Elliptical) บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศเอง เช่นในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวดซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน เช่นสายอากาศไดโพลและหากเราสามารถที่จะสมมุติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศแต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกันแต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการโพลาไรซ์ได้เช่นสายอากาศปากแตร (horn) แบบบ่วง (loop) และแบบร่อง (slit) เป็นต้นเพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเดียวกันกับการโพลาไรซ์ของสัญญาณที่ส่งมาหากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่นสัญญาณที่รับได้เป็นของการโพลาไรซ์ทางแนวตั้งแต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน) เรียกว่าเกิดการแยกการโพลาไรซ์แบบไขว้ (cross-polarization isolation)





รูปที่ 3.11 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

### 3.3 ทฤษฎีช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap: EBG)



(ก)

(ข)

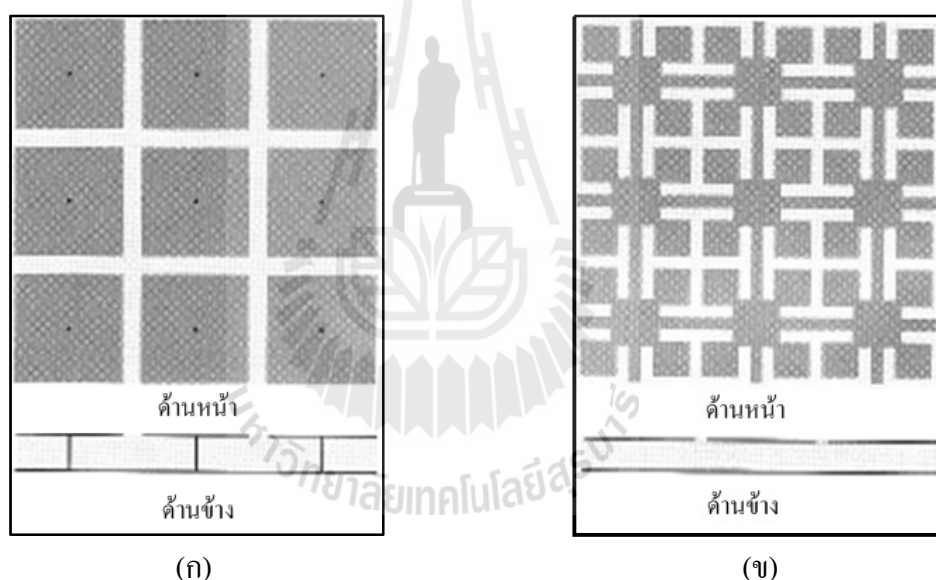
รูปที่ 3.12 โครงสร้างแบบ 3 มิติ (ก) โครงสร้างแบบที่นำไดอิเล็กตริกเป็นสี่เหลี่ยมวางทับกันเป็นชั้น  
(ข) โครงสร้างแบบรวมชั้นโลหะที่มีลักษณะสามง่ามวางเรียงลำดับกัน

ในปัจจุบัน โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งเป็นกลุ่มตามลักษณะเรขาคณิต ดังนี้

1) โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 3 มิติ มีลักษณะเป็นปริมาตร เช่น เป็นโครงสร้างแบบที่นำไดอิเล็กตริกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมวางทับกันเป็นชั้นและรวมชั้น โลหะที่มีลักษณะตามง่ามวางเรียงลำดับกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.12

2) โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 2 มิติ มีลักษณะเป็นพื้นผิวระนาบ เช่น โครงสร้างพื้นผิวแบบดอกเห็ด และ โครงสร้างพื้นผิวแบบระนาบเดียวดังแสดงในรูปที่ 3.13

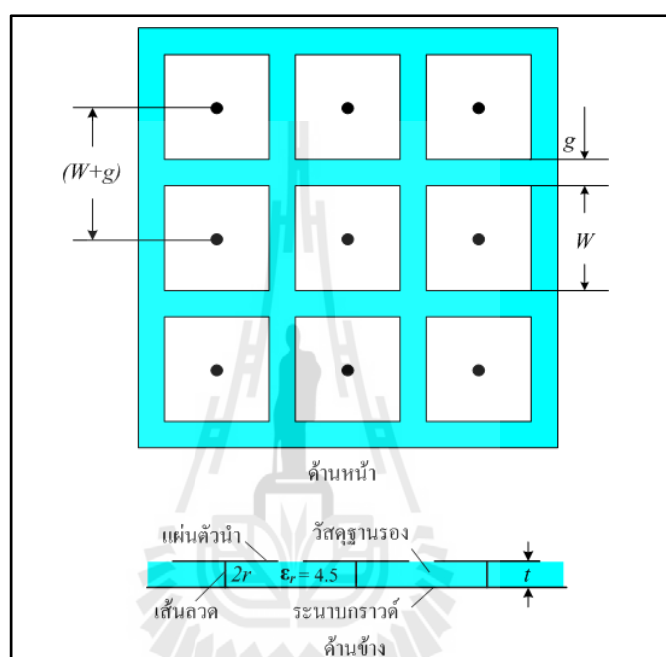
3) โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 1 มิติ มีลักษณะเป็นสายส่ง เช่น โครงสร้างแบบไมโครสตริปพร้อมกับหลุมที่วางเป็นคาบบนระนาบกราวด์ และสายส่งที่ประกอบไปด้วยทิศทางซ้ายและขวามือ



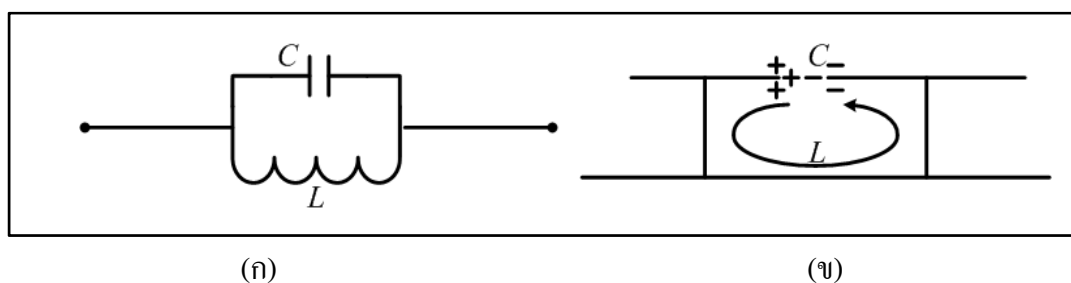
รูปที่ 3.13 โครงสร้างแบบ 2 มิติ (ก) โครงสร้างพื้นผิวแบบดอกเห็ด (ข) โครงสร้างพื้นผิวแบบระนาบเดียว

เพื่อง่ายต่อการสร้างและการนำไปใช้งาน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอโครงสร้างของช่องว่างความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าอย่างง่ายคือ โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 (Yang and Rahmat-Samii, 2009) โดยโครงสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วน ซึ่งประกอบด้วยส่วนบนจะเป็นแผ่นตัวนำ ส่วนที่สองเป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่คั่นกลางระหว่างระนาบกราวด์และแผ่นตัวนำ และส่วนที่สาม คือ ระนาบกราวด์ สำหรับแผ่นตัวนำจะมี

รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม และมีเส้นลวดขนาดเล็ก (vias) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมแนวตั้งระหว่างแผ่นโลหะ ด้านบนกับระนาบกราวด์ ซึ่งมีรูปทรงเรขาคณิตคล้ายเห็ด (mushroom like EBG) จากนั้นถูกนำมา ประกอบเป็นแถวลำดับ ที่ซึ่งหนึ่งหน่วยของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าคือ จากเส้นลวดหนึ่ง ไปยังอีกเส้นลวดหนึ่งซึ่งมีความยาวน้อยกว่าหนึ่งความยาวคลื่น สามารถเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของหนึ่งหน่วยของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (Mushroomlike EBG)



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.15 รูปแบบของค่าเหนี่ยวนำและค่าความจุของ โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

พารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคอกเค็ด

- $W$  คือ ความกว้างของแผ่นตัวนำ (patch width)  
 $g$  คือ ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (gap width)  
 $t$  คือ ความสูงของวัสดุฐานรอง (substrate thickness)  
 $\epsilon_r$  คือ ค่าคงที่สภาพยอมของไดอิเล็กตริก (dielectric constant)  
 $r$  คือ รัศมีของเส้นลวด (vias)  
 $(W+g)$  คือ หนึ่งหน่วยความกว้าง (width of unit cell)

สามารถอธิบายรูปแบบสี่กกลางของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าได้ด้วยวงจรสมมูลของวงจรที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำ ( $L$ ) และ ตัวเก็บประจุ ( $C$ ) ค่าตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นเป็นผลจากช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำด้านบน และค่าเหนี่ยวนำเกิดจากกระแสที่ไหลไปตามตัวนำที่อยู่ใกล้กันเป็นวงจร  $LC$  ต่อแบบขนานซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์ขนานหาได้จาก

$$Z = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC} \quad (3.17)$$

และค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรสามารถคำนวณได้จาก

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.18)$$

ค่าของตัวเก็บประจุสามารถพิสูจน์โดยใช้เทคนิคการคำนวณวงจรขนานระหว่างตัวเก็บประจุ และ ตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C = \frac{W\epsilon_0(1 + \epsilon_r)}{\pi} \cosh^{-1} \left( \frac{2W + g}{g} \right) \quad (3.19)$$

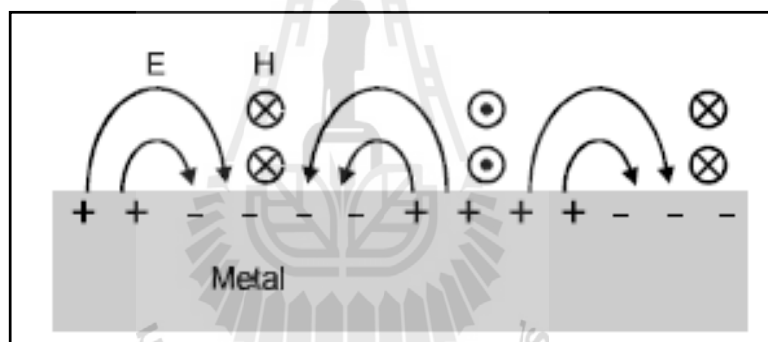
ค่าความเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากกระแสที่วิ่งผ่านเส้นลวดขนาดเล็ก (vias) และแผ่นตัวนำ

$$L = \mu_0 t \quad (3.20)$$

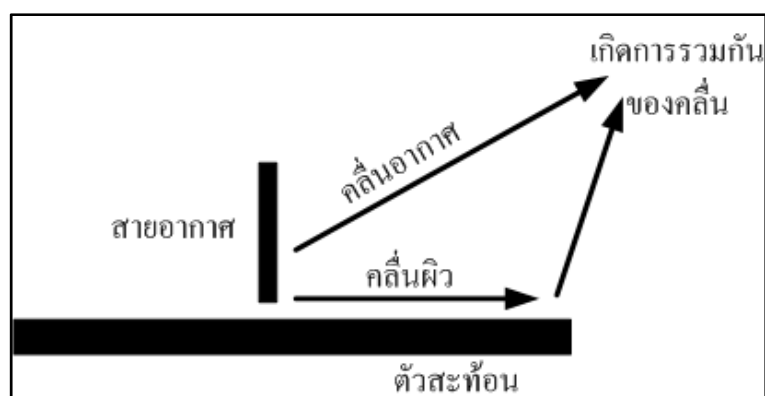
เมื่อ  $\mu_0$  คือ ความซบซึ่มได้ (permeability)  
 $\epsilon_0$  คือ สภาพยอม (permittivity)

### 3.4 การแผ่พลังงานของสายอากาศบนตัวสะท้อน

รูปที่ 3.16(ก) แสดงสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายบนพื้นผิวแผ่นโลหะในโหมด TM ซึ่งเกิดสนามแม่เหล็กมีทิศทางวนรอบตัวนำ ส่วนสนามไฟฟ้าวิ่งจากขั้วบวกไปยังขั้วลบที่บริเวณผิวของแผ่นโลหะ ถ้าวางสายอากาศด้านบนแผ่น โดยสายอากาศที่สามารถก่อดังอย่างได้ดีที่สุดคือสายอากาศโมโนโพล ซึ่งคลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศโมโนโพลบนตัวสะท้อนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือคลื่นที่แพร่กระจายสู่อากาศและคลื่นผิว โดยคลื่นทั้งสองชนิดนี้จะไปรวมกัน ณ จุด ๆ หนึ่งดังรูปที่ 3.16 (ข) ในที่นี้ถ้าคลื่นทั้ง 2 ชนิดมีเฟสตรงกันจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้



(ก) คลื่นผิวที่แพร่กระจายบนแผ่นโลหะในโหมด TM



(ข) การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลบนตัวสะท้อน

รูปที่ 3.16 คลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศบนแผ่นสะท้อน

### 3.5 การสะท้อนของเฟส (Reflection Phase)

อิมพีแดนซ์ระดับพื้นผิวกำหนดโดยเงื่อนไขขอบเขตที่พื้นผิวสำหรับคลื่นนิ่งประกอบด้วยคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนสำหรับพื้นผิวในระนาบXZ อิมพีแดนซ์ระดับพื้นผิวดูจากคลื่นที่กระทบพื้นผิวจากทิศทาง X จะมีค่าตามสมการ

$$Z_s = \frac{E_z}{H_y} \quad (3.21)$$

เราสามารถกำหนดเฟสของการสะท้อนจากอิมพีแดนซ์ระดับพื้นผิว พิจารณาคลื่นนิ่งประกอบด้วยคลื่นวิ่งไปข้างหน้ากระทบบนพื้นผิวและคลื่นวิ่งกลับจากการสะท้อนกลับ สนามของคลื่นนิ่งหาได้จาก

$$E(x) = E_f e^{-jkx} + E_b e^{jkx} \quad (3.22)$$

$$H(x) = H_f e^{-jkx} + H_b e^{jkx} \quad (3.23)$$

เงื่อนไขของขอบเขตที่  $X=0$  กำหนดโดยอิมพีแดนซ์ระดับพื้นผิว

$$\frac{E_{total}(x=0)}{H_{total}(x=0)} = Z_s \quad (3.24)$$

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นวิ่งแต่ละคลื่นสัมพันธ์โดยอิมพีแดนซ์ของสุญญากาศ

$$\left| \frac{E_f(x)}{H_f(x)} \right| = \left| \frac{E_b(x)}{H_b(x)} \right| = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \eta \quad (3.25)$$

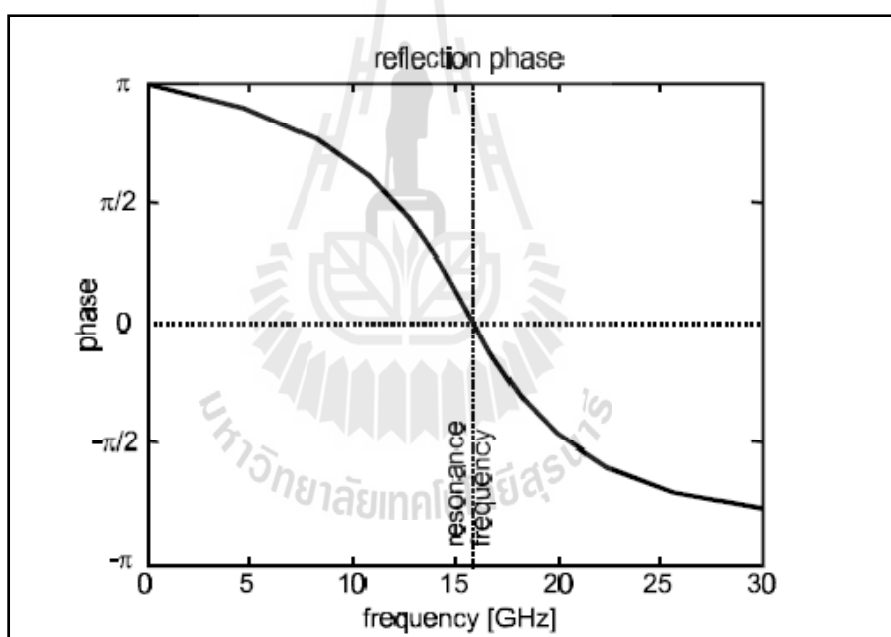
เฟสของการสะท้อนเป็นความแตกต่างเฟสระหว่างคลื่นวิ่งกลับและคลื่นที่วิ่งไปข้างหน้า

$$\Phi = \text{Im} \left\{ \ln \left( \frac{E_b}{E_f} \right) \right\} \quad (3.26)$$

ผลรวมของสมการ 3.24 และ 3.25 จะได้เฟสของการสะท้อนของพื้นผิวกับอิมพีแดนซ์

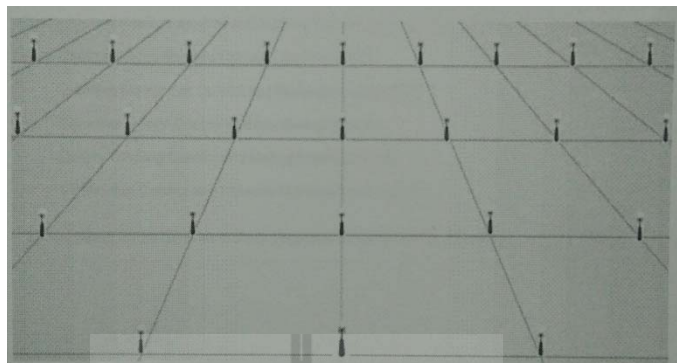
$$\Phi = \text{Im} \left\{ \ln \left( \frac{Z_s - \eta}{Z_s + \eta} \right) \right\} \quad (3.27)$$

สำหรับค่าที่ได้นำไปพล็อตเฟสสะท้อนกลับดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ขนาดเฟสของการสะท้อนคำนวณ โดยใช้ผลของรูปแบบของวงจร

### 3.6 การใช้งานเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเพื่อเป็นท่าเรืออัจฉริยะ



รูปที่ 3.18 การติดตั้งเครื่องอ่านในท่าเรืออัจฉริยะ

จากรูปที่ 3.18 เป็นรูปการติดตั้งเครื่องอ่านในท่าเรืออัจฉริยะ โดยจะทำการติดตั้งให้เป็นรูปแบบเมทริกซ์ เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถอ่านได้อย่างน้อยหนึ่งเครื่อง เครื่องอ่านจะถูกติดตั้งไว้ที่ระยะห่างเท่า ๆ กัน

### 3.7 สรุป

สำหรับงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้สายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยนำสายอากาศไดโพลมาแมตซ์กับไอซีชิปและวางบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยการนำข้อดีของทั้งสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้สำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก เพื่อนำไปใช้งานกับวัสดุที่เป็นโลหะ



## บทที่ 4

### การออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับ อาร์เอฟไอดีแท็ก โดยออกแบบที่ความถี่ปฏิบัติการ 920-925 MHz เพื่อใช้งานร่วมกับ ไอซีชิป หลักการออกแบบสายอากาศสำหรับ RFID Tag นั้นเป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลให้ แมตช์กับไอซีชิป สายอากาศที่ออกแบบแล้วจะถูกจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะใกล้ของ สายอากาศ และระยะการอ่าน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

#### 4.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ

##### 4.1.1 เครื่องอ่าน (Reader)

หน้าที่สำคัญของเครื่องอ่านข้อมูล ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการ ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโคร คอนโทรลเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ใน การส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้า ผู้กระบวนกรต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูล ซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อย ๆ ไม่สิ้นสุด โดยเครื่องอ่านที่นำมาใช้งานคือ MR6134A เป็นเครื่องอ่านที่ทำงานในช่วงย่านความถี่ UHF แสดงในภาคผนวก

##### 4.1.2 ไอซีชิป (IC Chip)

ไอซีชิปทำหน้าที่ เก็บข้อมูลของวัตถุ ในหน่วยความจำ ซึ่งในหน่วยความจำนี้ อาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือ ทั้งอ่านและเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการ ในการนำไปใช้งาน โดยปกติ หน่วยความจำแบบ ROM จะเก็บข้อมูลด้วยความปลอดภัย เช่น สิทธิ ในการเข้าออกประตู ส่วน RAM ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและเครื่องอ่านทำการ ติดต่อกัน สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะนำไอซีชิปแบบ UCODE G2XL มาใช้งาน ซึ่งเป็นไอซีชิป ที่ทำงานในช่วงย่านความถี่ UHF และมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $21.3-j191.7 \Omega$  ดังแสดงในภาคผนวก

### 4.1.3 ความถี่

ความถี่ที่ใช้งานคือ ความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) ที่เป็นมาตรฐานของประเทศไทยคือความถี่ 920 - 925 MHz

## 4.2 การออกแบบสายอากาศไดโพล

จากบทที่ 3 ทฤษฎีสายอากาศไดโพล ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณความยาวของสายอากาศไดโพล คือ

$$L = \lambda/2 \quad (4.1)$$

เราสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่าง ๆ ของสายอากาศไดโพลได้ เมื่อกำหนดให้ความถี่ปฏิบัติการคือ 920-925 MHz ได้ดังต่อไปนี้

ความยาวของสายอากาศไดโพล หรือ  $l_{dd}$  หาได้จาก

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{922 \times 10^6 \text{ Hz}} = 325.4 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{ดังนั้น } l_{dd} = \frac{\lambda}{2} = \frac{325.4}{2} = 162.7 \text{ มิลลิเมตร}$$

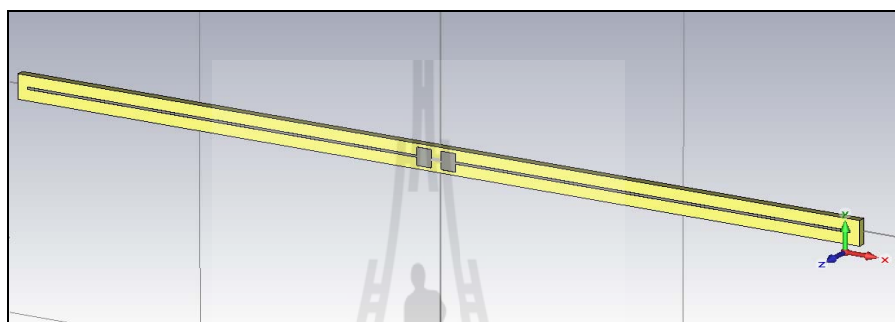
แต่โดยทั่วไปสายอากาศไดโพลที่ความยาวครึ่งคลื่นจะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 73 โอห์ม สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ต้องการออกแบบสายอากาศไดโพลเพื่อใช้งานร่วมกับไอซีชิป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาหาความยาวที่เหมาะสมสำหรับอิมพีแดนซ์ที่ต้องการ

จากทฤษฎีบทที่ 3 การแมตช์ (Matching) เราสามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับไอซีชิปได้ดังสมการ

$$Z_{Ant} = Z_c^* \quad (4.2)$$

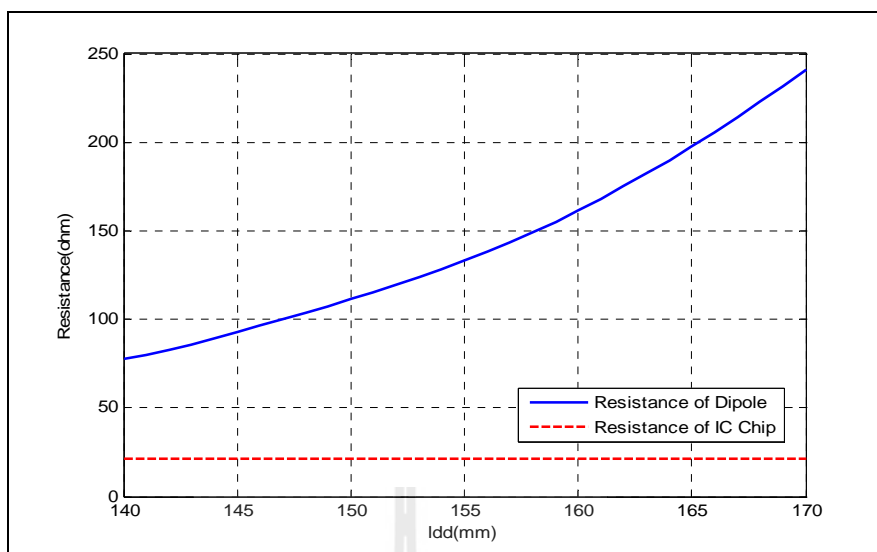
ดังนั้นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศควรมีค่าเท่ากับ  $21.3 + j191.7 \Omega$  ซึ่งจะตรงข้ามกับอิมพีแดนซ์ของไอซีชิปคือ  $21.3 - j191.7 \Omega$  เพื่อให้สายอากาศแมตช์กับไอซีชิป ซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบสายอากาศไดโพล โดยเริ่มต้นจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของสายอากาศไดโพลและอิมพีแดนซ์

ขั้นแรกจะทำการกำหนด ความกว้างสายอากาศเป็น 1 มิลลิเมตร แล้วปรับค่าความยาวตั้งแต่ 140-170 มิลลิเมตร ซึ่งได้จากสมการข้างต้น โดยใช้พอร์ต 50  $\Omega$

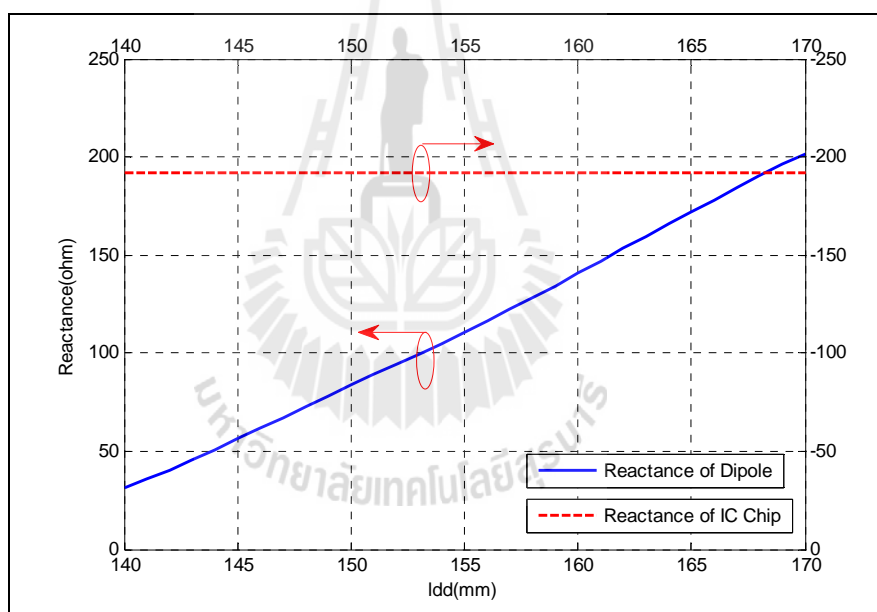


รูปที่ 4.1 สายอากาศไดโพล





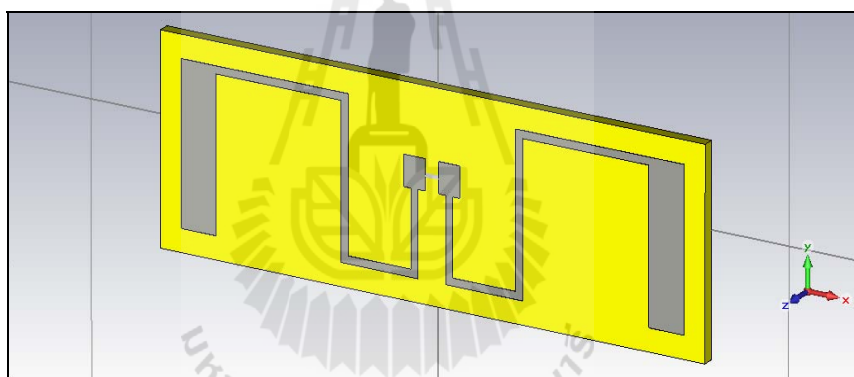
(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



(ข) ค่า Reactance

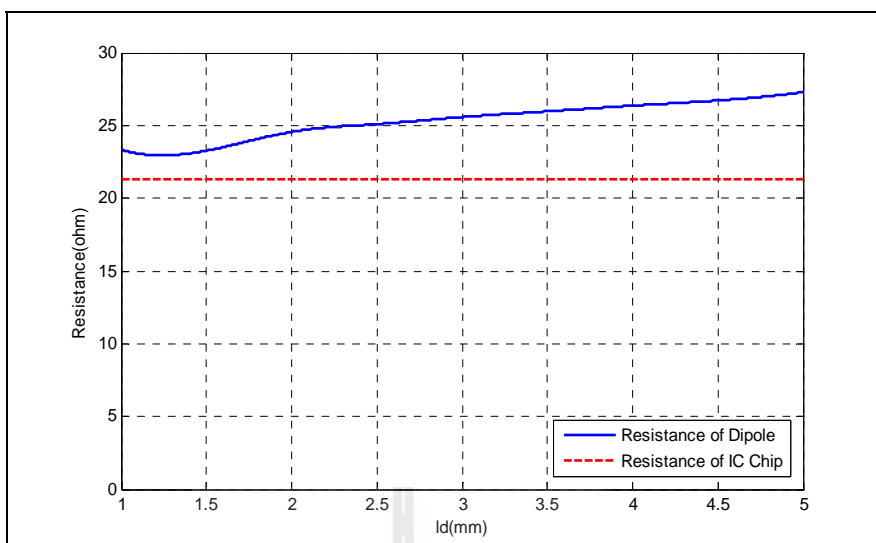
รูปที่ 4.2 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่า Reactance ของสายอากาศ และไอซีชิปเมื่อปรับความยาวของสายอากาศไดโพล

จากรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าเมื่อปรับความยาวของไดโพลตั้งแต่ 140-170 มิลลิเมตร พบว่าค่าความต้านทาน (Resistance) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 80-240  $\Omega$  และค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 40-200  $\Omega$  ดังนั้นค่าความต้านทานของสายอากาศนั้นยังไม่เท่ากับของไอซีชิป ส่วนค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกับ รีแอกแตนซ์ของไอซีชิป ในช่วง  $L_{dd}$  ยาว ประมาณ 165-170 มิลลิเมตร เนื่องจากลักษณะแนวโน้มของค่าความต้านทานและรีแอกแตนซ์ของสายอากาศไดโพลมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวของไดโพล ทำให้หาความยาวที่เหมาะสมเพื่อแมตช์สายอากาศไดโพลกับไอซีชิปได้ยาก ถ้าใช้สายอากาศไดโพลที่มีความยาว 165 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่ารีแอกแตนซ์เท่ากับ 191.7  $\Omega$  จะส่งผลให้ค่าความต้านทานของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 170  $\Omega$  ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่สูงมาก แต่เราต้องการค่าความต้านทาน 21.3  $\Omega$  เพื่อให้สายอากาศแมตช์กับไอซีชิป เราจะทำกรปรับสายอากาศโดยการหักงอสายอากาศซึ่งจะเริ่มปรับที่ส่วนปลายของสายอากาศดังรูปที่ 4.3

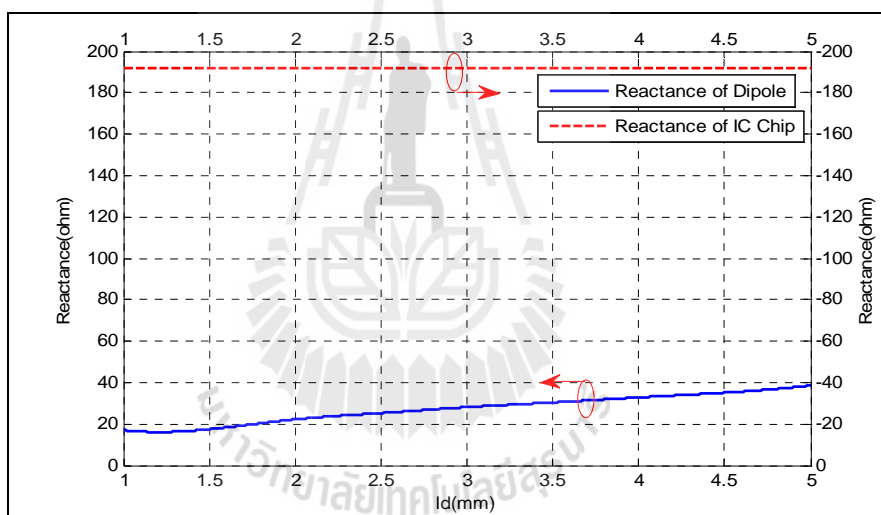


รูปที่ 4.3 สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ

ค่าที่กำหนดคือ ความยาวของเส้นที่หักงอ 170 มิลลิเมตร ความกว้างของเส้น 1 มิลลิเมตร ปรับความกว้างส่วนปลายของสายอากาศตั้งแต่ 1- 5 มิลลิเมตร



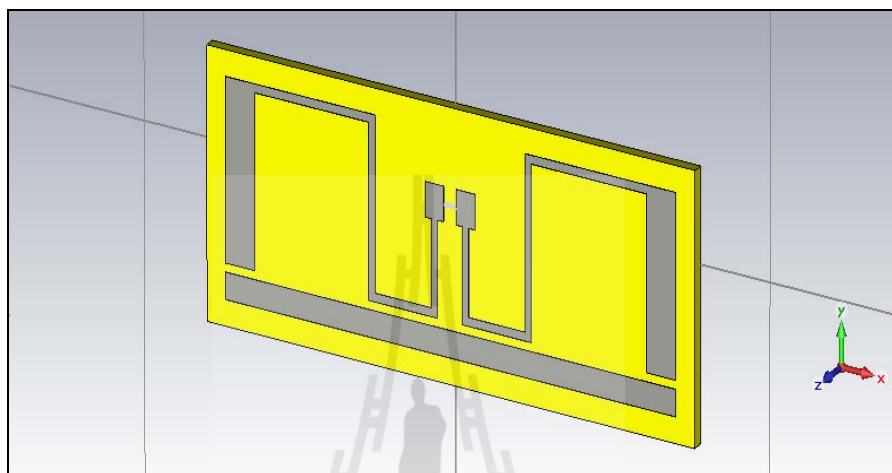
(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.4 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพล ที่ลดรูปด้วยการหักงอเมื่อปรับความกว้างส่วนปลายของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.4 (ก) จะเห็นว่าค่าความต้านทานสายอากาศนั้นมีความใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ ซึ่งอยู่ช่วงความกว้างประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ส่วนค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศนั้นยังไม่ได้ตาม ต้องการดังรูปที่ 4.4 (ข) เพื่อให้สายอากาศแมตซ์กับไอซีชิป จึงทำการเพิ่มเส้นพาราซิติคขึ้นมาอีก หนึ่งเส้นดังรูปที่ 4.5

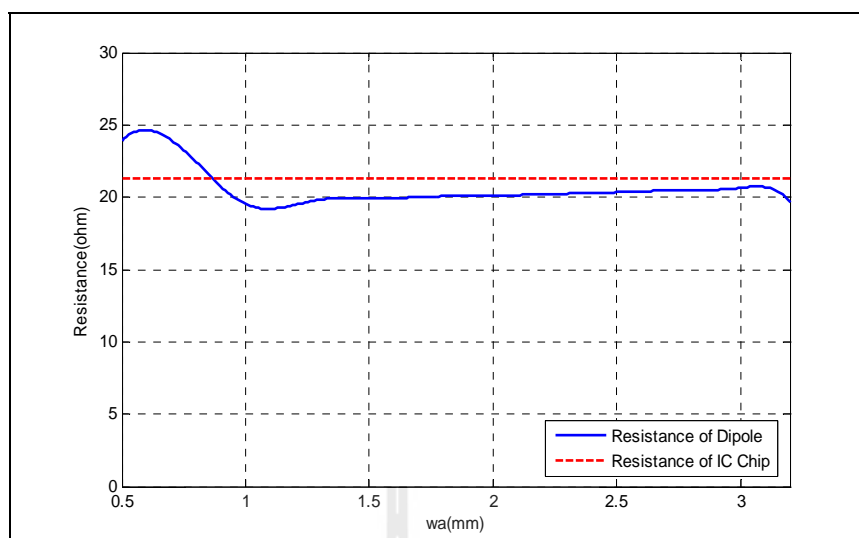


รูปที่ 4.5 สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติค

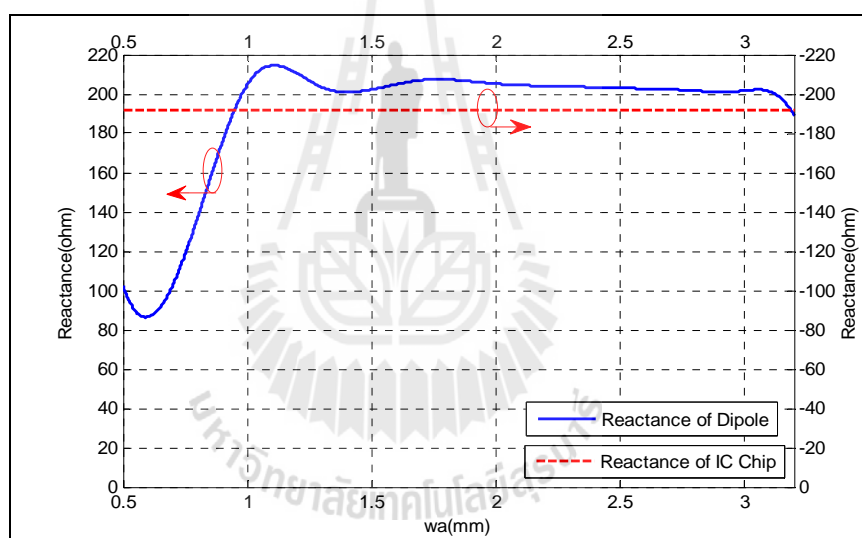
ค่าที่กำหนดคือ ความยาวของเส้นที่หักงอ 170 มิลลิเมตร ความกว้างของเส้น 1 มิลลิเมตร ส่วนปลายกว้าง 4.5 มิลลิเมตร ระยะห่างเส้นหักกับเส้นตรง 1 มิลลิเมตร ปรับความกว้างของเส้นพาราซิติค 0.5-3.2 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศมีค่าใกล้เคียงค่าที่ต้องการอยู่ในช่วงความกว้างประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร แต่เพื่อให้สายอากาศกับไอซีชิปแมตซ์มากขึ้นจึงทำการปรับค่าระยะห่างระหว่างเส้นหักงอกับเส้นพาราซิติคเพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงค่าที่ต้องการมากขึ้น ดังรูปที่ 4.5

ค่าที่กำหนดคือ ความยาว 170 มิลลิเมตร ความกว้างของเส้น 1 มิลลิเมตร ส่วนปลายกว้าง 4.5 มิลลิเมตร ความกว้างของเส้นตรง 2 มิลลิเมตร ปรับระยะห่างระหว่างเส้นที่ทำการหักงอกับเส้นตรง 0.6-1.5 มิลลิเมตร



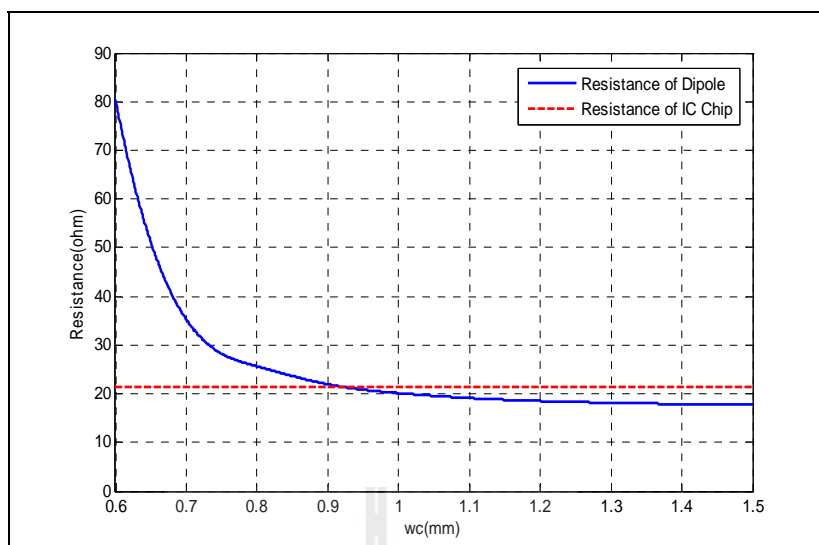
(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



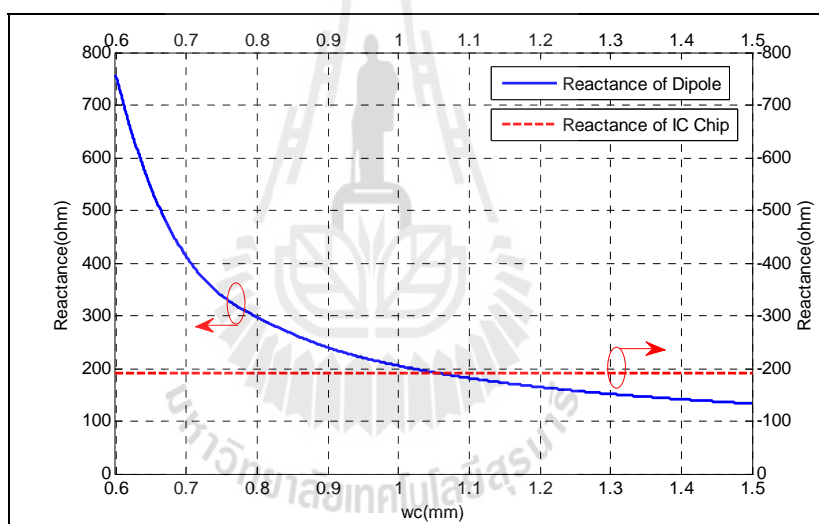
(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.6 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติค เมื่อปรับความกว้างของเส้นพาราซิติค





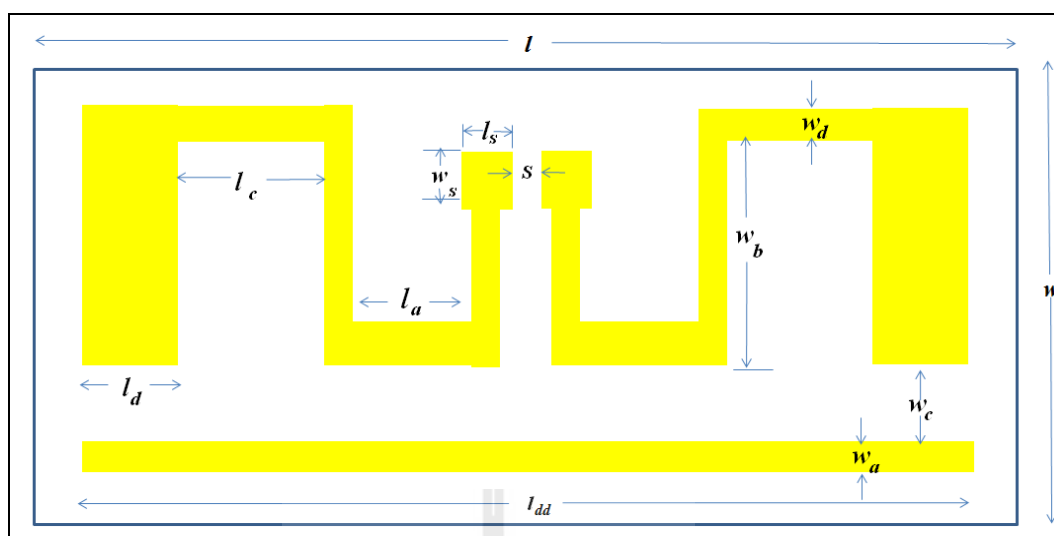
(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.7 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่า Reactance ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติค เมื่อปรับระยะของเส้นหักงอกับเส้นพาราซิติค (ต่อ)

จากรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศมีค่าใกล้เคียงค่าที่ต้องการอยู่ในช่วงความกว้างประมาณ 0.9 -1.1 มิลลิเมตร หลังจากนั้นเราจึงปรับอีกเล็กน้อยเพื่อให้สายอากาศแมตช์กับไอซีชิปมากขึ้นจึงได้ขนาดออกมามักรูปที่ 4.8 และมีค่าพารามิเตอร์ต่างตามตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ขนาดของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอต้นแบบ

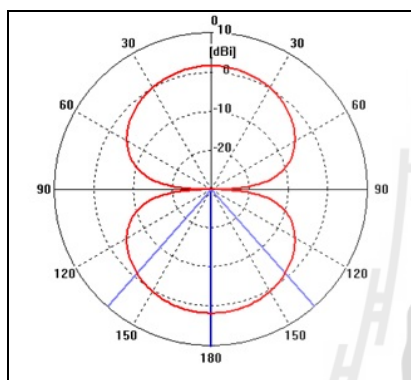
ตารางที่ 4.1 ขนาดของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร )
ความสูงของแผ่น FR4 ( $w$ )	30
ความสูงของเส้นพาราซิติค ( $w_a$ )	2
ความสูงของสายอากาศที่หักงอ ( $w_b$ )	20
ความกว้างของสายอากาศหักงอด้านบน ( $w_d$ )	1
ระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลและเส้น พาราซิติค ( $w_c$ )	1
ความสูงของช่วงติดไอซีซีป ( $w_s$ )	4
ความกว้างของแผ่น FR4 ( $l$ )	78
ความยาวของสายอากาศที่หักงอด้านล่าง ( $l_a$ )	9
ความกว้างส่วนปลายสายอากาศ ( $l_d$ )	4.7
ความยาวของเส้นพาราซิติค ( $l_{dd}$ )	72
ความยาวของสายอากาศที่หักงอด้านบน ( $l_c$ )	18.3
ความยาวของช่วงติดไอซีซีป ( $l_s$ )	3
ช่องติดไอซีซีป ( $s$ )	2

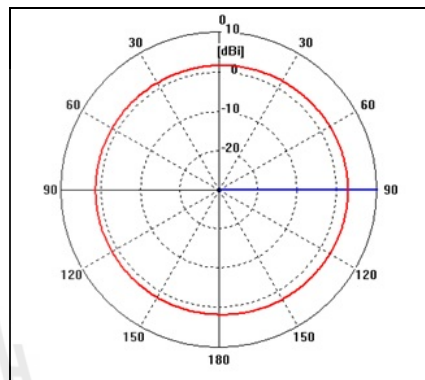
#### 4.2.1 ผลการจำลอง RFID Tag โดยใช้สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ

จากเดิมที่ใช้พอด 50  $\Omega$  เปลี่ยนเป็นใช้พอด 21.3  $\Omega$  และใส่ค่า  $C = 9 \times 10^{-13}$  F ซึ่งคำนวณมาจากสมการที่ (4.3)

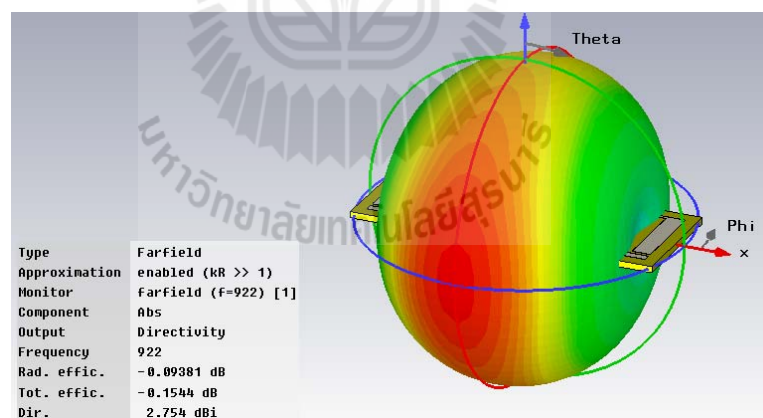
$$C = \frac{1}{\omega X} \quad (4.3)$$



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า



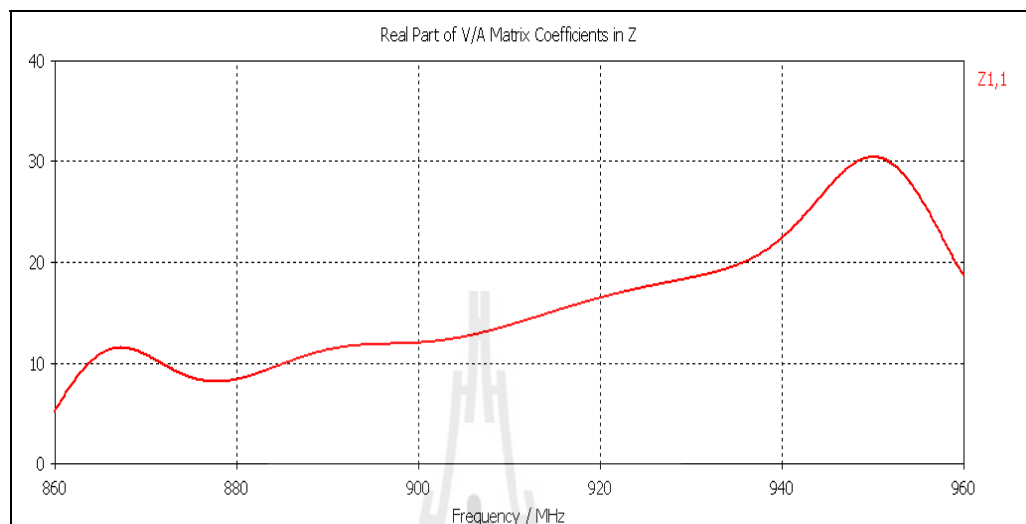
(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก



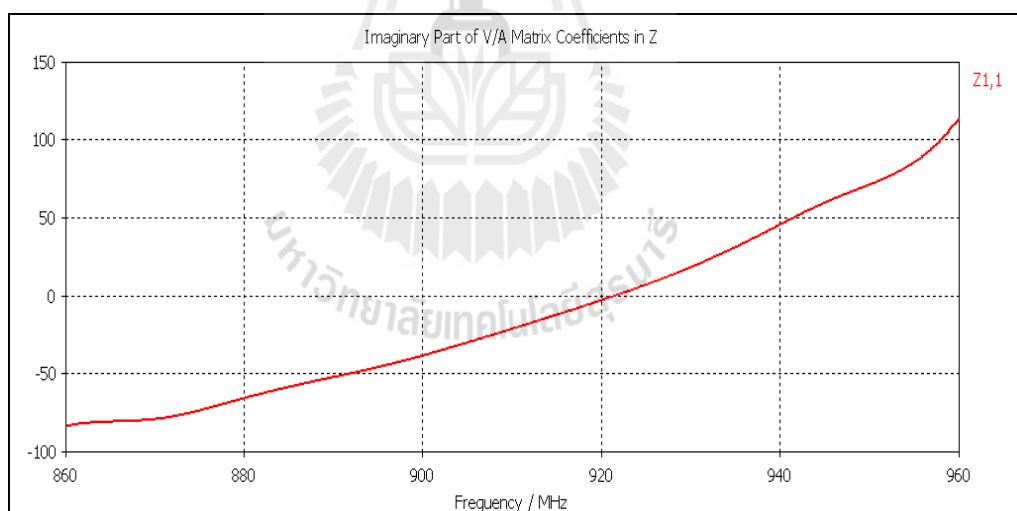
(ค) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.9 ผลการจำลองแบบของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ ที่ความถี่ 920-925 MHz

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของแท่งมีลักษณะรอบตัว และมีอัตราขยาย 2.75 dB ดังแสดงในรูป 4.9 (ค)

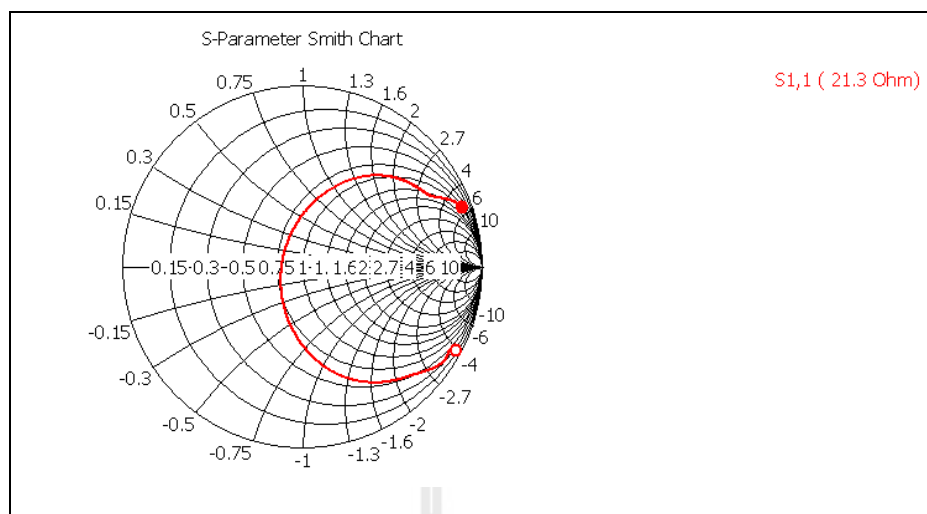


(ค) ค่าความต้านทาน (Resistance)



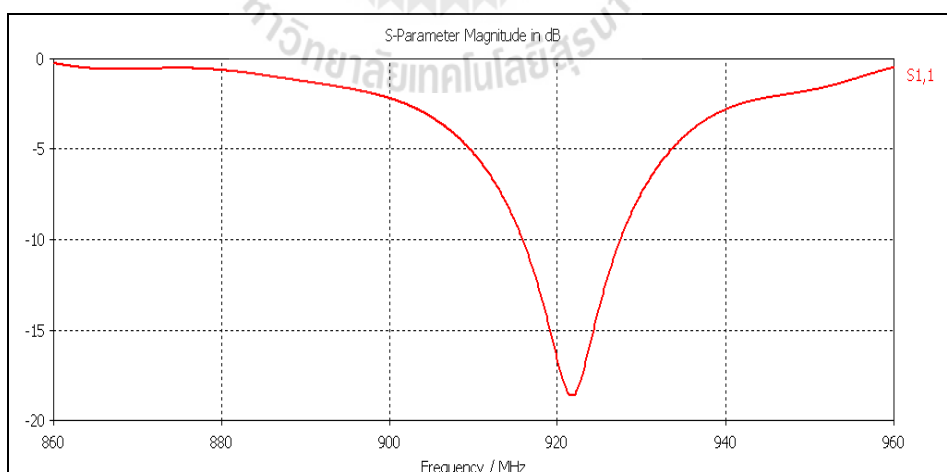
(ข) ค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.10 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ

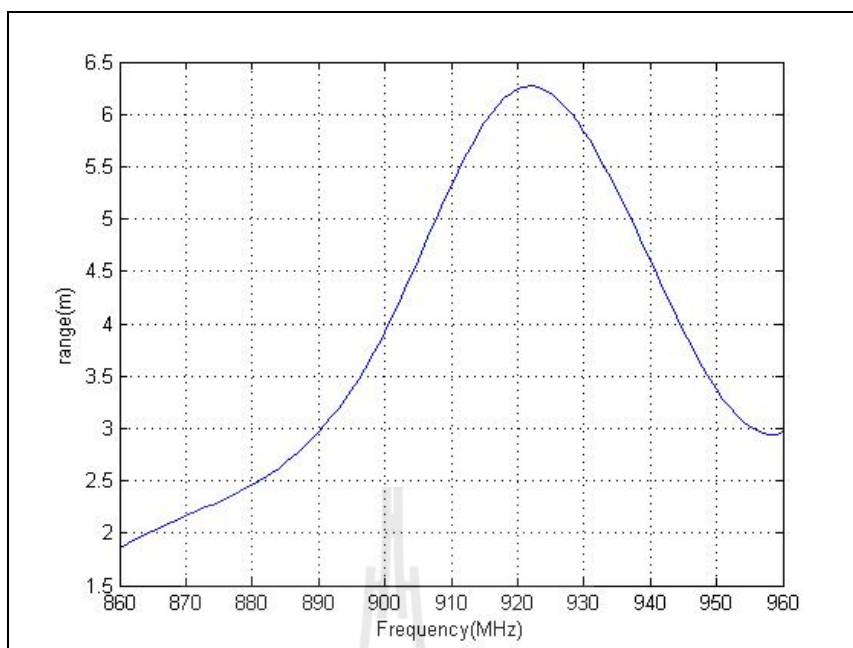


รูปที่ 4.11 Smith chart ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ

จากรูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 920-925 MHz ได้อัตราขยายเท่ากับ 2.745 dB ส่วนค่าความต้านทานของสายอากาศที่ความถี่ 920-925 MHz ได้ประมาณ  $17 \Omega$  ดังรูปที่ 4.10 (ก) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 920-925 MHz ได้ประมาณ  $0 \Omega$  ดังรูปที่ 4.10 (ข) ซึ่งแสดงว่าสายอากาศแมตซ์กับไอซีชิปแล้วดัง Smith chart ตามรูปที่ 4.11



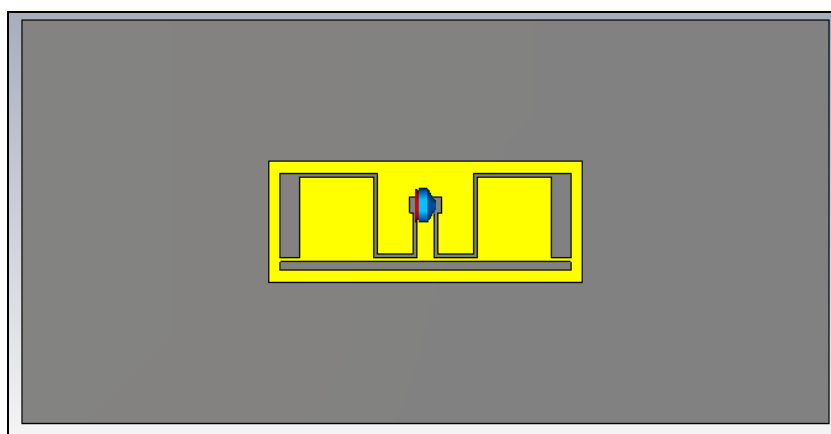
รูปที่ 4.12 ค่า  $S_{11}$  ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ



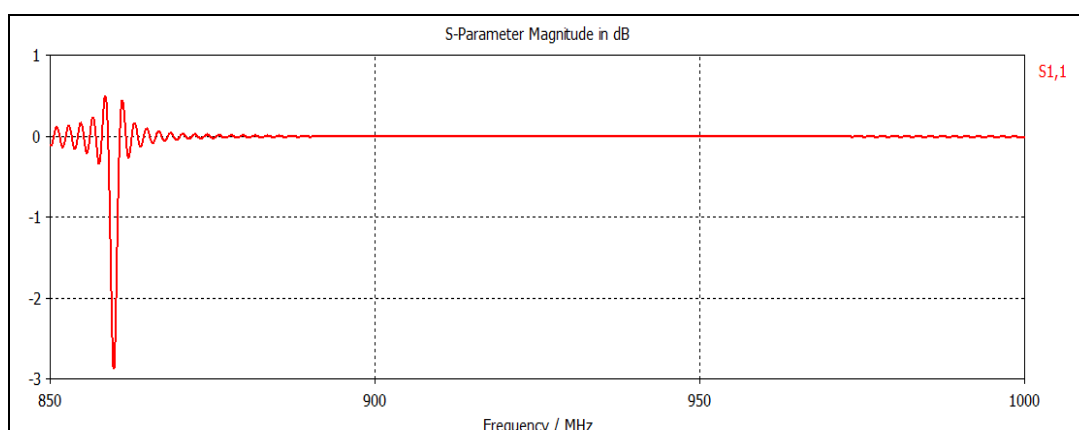
รูปที่ 4.13 ระยะการอ่านของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่า  $S_{11}$  ของสายอากาศจะเห็นว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ประมาณ 915-927 MHz ส่วนระยะการอ่านที่ความถี่ 922 MHz สามารถอ่านได้ประมาณ 6.43 เมตร ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งคำนวณมาจากสมการ (3.5)

#### 4.3 ผลกระทบของแท่งไดโพลเมื่อวางบนวัสดุที่เป็นโลหะ



รูปที่ 4.14 แท่งไดโพลวางบนวัสดุโลหะ



รูปที่ 4.15 ค่า  $S_{11}$  ของสายอากาศไดโพลแท่งบนโลหะ

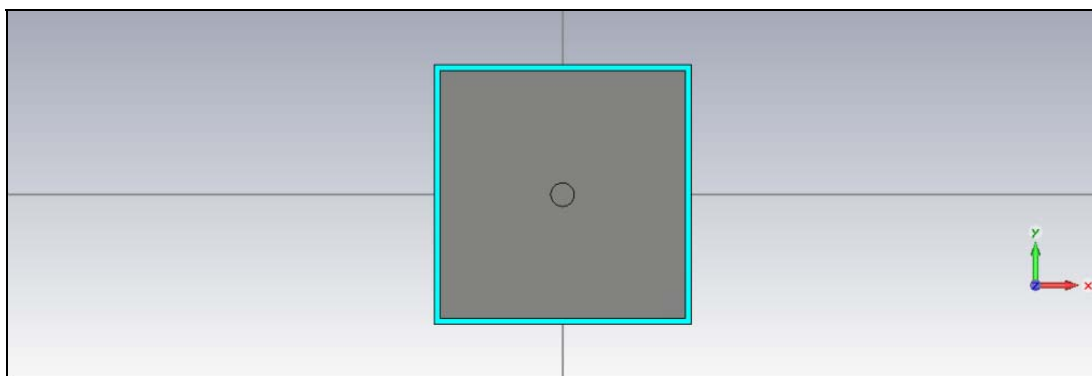
จากรูปที่ 4.15 เป็นการแสดงค่า  $S_{11}$  ของสายอากาศไดโพลแท่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำสายอากาศไดโพลแท่งไปวางบนวัสดุโลหะดังแสดงในรูปที่ 4.14 จะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการเนื่องจากการนำตัวแท่งไปวางบนแผ่นโลหะจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลแท่งเปลี่ยนไปทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับใช้งานร่วมกับสายอากาศไดโพลแท่งเพื่อให้สายอากาศไดโพลแท่งสามารถใช้งานบนโลหะได้ ซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป

#### 4.4 การศึกษาช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (EBG)

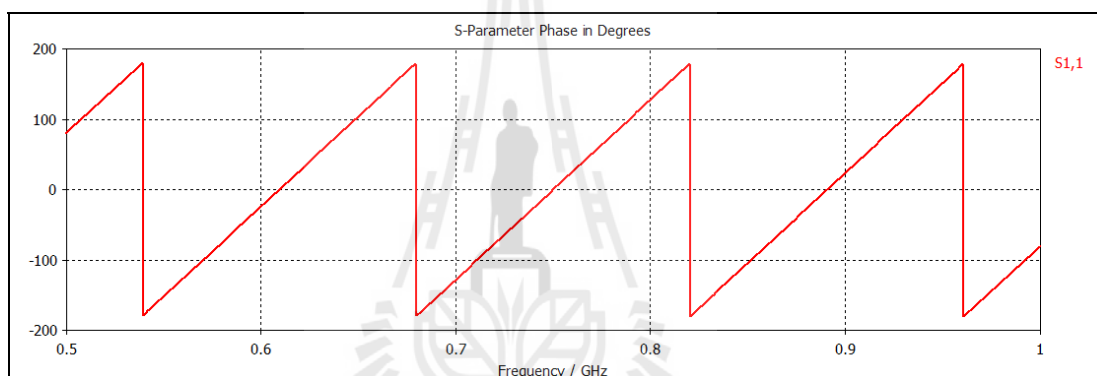
ออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดดอกระบายโดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าดังนี้ (Gao and Matthew, 2011) ซึ่งใช้เป็นค่าพารามิเตอร์อ้างอิงเริ่มต้นในการออกแบบ

ตารางที่ 4.2 ขนาดเริ่มต้นของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

หมายเลข	พารามิเตอร์		
	ส่วนประกอบ	ขนาด (มิลลิเมตร)	ชนิด
1	ความกว้างของแผ่นตัวนำ ( $w$ )	17	ทองแดง
2	ความสูงของวัสดุฐานรอง ( $t$ )	1.8	ทองแดง
3	รัศมีของเส้นลวด ( $r$ )	1	ทองแดง
4	ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ ( $g$ )	1	



รูปที่ 4.16 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า



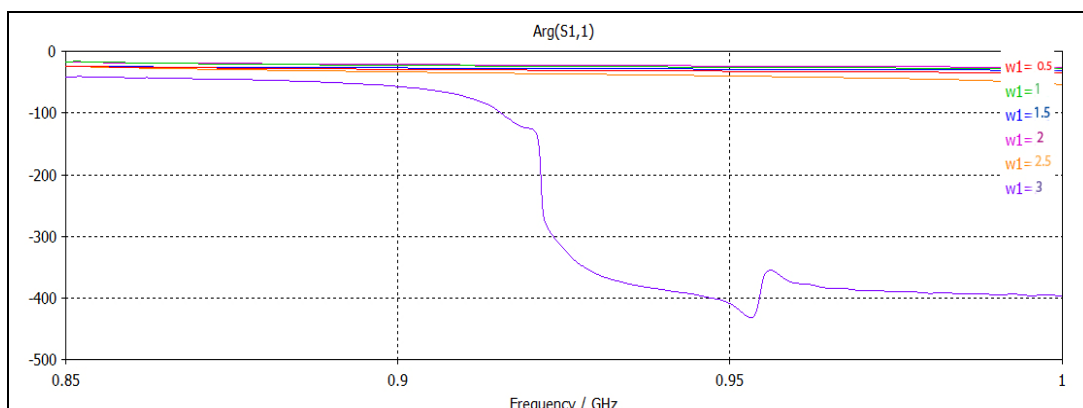
รูปที่ 4.17 เฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.17 เป็นเฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า จะเห็นว่าเฟสสะท้อนที่ความถี่ 920-925 MHz มีค่าเท่ากับ 80 องศา ถ้าต้องการนำเท็กโคโพลวงบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจำเป็นต้องออกแบบให้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีเฟสสะท้อน 0 องศาตามที่เรากำลังต้องการ เนื่องจากเฟสสะท้อนที่ 0 องศาทำให้คลื่นด้านหลังของไดโพลสะท้อนมาด้านหน้าด้วยเฟสตรงกันกับคลื่นด้านหน้า ดังนั้นในส่วนต่อไปจะทำการศึกษาพารามิเตอร์ของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ ค่า  $g$   $w$  และ  $r$

#### 4.4.1 ปรับค่าช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ ( $g$ )

จะทำการปรับขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ ( $g$ ) โดยจะให้ รัศมี ( $r$ ) = 1 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นตัวนำ ( $w$ ) = 17 มิลลิเมตร โดยปรับช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำตั้งแต่ 0.5-3 มิลลิเมตร



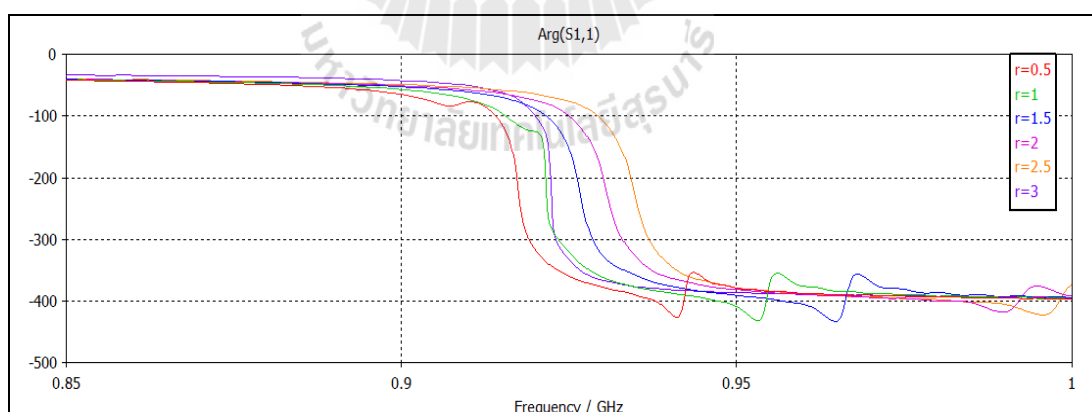


รูปที่ 4.18 เฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อปรับขนาดช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ

จากรูปที่ 4.18 เมื่อทำการปรับค่าขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ จะเห็นว่าค่าของเฟสจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับ 0 ที่ขนาด  $g=3$  มิลลิเมตร

#### 4.4.2 ปรับค่ารัศมีเส้นลวด ( $r$ )

ต่อมาเราจะทำการปรับค่ารัศมีเส้นลวด ( $r$ ) โดยกำหนดให้ความกว้างของแผ่นตัวนำ ( $w$ ) = 17 มิลลิเมตร และช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ ( $g$ ) เลือกใช้ที่ขนาด 3 มิลลิเมตร

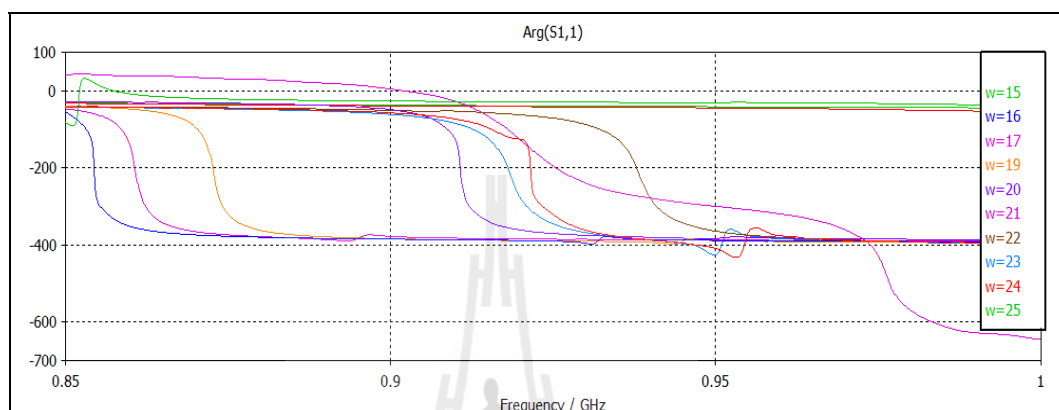


รูปที่ 4.19 เฟสของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปรับค่ารัศมี

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าเมื่อทำการปรับขนาดรัศมีของเส้นลวดแล้วจะทำให้เฟสมีค่าใกล้ 0 ที่ขนาดรัศมีประมาณ 2 มิลลิเมตร

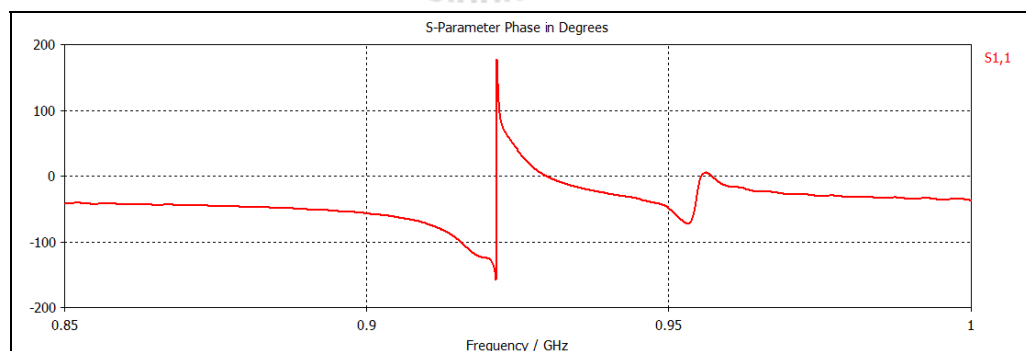
### 4.4.3 ปรับค่ากว้างของแผ่นตัวนำ ( $w$ )

ต่อมาเราจะทำการปรับค่าความกว้างของแผ่นตัวนำ ( $w$ ) โดยกำหนดให้ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ ( $g$ ) เลือกลงที่ขนาด 3 มิลลิเมตร และเลือกใช้ขนาดของรัศมีของเส้นลวดที่ขนาด 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.20 เฟสช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปรับค่าความกว้างของแผ่นตัวนำ

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่าเมื่อทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นตัวนำแล้วจะทำให้เฟสมีค่าใกล้ 0 องศา ที่ขนาด 22 มิลลิเมตร ต่อมาเราจะทำการปรับค่าอีกเล็กน้อยเพื่อให้ได้ค่าที่ดียิ่งขึ้นจะได้เฟสดังรูปที่ 4.21 และจะมีขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าตามตารางที่ 4.4



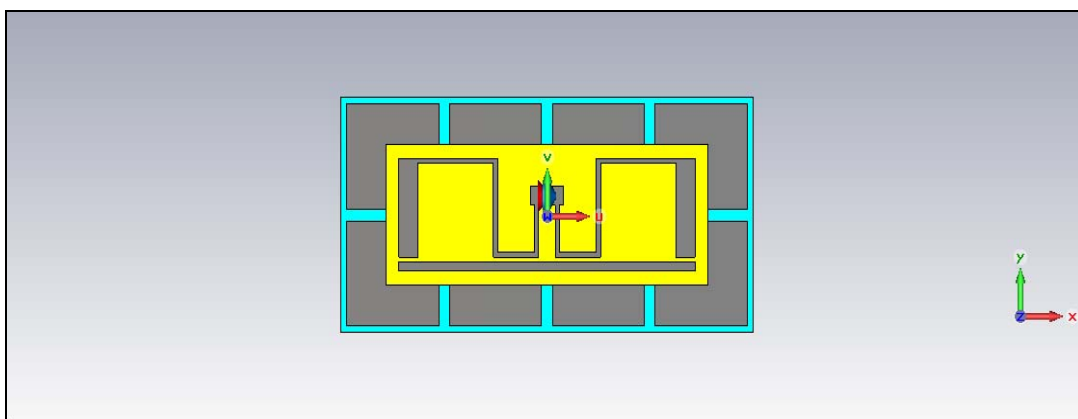
รูปที่ 4.21 เฟสสะท้อนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 4.3 ขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

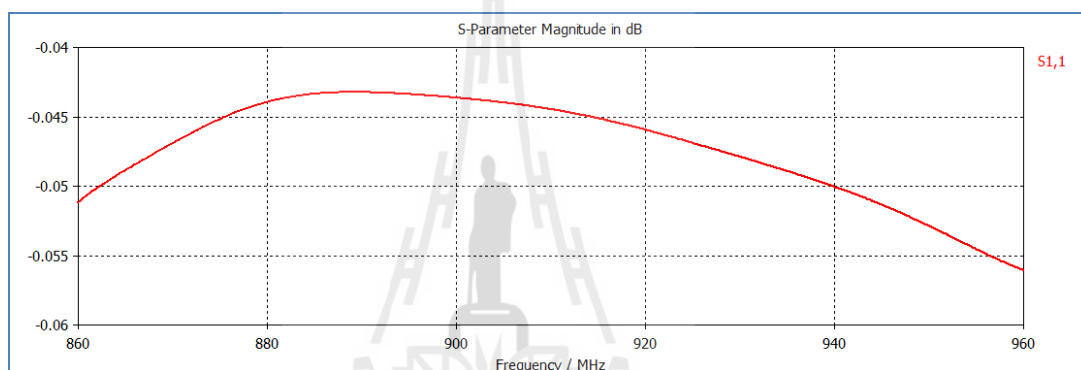
หมายเลข	พารามิเตอร์		
	ส่วนประกอบ	ขนาด (มิลลิเมตร .)	ชนิด
1	ความกว้างของแผ่นตัวนำ ( $w$ )	22.5	ทองแดง
2	ความสูงของวัสดุฐานรอง ( $t$ )	3.2	ทองแดง
3	รัศมีของเส้นลวด ( $r$ )	2	ทองแดง
4	ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ ( $g$ )	2	

#### 4.5 การศึกษาพารามิเตอร์ของอาร์เอฟไอดีแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้นำเสนอสายอากาศสตริปไดโพลบนแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้านั้นถูกนำมาใช้เพื่อเป็นแผ่นสะท้อนให้มีประสิทธิภาพในการระงับคลื่นผิวในช่วงความถี่ปฏิบัติการที่ต้องการ โดยเลือกใช้แบบจำลองสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าโดยการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ดังที่ออกแบบในหัวข้อข้างต้น เริ่มต้นการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศสตริปไดโพลด้วยการวิเคราะห์เฟสของการสูญเสียย้อนกลับของผิวช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าถูกนำมาจัดแถวลำดับ เมื่อเราได้ขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแล้วเราจะทำการเพิ่มแถวลำดับ โดยเริ่มที่ขนาด  $4 \times 2$  อิลิเมนต์



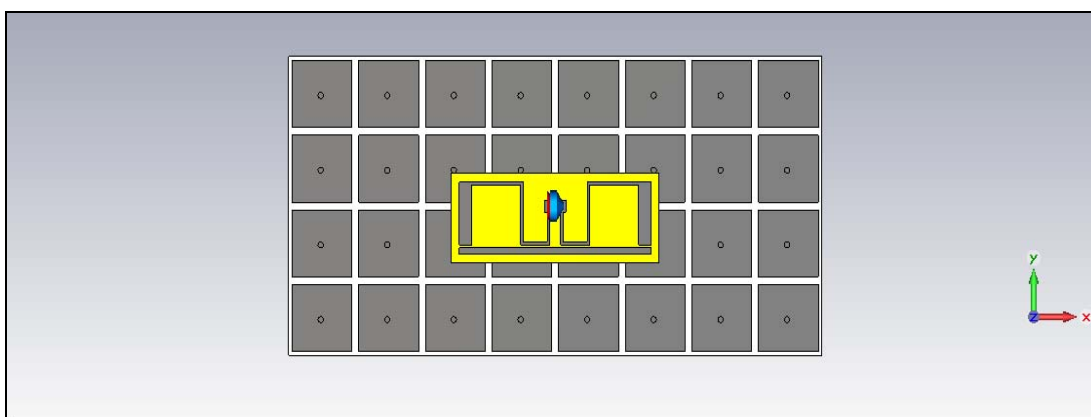
(ก) แบบจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 4 x 2 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก



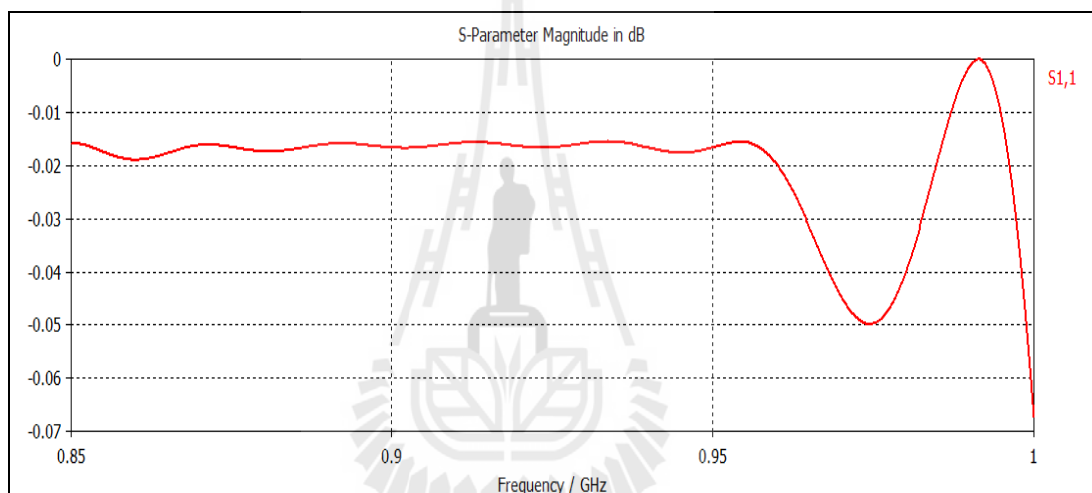
(ข) ค่า  $S_{11}$

รูปที่ 4.22 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 4 x 2 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก

จากรูปที่ 4.22 เป็นผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 4 x 2 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กจะเห็นว่าค่า  $S_{11}$  ยังไม่ได้ตามที่ใช้งานที่ความถี่ 920-925 MHz เนื่องจากขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีอาจนขนาดเล็กเกินไปทำให้พลังงานรั่วไหลออกไปได้จึงทำการเพิ่มแถวลำดับของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเป็น 8 x 4 อิลิเมนต์



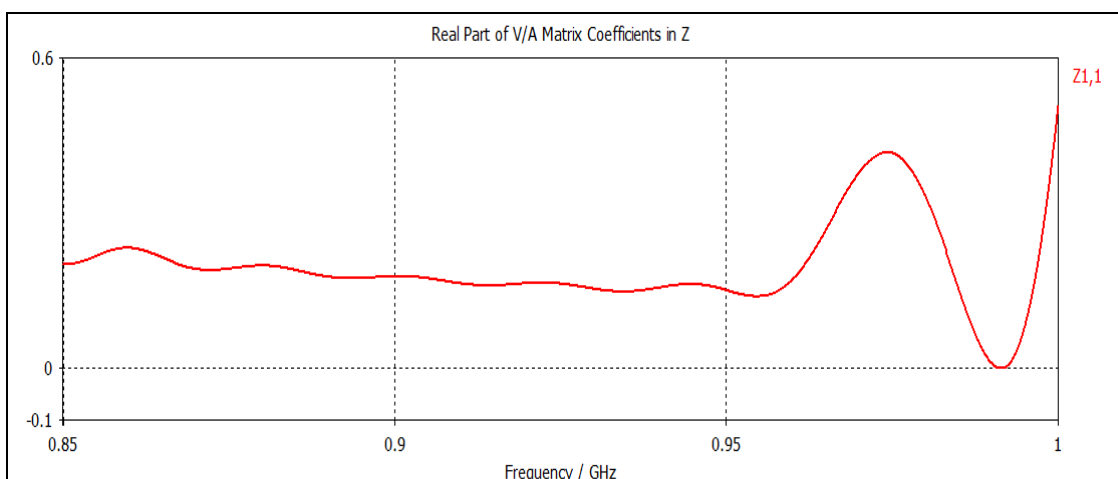
(ก) แบบจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด  $8 \times 4$  อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก



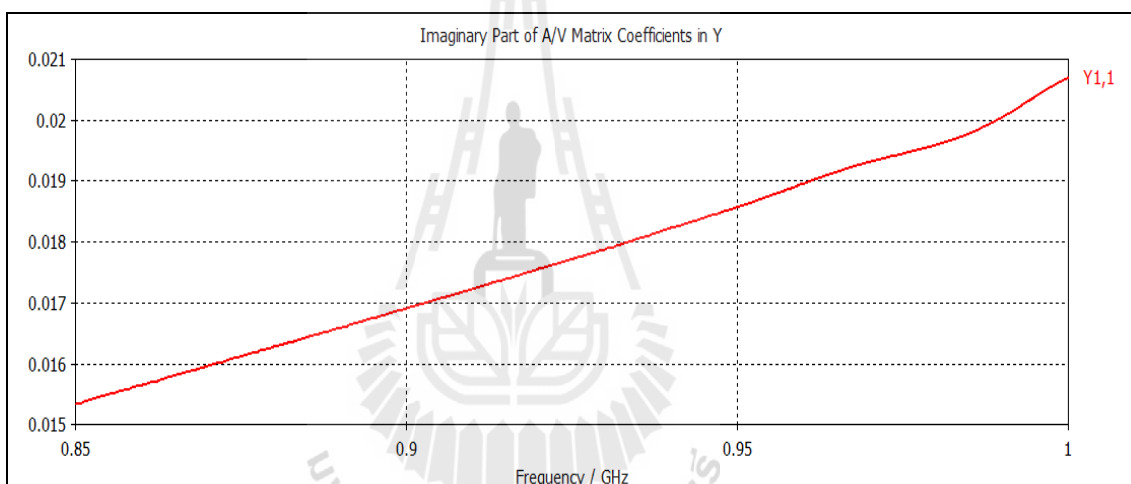
(ข) ค่า  $S_{11}$

รูปที่ 4.23 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด  $8 \times 4$  อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.23 เป็นผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด  $8 \times 4$  อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กจะเห็นว่าค่า  $S_{11}$  ยังไม่ได้ตามที่ใช้งานที่ความถี่ 920-925 MHz จึงมาพิจารณาที่อิมพีแดนซ์



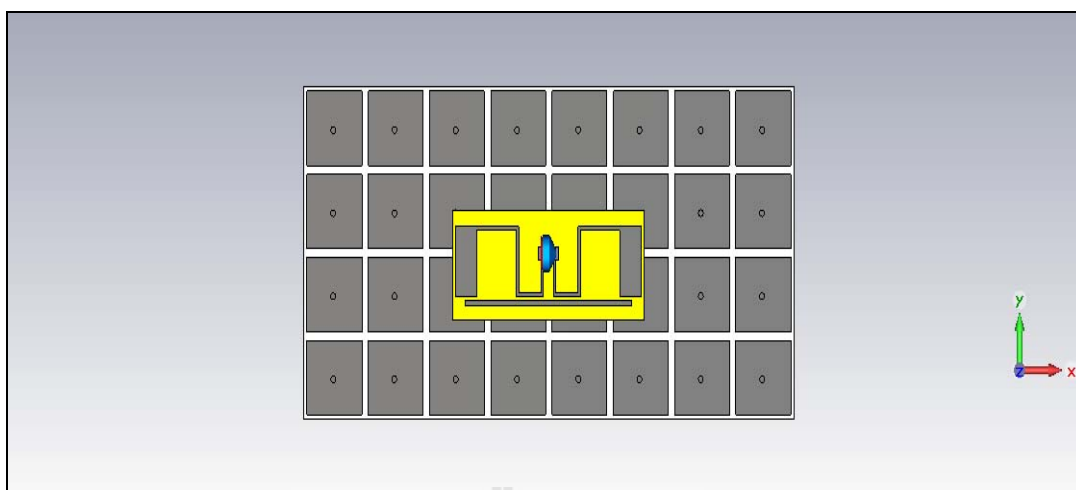
(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.24 ค่าอิมพีแดนซ์ของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด  $8 \times 4$  อิลลิเมนต์

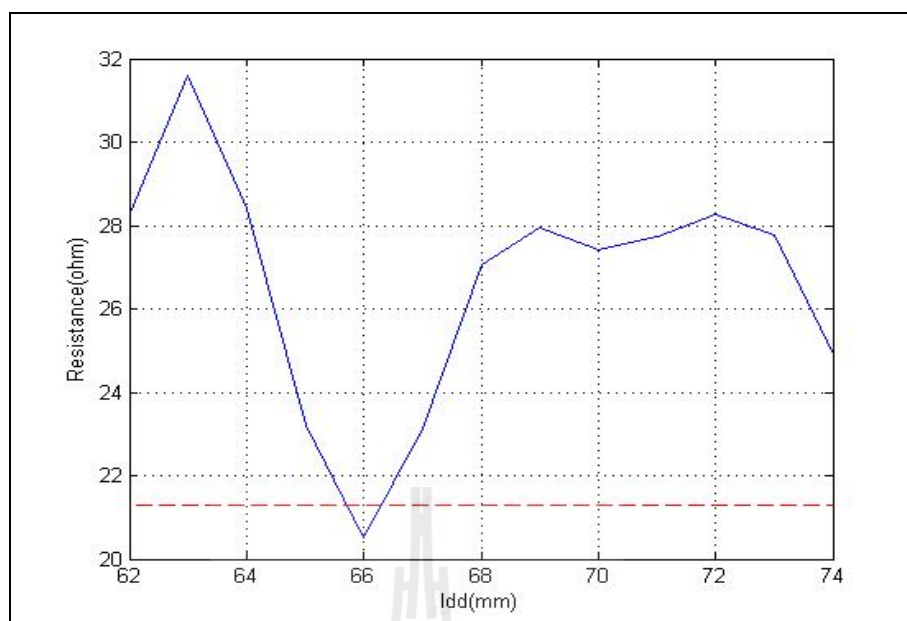
จากรูปที่ 4.24 เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด  $8 \times 4$  อิลลิเมนต์จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์มีค่าเปลี่ยนไปทำให้แท่งไม่สามารถทำงานได้ จึงทำการปรับขนาดพารามิเตอร์ของแท่งเพื่อให้แมตซ์กับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าโดยทำการปรับขนาดความยาวของเส้นพาราซิติคดังรูป 4.25



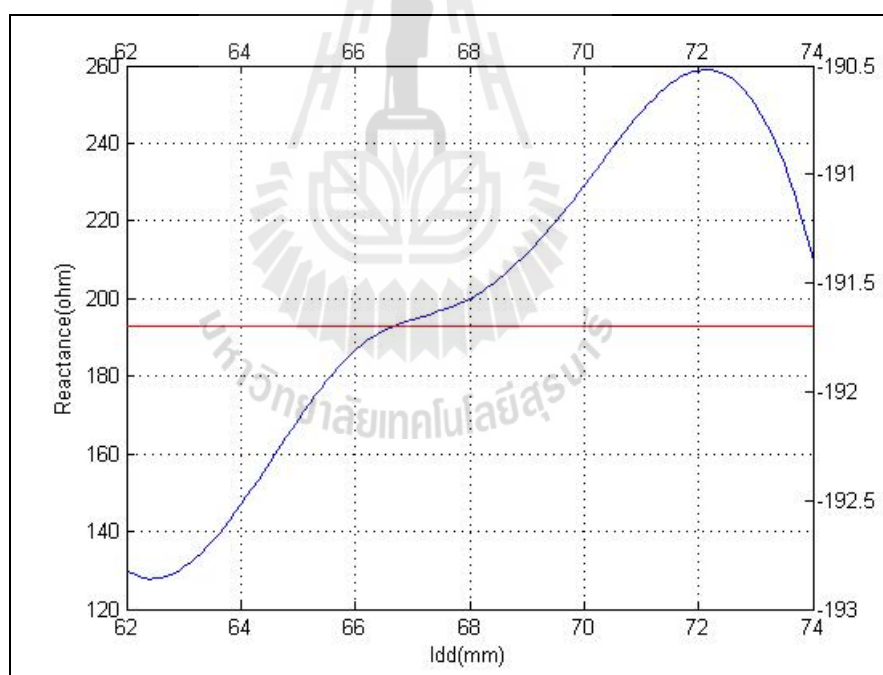
รูปที่ 4.25 แบบจำลองแท่งช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด  $8 \times 4$  อิลิเมนต์

ค่าที่กำหนดคือ ความยาวของเส้นที่หักงอ 170 มิลลิเมตร ความกว้างของเส้น 1 มิลลิเมตร ส่วนปลายกว้าง 8.7 มิลลิเมตร ระยะห่างเส้นหักกับเส้นตรง 1 มิลลิเมตร ความกว้างของเส้นพาราซิติค 1.75 มิลลิเมตร ปรับความยาวของเส้นพาราซิติค





(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)

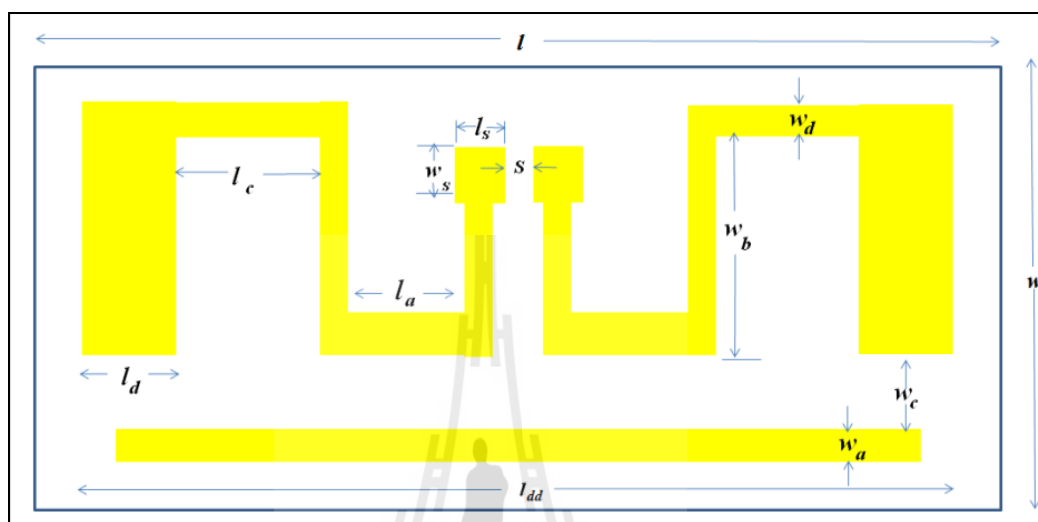


(ข) ค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.26 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศคู่ไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติค เมื่อปรับความยาวของเส้นพาราซิติค



จากรูปที่ 4.26 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศมีค่าใกล้เคียงค่าที่ต้องการอยู่ในช่วงความยาวประมาณ 66-68 มิลลิเมตร หลังจากนั้นเราจึงปรับอีกเล็กน้อยเพื่อให้สายอากาศแมตซ์มากขึ้นจึงได้ขนาดออกมาดังรูปที่ 4.27



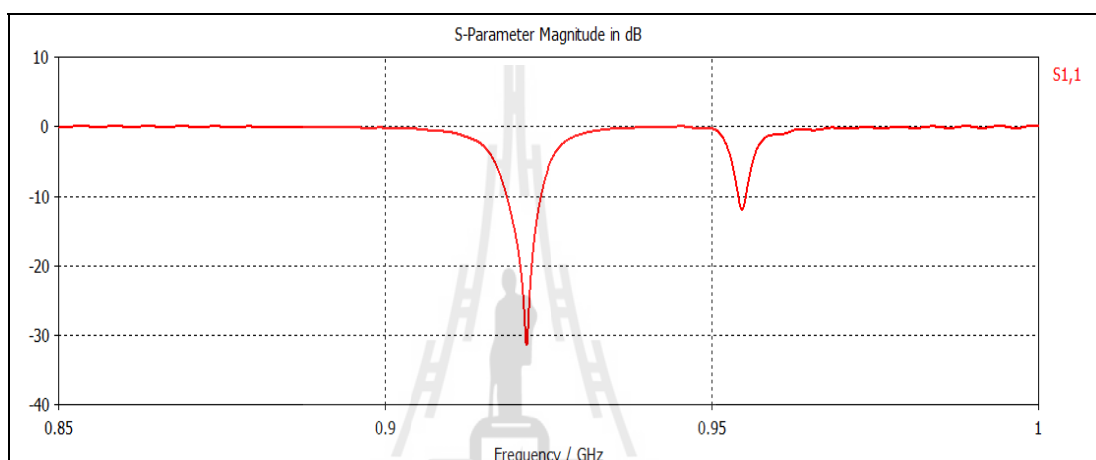
รูปที่ 4.27 ขนาดของสายอากาศไดโพลที่แมตซ์กับไอซีซีป

ตารางที่ 4.4 ขนาดของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร )
ความกว้างของแผ่น FR4 ( $w$ )	33
ความกว้างของเส้นพาราซิติค ( $w_a$ )	1.75
ความสูงของสายอากาศที่หักงอ ( $w_b$ )	20
ความกว้างสายอากาศไดโพล ( $w_d$ )	1
ระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลและเส้น พาราซิติค ( $w_c$ )	1.25
ความสูงของช่วงติดไอซีซีป ( $w_s$ )	4
ความยาวของแผ่น FR4 ( $l$ )	78
ความยาวของสายอากาศที่หักงอด้านล่าง ( $l_a$ )	9
ความกว้างส่วนปลายสายอากาศ ( $l_d$ )	8.7
ความยาวของเส้นพาราซิติค ( $l_{dd}$ )	68

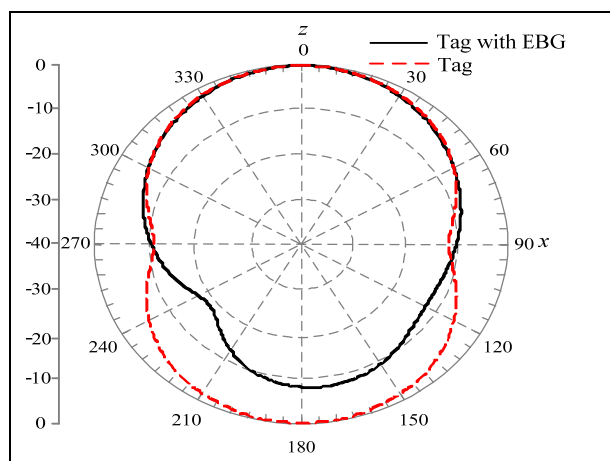
ตารางที่ 4.4 ขนาดของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
ความยาวของสายอากาศที่หักงอด้านบน ( $L_c$ )	16.3
ความยาวของช่วงติดไอซีซีป ( $L_s$ )	3
ช่องติดไอซีซีป ( $s$ )	2

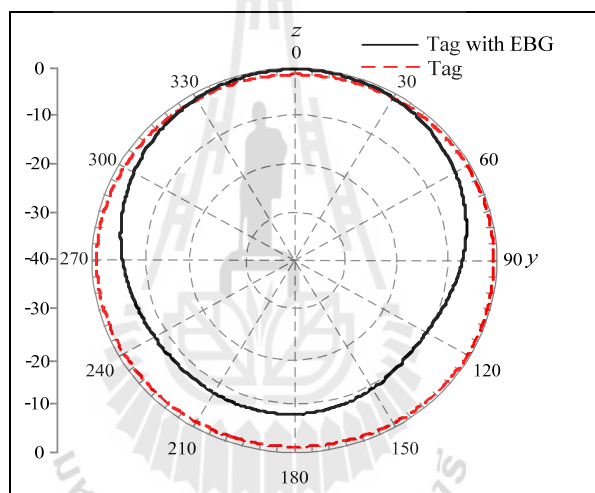


รูปที่ 4.28 ค่า  $S_{11}$  ของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 มิลลิเมตร

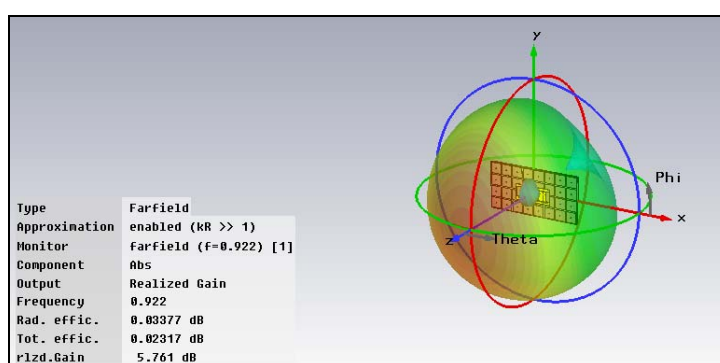
จากรูปที่ 4.28 แสดงค่า  $S_{11}$  เมื่อพิจารณาค่าที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ประมาณ 920-925 MHz ซึ่งเป็นความถี่ปฏิบัติการ



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



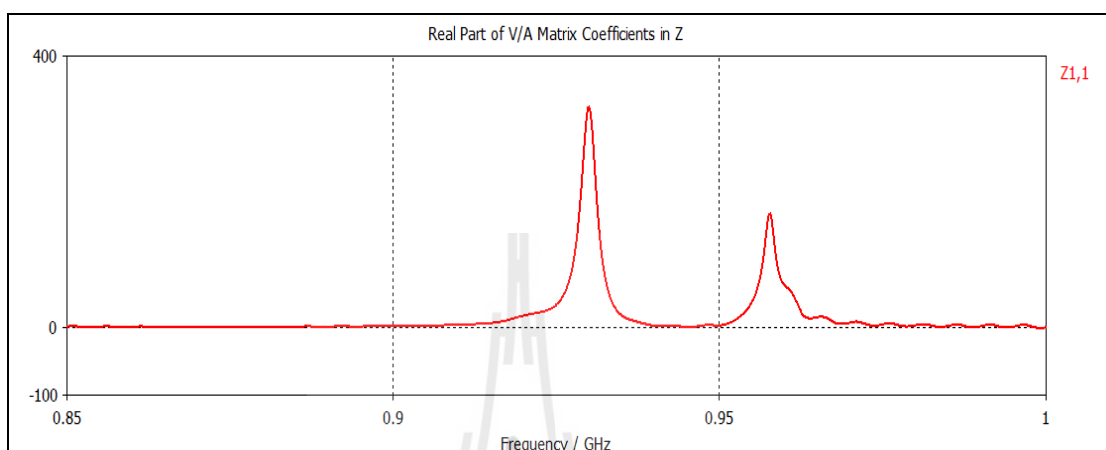
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก



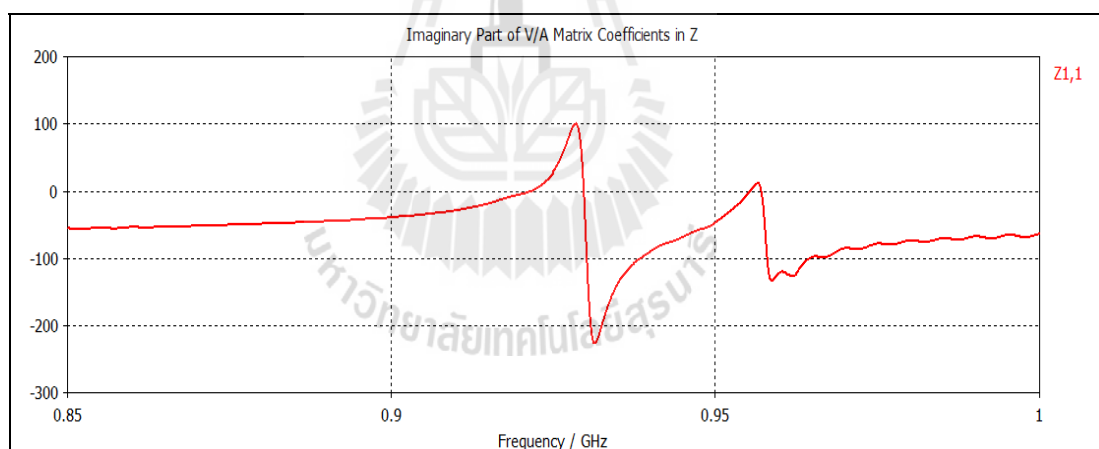
(ค) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.29 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด  $8 \times 4$  อิลิเมนต์  
ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก

รูปที่ 4.29 (ก) และ (ข) แสดงผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด  $8 \times 4$  อิลิเมนต์ ที่ความถี่ 920-925 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งาน จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของแท่งมีโลบหลังลดลงและมีอัตราขยาย 5.76 dB ดังรูปที่ 4.29 (ค)

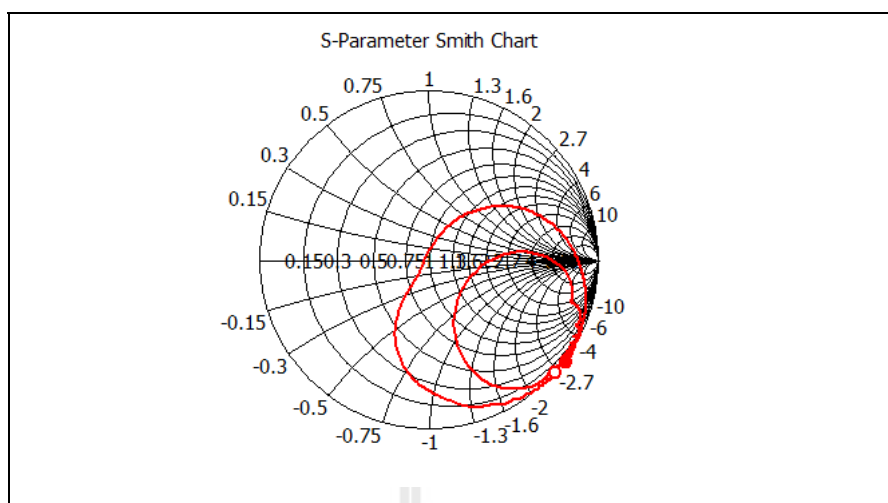


(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



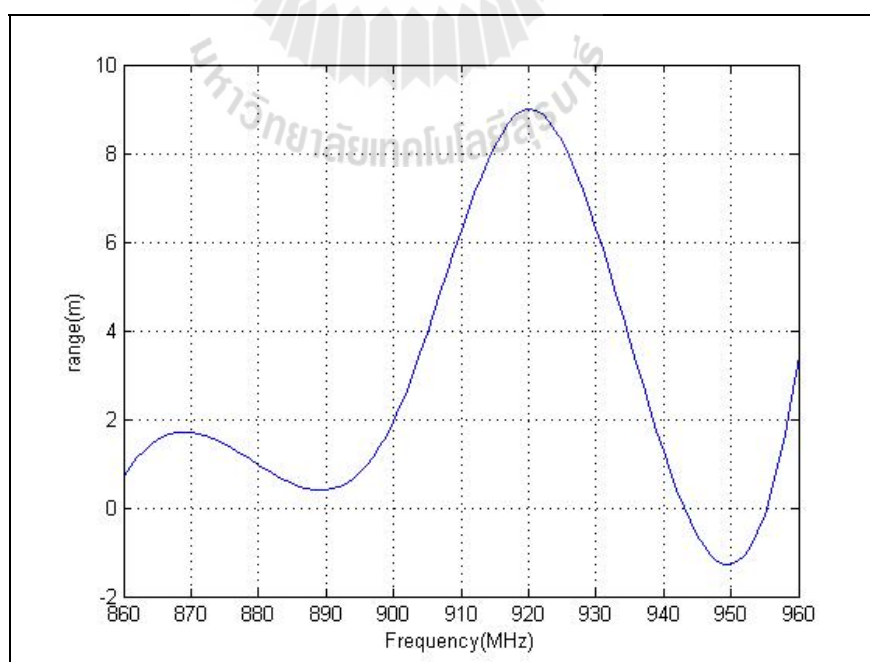
(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.30 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของแท่งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า



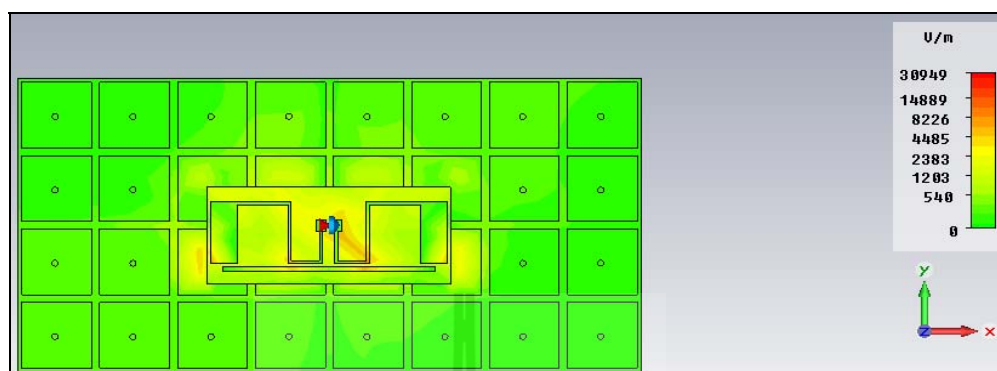
รูปที่ 4.31 Smith chart ของแท่งบับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.30 (ก) เป็นค่าความต้านทานของสายอากาศที่ความถี่ 920-925 MHz ได้ประมาณ 20  $\Omega$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 920-925 MHz ได้ประมาณ 0  $\Omega$  ดังรูปที่ 4.30 (ข) ซึ่งแสดงว่าสายอากาศแมตซ์กับไอซีซีปแล้วตาม Smith char ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.32 ระยะเวลาอ่านของแท่งบับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

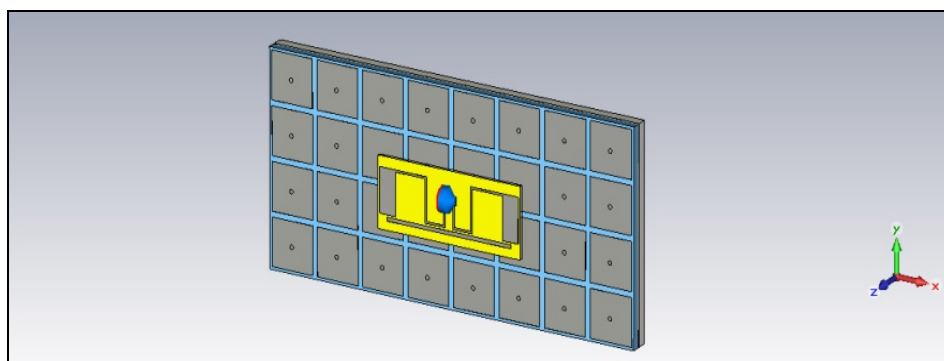
จากรูปที่ 4.32 แสดงผลระยะการอ่านที่ความถี่ 860-960 MHz พบว่าที่ความถี่ 922 MHz สามารถอ่านได้ประมาณ 8.9 เมตรซึ่งเป็นระยะที่วัดได้สูงสุด คำนวณมาจากสมการ (4.5)



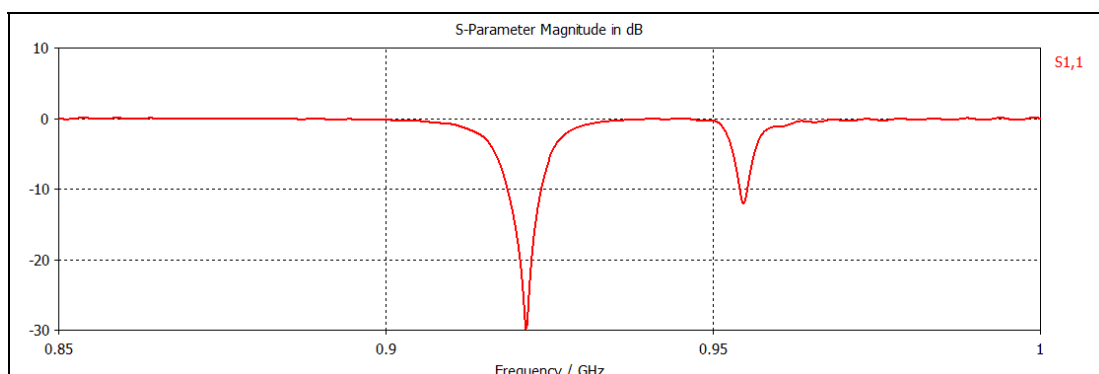
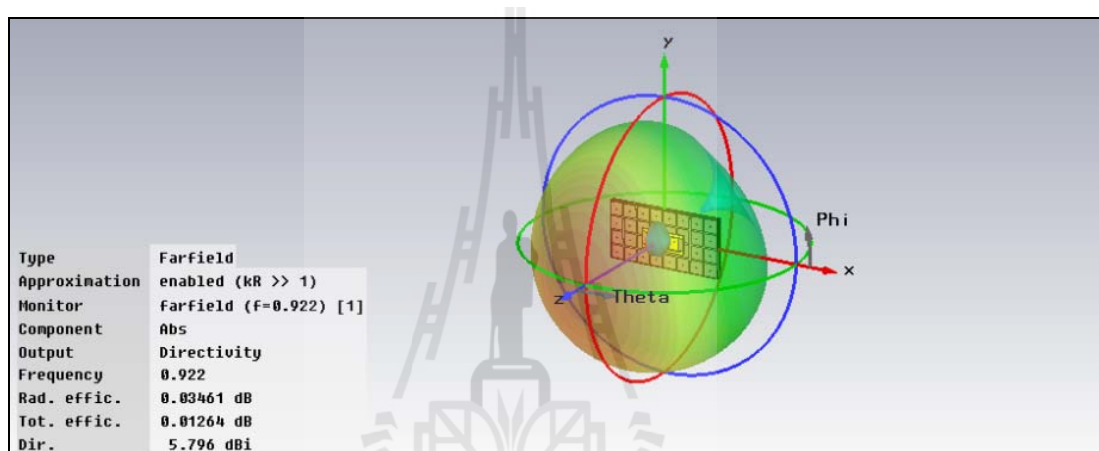
รูปที่ 4.33 สนามระยะใกล้บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก

ผลจากการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กที่สามารถนำมาพิจารณาสนามระยะใกล้ (near-field) ที่เกิดบริเวณผิวของแผ่นตัวนำในรูปของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 922 MHz ดังรูปที่ 4.33 พบว่ามีค่าของสนามไฟฟ้าเป็น 29.7 A/m ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถป้องกันไม่ให้สนามไฟฟ้าวัดไหลไปข้างหลังตัวแท็กได้

เมื่อได้ขนาดของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแล้วเราจะทำการจำลองผลเมื่อนำไปวางบนวัสดุทำจากโลหะด้วยโปรแกรม CST Microwave studio



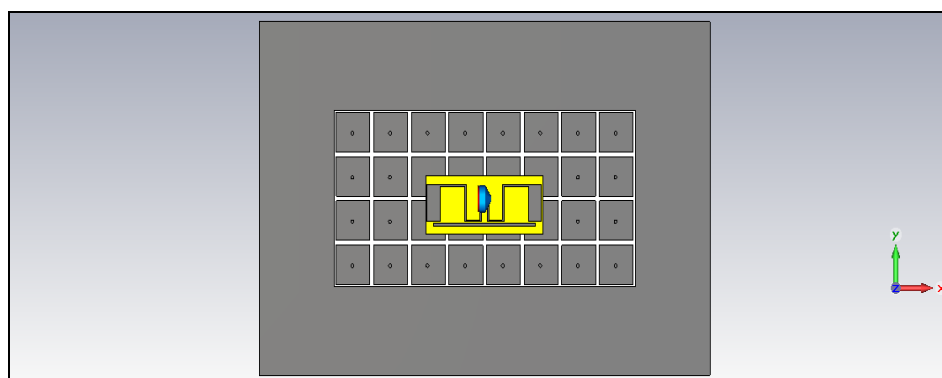
รูปที่ 4.34 แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด 18 x 9 เซนติเมตร

(ก) ค่า  $S_{11}$ 

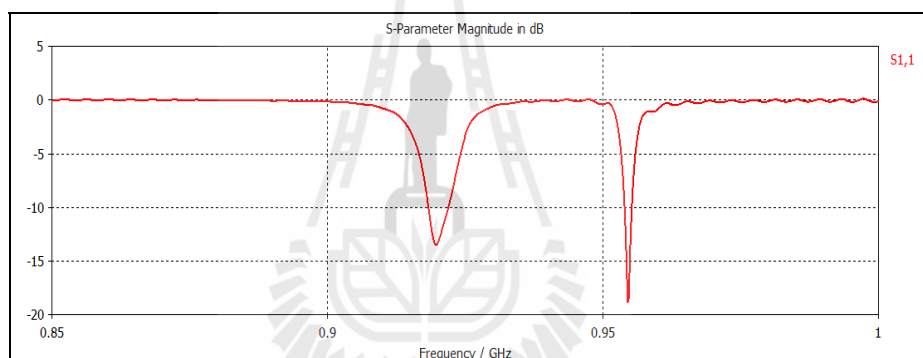
(ข) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.35 ผลการจำลองแก็ทร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด  $18 \times 9$  เซนติเมตร

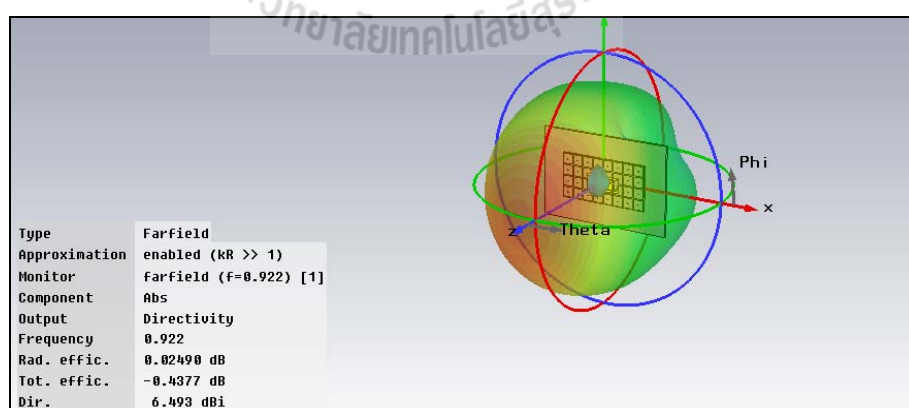
จากรูปที่ 4.35 (ข) เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กขนาด  $8 \times 4$  มิลลิเมตรวางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด  $18 \times 9$  เซนติเมตร ที่ความถี่ 920-925 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งานและมีค่าอัตราขยาย 5.7 dB ส่วนรูปที่ 4.35 (ก) จะเป็นค่า  $S_{11}$  ซึ่งจะเห็นว่าสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 920-925 MHz



รูปที่ 4.36 แท้ที่รวมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด 40 x 40 เซนติเมตร



(ก) ค่า  $S_{11}$



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.37 ผลการจำแท้ที่รวมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด 40 x 40 เซนติเมตร



จากรูปที่ 4.37 (ข) เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กขนาด  $8 \times 4$  อิลิเมนต์วางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด  $40 \times 40$  เซนติเมตร ที่ความถี่ 920 - 925 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งานและมีค่าอัตราขยายประมาณ 6.4 dB ส่วนรูปที่ 4.37 (ก) จะเป็นค่า  $S_{11}$  ซึ่งจะเห็นว่าสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 920-925 MHz

ตารางที่ 4.5 ผลการจำลองแบบต่าง ๆ

การจำลองแบบ	อัตราขยาย (dB)	
	อาร์เอฟไอดีแท็กแบบไดโพล	อาร์เอฟไอดีแท็กไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนอากาศว่าง	2.75	5.7
บนแผ่นโลหะ ขนาด $18 \times 9$ เซนติเมตร	-	5.7
บนแผ่นโลหะ ขนาด $40 \times 40$ เซนติเมตร	-	6.5

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการจำลองแบบต่าง ๆ จะเห็นว่าแท็กแบบไดโพลที่ใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะให้อัตราขยายที่สูงขึ้น

#### 4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้างของสายอากาศไดโพล และสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยการจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave Studio พบว่าสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า มีข้อดีคือ อัตราขยายเพียงพอสำหรับตัวอ่านข้อมูลของระบบ อาร์เอฟไอดี มีความกว้างลำคลื่นกำลังที่กว้างเพียงพอ และครอบคลุมความถี่ปฏิบัติการตั้งแต่ 920-925 MHz ในการใช้เป็นอาร์เอฟไอดีแท็กสำหรับเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี เพื่อให้สามารถใช้งานบนวัสดุที่ทำจากโลหะได้

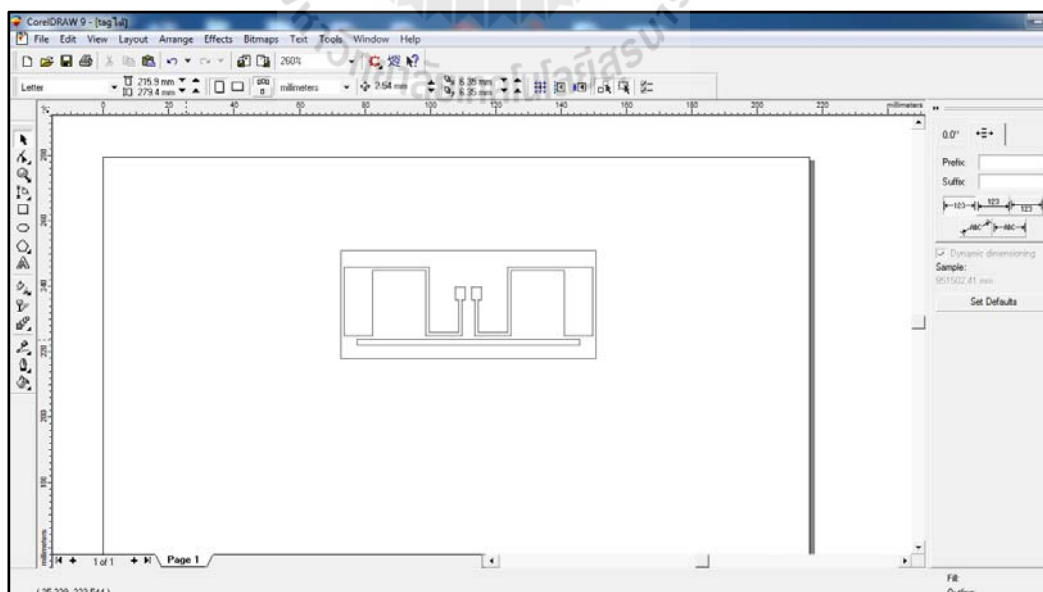
## บทที่ 5

### การทดสอบและวิเคราะห์ผล

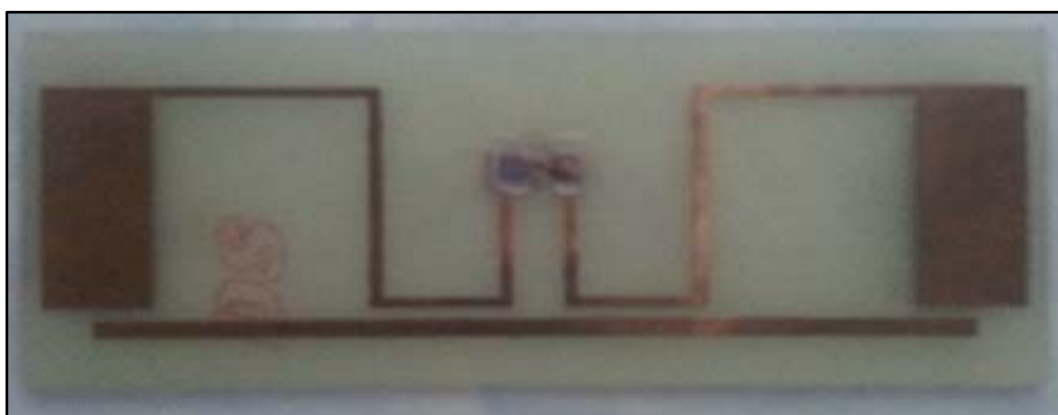
จากทฤษฎีและหลักการทั้งหมด ตลอดจนการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศไดโพล บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 และ 4 ดังนั้นในบทที่ 5 นี้จะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบขึ้น จากนั้นทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ จากเครื่อง RFID Reader สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

#### 5.1 วิธีการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 เมื่อได้ขนาดของสายอากาศตามที่ต้องการแล้ว ตามที่แสดงได้ดังตารางที่ 5.1 และนำไปวาดและตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม Corel DRAW 9 ดังรูปที่ 5.1 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ โดยใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 ในการสร้างชิ้นงาน โดยรูปที่ 5.2 จะแสดงชิ้นงานอาร์เอฟไอดีแท็ก ต้นแบบ



รูปที่ 5.1 อาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบวาดบนโปรแกรม Corel DRAW



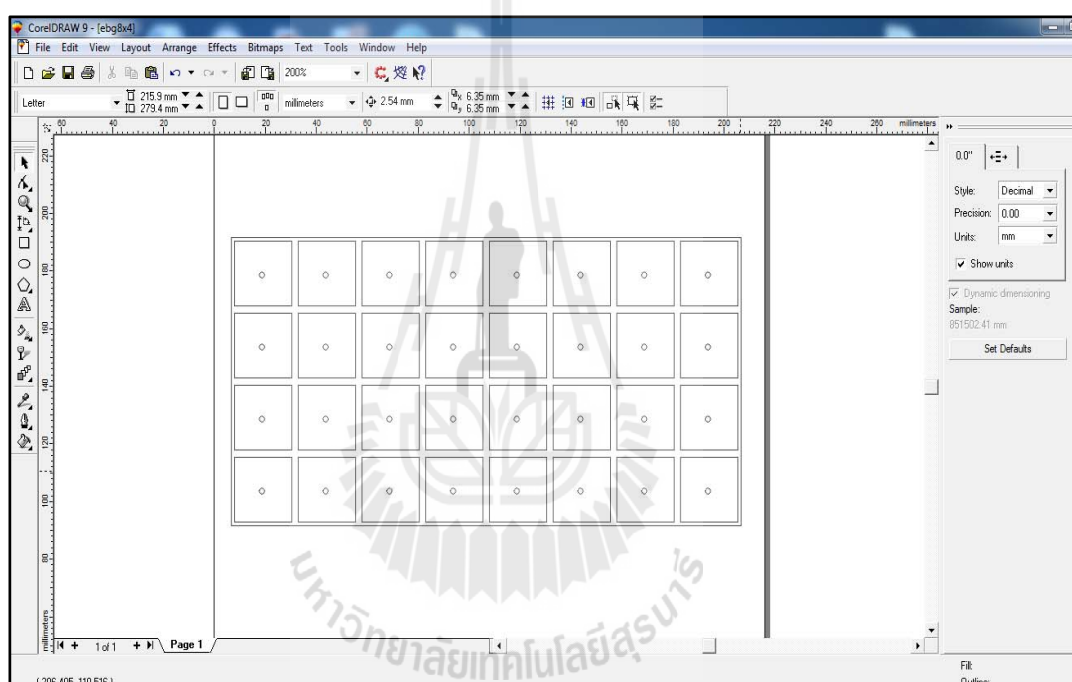
รูปที่ 5.2 อาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร )
ความกว้างของแผ่น FR4 ( $w$ )	33
ความกว้างของเส้นพาราซิติค ( $w_a$ )	1.75
ความสูงของสายอากาศที่หักงอ ( $w_b$ )	20
ความกว้างสายอากาศไดโพล ( $w_d$ )	1
ระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลและเส้น พาราซิติค ( $w_c$ )	1.25
ความสูงของช่วงติดไอซีชิป ( $w_s$ )	4
ความยาวของแผ่น FR4 ( $l$ )	78
ความยาวของสายอากาศที่หักงอด้านล่าง ( $l_a$ )	9
ความกว้างส่วนปลายสายอากาศ ( $l_d$ )	8.7
ความยาวของเส้นพาราซิติค ( $l_{dd}$ )	68
ความยาวของสายอากาศที่หักงอด้านบน ( $l_c$ )	16.3
ความยาวของช่วงติดไอซีชิป ( $l_s$ )	3
ช่องติดไอซีชิป ( $s$ )	2

## 5.2 วิธีการสร้างและวัดทดสอบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ

เมื่อเราได้สร้างอาร์เอฟไอดีเท็กต้นแบบแล้ว ต่อมาเราจะทำการสร้างชิ้นงานช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยนำโครงสร้างของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าไปวาดและตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม Corel DRAW 9 ดังรูปที่ 5.3 ด้วยขนาดที่แสดงในตารางที่ 5.2 โดยใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 จากนั้นเจาะรูตรงการของแต่ละแพตช์เพื่อทำการเชื่อมแพตช์กับกราวด์ด้วยลวดเส้นเล็ก โดยรูปที่ 5.4แสดงแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว



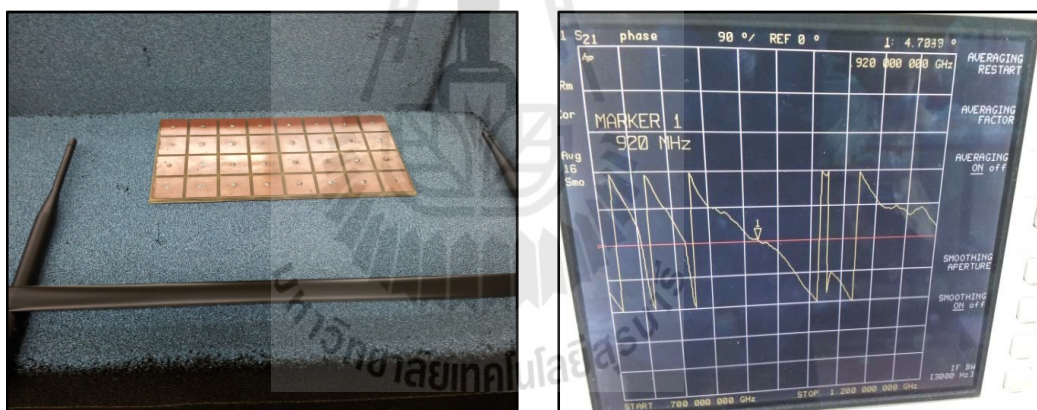
รูปที่ 5.3 โปรแกรม Corel DRAW กำหนดการตัดแผ่น PCB

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ

หมายเลข	พารามิเตอร์		
	ส่วนประกอบ	ขนาด (มิลลิเมตร)	ชนิด
1	ความกว้างของแผ่นตัวนำ (w)	22.5	ทองแดง
2	ความสูงของวัสดุฐานรอง (t)	3.2	ทองแดง
3	รัศมีของเส้นลวด (r)	2	ทองแดง
4	ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g)	2	



รูปที่ 5.4 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ



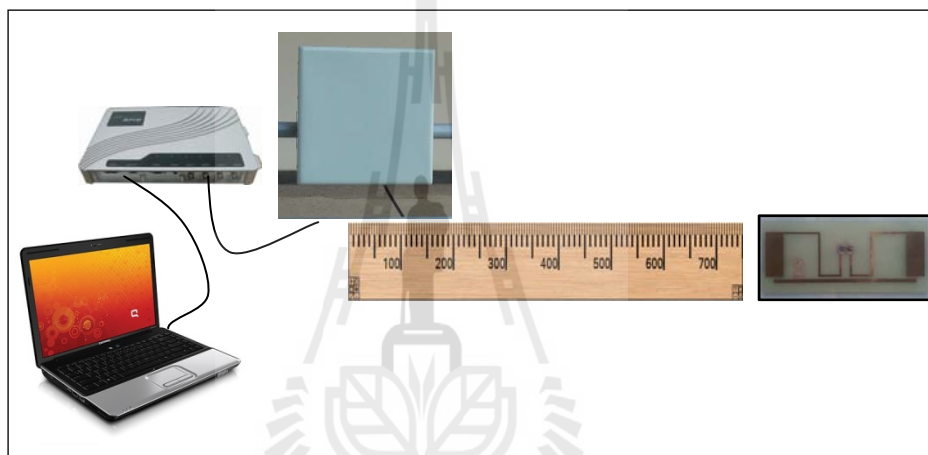
รูปที่ 5.5 ผลวัดเฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ

จากรูปที่ 5.5 แสดงผลการวัดเฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ จะเห็นว่าค่าเฟสสะท้อนที่ได้ประมาณ 4.7 องศา ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองผล ตลอดจนผลที่เกิดจากการวัดทดสอบในสภาพจริง

เมื่อสร้างชิ้นงานอาร์เอฟไอดีแท็กและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการวัดระยะการอ่านของแท็กในรูปแบบต่าง ๆ

### 5.3 การวัดทดสอบระยะการอ่านอาร์เอฟไอดีแท็ก

เมื่อสร้างชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานที่ได้มาวัดระยะการอ่านในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Anechoic Microwave Chamber) ดังรูปที่ 5.7 โดยติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งประกอบด้วย สายอากาศ เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี และเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดงผล ถ้าเครื่องอ่านสามารถอ่านได้จะแสดงบนหน้าจอดังรูปที่ 5.9 หลังจากนั้นนำแท็กถอยออกจากสายอากาศของเครื่องอ่านจนกว่าเครื่องอ่านเริ่มอ่านไม่ได้บันทึกระยะ ทำการวัด 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย



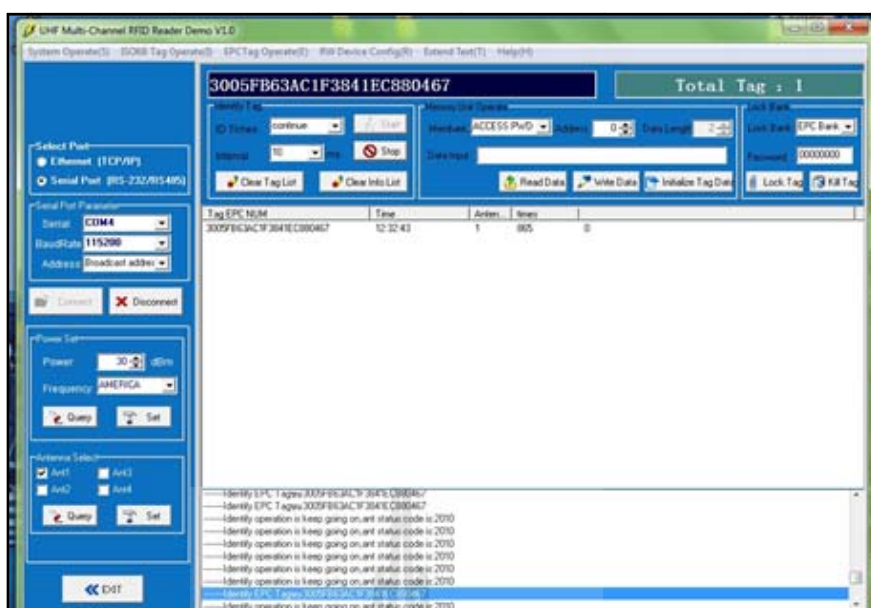
รูปที่ 5.6 การวัดระยะการอ่าน



รูปที่ 5.7 ห้องไร้อากาศของคลื่น



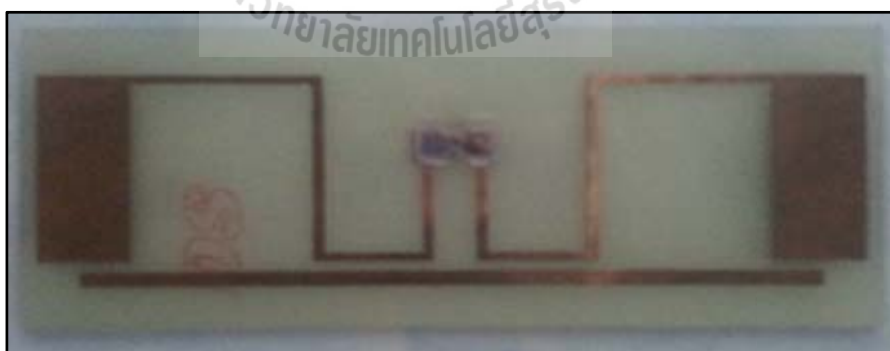
รูปที่ 5.8 Reader และ Notebook



รูปที่ 5.9 โปรแกรมอ่านค่าแท็ก

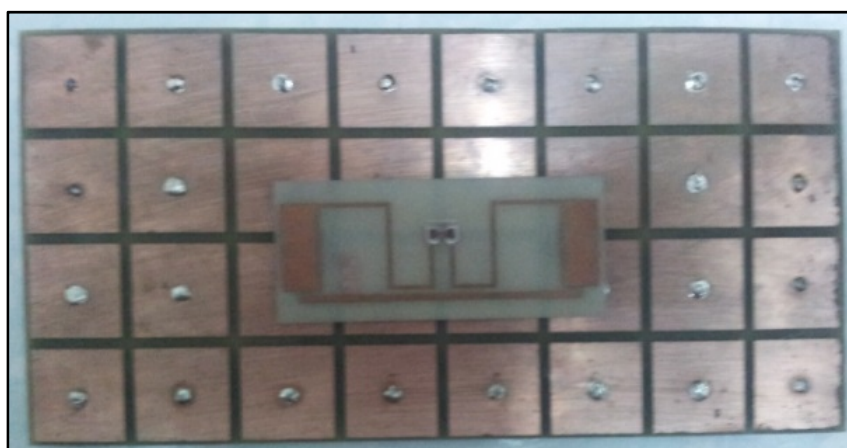
### 5.3.1 การวัดระยะการอ่านแท็กบนอากาศว่าง

ทำการวัดระยะเปรียบเทียบระหว่างแท็กแบบไดโพลและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าตามรูปที่ 5.10 และ 5.11 ตามลำดับ โดยทำการวัดระยะการอ่านตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ข้างต้น และทำการบันทึกผลวัดระยะการอ่านที่วัดได้ในตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.10 อาร์เอฟไอดีแท็กแบบไดโพล





รูปที่ 5.11 สายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 5.3 ค่าการวัดระยะการอ่านแท็กบนอากาศว่าง

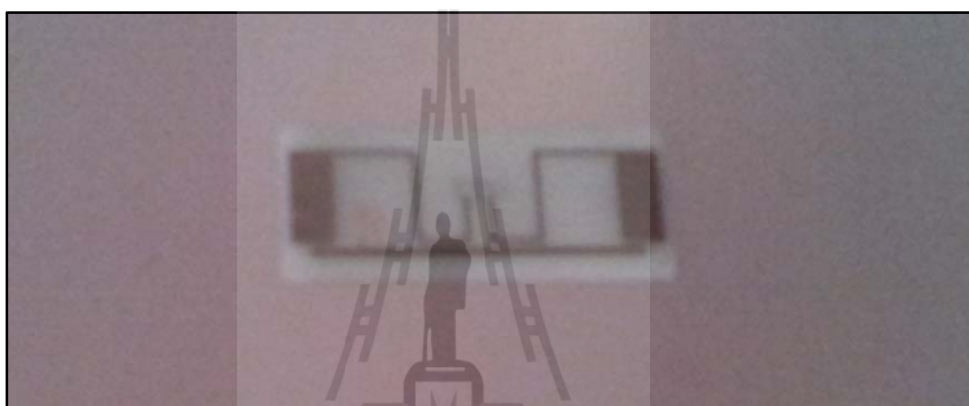
จำนวนครั้งการวัด	ระยะการอ่าน (เมตร)	
	แท็กแบบไดโพล	แท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
1	6.05	8.50
2	6.04	8.55
3	6.08	8.60
4	6.08	8.50
5	6.04	8.55
เฉลี่ย	6.07	8.54

จากตารางที่ 5.3 พบว่าแท็กแบบไดโพลจะมีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6.07 เมตรและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 8.54 เมตรซึ่งจะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างแท็กแบบไดโพลและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนอากาศว่างแล้วจะเห็นว่าแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีระยะการอ่านที่ไกลกว่าซึ่งมีผลใกล้เคียงกับแบบจำลองที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ตามสมการ (5.1)

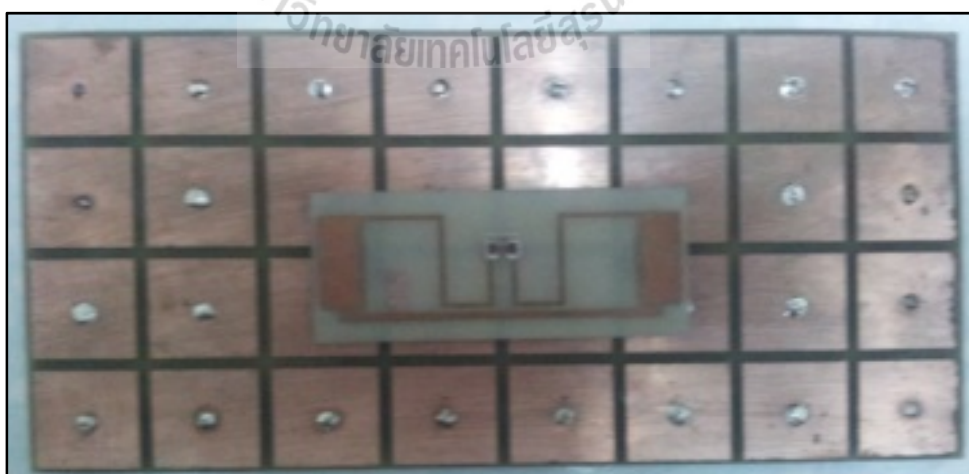
$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_R}{P_T} \cdot G_R G_T} \quad (5.1)$$

### 5.3.2 การวัดระยะการอ่านอาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะ

ต่อมาจะทำการวัดระยะการอ่านบนแผ่นโลหะ โดยจะทำการวัดบนแผ่นโลหะสองขนาด คือ ขนาด 18 x9 เซนติเมตรและขนาด 40 x40 เซนติเมตรตามลำดับทำการวัดระยะการอ่านตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ข้างต้น และทำการบันทึกผลวัดระยะการอ่านลงในตารางที่ 5.4



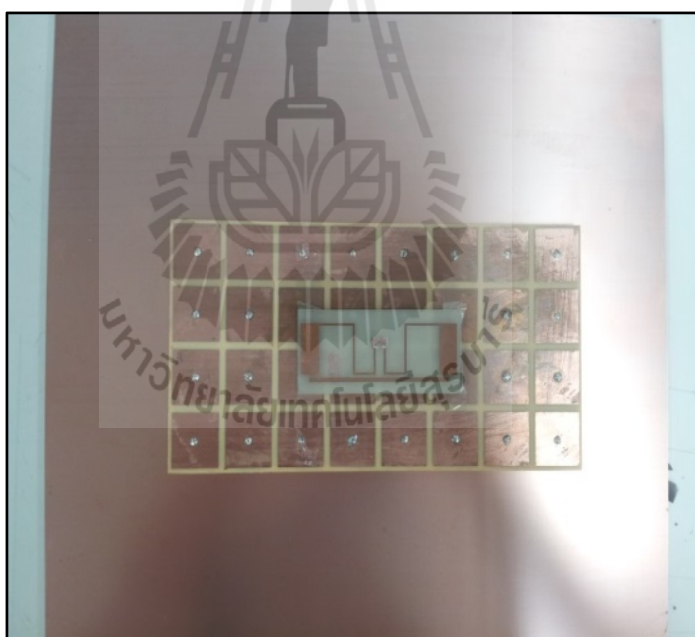
รูปที่ 5.12 อาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะขนาด 18 x 9 เซนติเมตร



รูปที่ 5.13 อาร์เอฟไอดีแท็กพร้อมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนแผ่นโลหะขนาด 18 x 9 เซนติเมตร



รูปที่ 5.14 อาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะขนาด 40 x 40 เซนติเมตร



รูปที่ 5.15 อาร์เอฟไอดีแท็กพร้อมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนแผ่นโลหะขนาด 40 x 40 เซนติเมตร

ตารางที่ 5.4 การวัดระยะการอ่านบนแผ่นโลหะ

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน		
	แท็กแบบไดโพลบนโลหะ	แท็กไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนโลหะ ขนาด 18 x 9 เซนติเมตร	แท็กไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนโลหะ ขนาด 40 x 40 เซนติเมตร
1	0	8.70	8.80
2	0	8.65	8.75
3	0	8.55	8.55
4	0	8.55	8.65
5	0	8.60	8.65
เฉลี่ย	0	8.61	8.68

จากตารางที่ 5.4 พบว่าแท็กแบบไดโพลบนแผ่นโลหะจะมีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0 เมตรและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนโลหะขนาด 18 x 9 และ 40 x 40 มีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 8.61 เมตร และ 8.68 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อนำแท็กแบบไดโพลไปใช้งานบนวัสดุโลหะจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าได้ ส่วนแท็กไดโพลที่ใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถใช้งานได้ตามปกติ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

### 5.3.3 การวัดระยะการอ่านของแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะทำการวัดระยะการอ่านแท็กไดโพลบนวัสดุที่เป็นผิวน้ำและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่เป็นผิวน้ำ โดยทำการวัดตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และบันทึกค่าลงในตารางที่ 5.4



รูปที่ 5.16 สายอากาศไดโพลแท่งบนวัสดุที่บรรจุน้ำ



รูปที่ 5.17 สายอากาศไดโพลแท่งร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่บรรจุน้ำ

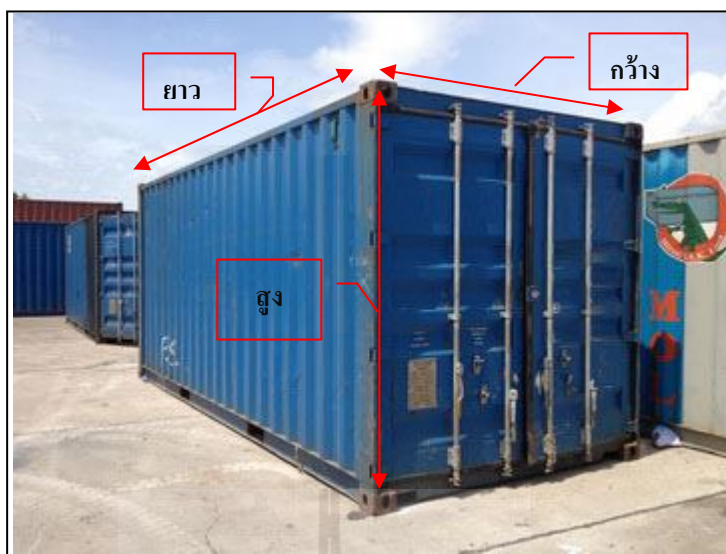
ตารางที่ 5.5 การวัดระยะการอ่านแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน (เมตร)	
	แท็กแบบไดโพลบนวัสดุที่บรรจุน้ำ	แท็กไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่บรรจุน้ำ
1	0	8.60
2	0	8.50
3	0	8.55
4	0	8.65
5	0	8.55
เฉลี่ย	0	8.57

จากตารางที่ 5.5 พบว่าแท็กแบบไดโพลบนวัสดุที่บรรจุน้ำไม่สามารถวัดระยะการอ่านแท็กได้และแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่บรรจุน้ำมีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 8.57 เมตรซึ่งจะเห็นว่า เมื่อนำแท็กไดโพลไปใช้งานบนวัสดุที่บรรจุน้ำจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าได้ ส่วนแท็กไดโพลที่ใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถใช้งานได้ตามปกติซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

#### 5.4 จำลองการทดสอบเมื่อนำแท็กติดตั้งที่ตู้คอนเทนเนอร์

โดยขั้นตอนนี้จะทำการจำลองแบบการวัด โดยกำหนดให้วางตู้คอนเทนเนอร์ซ้อนกัน 3 ชั้น และทำการวัดระยะการอ่าน ซึ่งจะจำลองขนาดจากตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาดมาตรฐาน 20 ฟุต ซึ่งมีความกว้าง 2.44 เมตร ความสูง 2.6 เมตร ความยาว 6.06 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.18 ในงานวิจัยนี้จะใช้แผ่นทองแดงแทนผนังของตู้คอนเทนเนอร์ โดยจะวัดที่ความสูงสามระดับตามความสูงของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชั้น ตู้แรกจะวัดที่ความสูง 2.5 เมตรจากพื้น ตู้ที่สองจะวัดที่ความสูง 5.1 จากพื้น และตู้ที่สามจะวัดที่ความสูงจากพื้น 7.7 เมตร โดยจะทำการวัดทดสอบเป็นสองขั้นตอนได้แก่ วัดทดสอบแท็กที่ใช้บน โลหะทั่วไปยี่ห้อ Confidex Survivor และวัดทดสอบแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ



รูปที่ 5.18 ตู้คอนเทนเนอร์

#### 5.4.1 วัสดุทดสอบแท็กที่ใช้บนโลหะทั่วไป

โดยแท็กที่จะนำมาวัดทดสอบเปรียบเทียบ คือ Confidex Survivor ซึ่งจะแสดงข้อมูลใน ภาคผนวก โดยจะทำการวัดระยะที่ความสูง 3 ระดับและติดตั้งสายอากาศของเครื่องอ่านที่ระดับความสูง 5.1 เมตร ซึ่งจะสูงเท่ากับระยะการติดแท็กที่ตู้คอนเทนเนอร์ตู้ที่สองดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ข) วัดที่ความสูง 7.7 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ค) และวัดที่ความสูง 2.5 เมตรดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ก) ตามลำดับ ทำการวัดทดสอบห้าครั้ง โดยจะทำการวัดระยะการอ่านของแท็กในแนวระดับแล้วหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าระยะการอ่านดังตารางที่ 5.6



(ก) การวัดแท็ก Confidex Survivor ที่ความสูง 2.5 เมตร



(ข) การวัดแท็ก Confidex Survivor ที่ความสูง 5.1 เมตร

รูปที่ 5.19 การวัดแท็ก Confidex Survivor





(ค) การวัดแท็ก Confidex Survivor ที่ความสูง 7.7 เมตร

รูปที่ 5.19 การวัดแท็ก Confidex Survivor (ต่อ)

ตารางที่ 5.6 การวัดแท็ก Confidex Survivor

จำนวน ครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน (เมตร)		
	ความสูง 2.5 เมตร	ความสูง 5.1 เมตร	ความสูง 7.7 เมตร
1	6.01	7.79	6.00
2	6.05	7.80	6.05
3	6.01	7.88	6.05
4	6.01	7.78	6.03
5	6.05	7.78	6.05
เฉลี่ย	6.03	7.81	6.04

จากตารางที่ 5.6 จะพบว่าแท็ก Confidex Survivor ที่ความสูง 5.1 เมตร วัดระยะการอ่านได้ 7.81 เมตร ที่ความสูง 7.7 เมตร วัดระยะการอ่านได้ 6.03 เมตร และที่ความสูง 2.5 เมตร วัดระยะการอ่านได้ 6.04 เมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าถ้าเราต้องการให้แท็กสามารถอ่านค่าได้ที่ความสูงทั้งสามระดับพร้อมกันเราจำเป็นต้องติดตั้งแท็กห่างจากเครื่องอ่านเป็นระยะประมาณ 6.03 เมตร ขั้นตอนต่อมาเราจะทำการวัดระยะการอ่านของแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อวัดเปรียบเทียบผล

#### 5.4.2 วัดทดสอบแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ขั้นตอนนี้จะทำการวัดระยะอ่านของแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับความสูงต่าง ๆ โดยติดตั้งให้สายอากาศเครื่องอ่านสูง 5.1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.20 ทำการวัดทดสอบห้าครั้ง โดยจะทำการวัดระยะการอ่านของแท็กในแนวระดับแล้วหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าระยะการอ่านดังตารางที่ 5.7



(ก) แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความสูง 2.5 เมตร

รูปที่ 5.20 การวัดระยะอ่านของแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า



(ข) แท้กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความสูง 5.1 เมตร



(ค) แท้กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความสูง 7.7 เมตร

รูปที่ 5.20 การวัดระยะอ่านของแท้กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

ตารางที่ 5.7 การวัดแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน (เมตร)		
	ความสูง 2.5 เมตร	ความสูง 5.1 เมตร	ความสูง 7.7 เมตร
1	6.03	8.05	6.04
2	6.05	8.03	6.05
3	6.03	8.01	6.05
4	6.01	8.06	6.03
5	6.05	8.05	6.04
เฉลี่ย	6.03	8.04	6.04

จากตารางที่ 5.7 จะพบว่าแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความสูง 5.1 เมตร วัดระยะการอ่านได้ 8.04 เมตรที่ความสูง 7.7 เมตรวัดระยะการอ่านได้ 6.04 เมตรและที่ความสูง 2.5 เมตรวัดระยะการอ่านได้ 6.03 เมตรตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าถ้าเราต้องการให้แท็กสามารถอ่านค่าได้ที่ความสูงทั้งสามระดับพร้อมกันเราจำเป็นต้องติดตั้งแท็กห่างจากเครื่องอ่านเป็นระยะประมาณ 6.03 เมตรการวัดทดสอบผล ค่าระยะการอ่านของแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีค่าระยะการอ่านที่ใกล้เคียงกับแท็ก Confidex Survivor ดังแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 การวัดแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าและแท็ก Confidex Survivor

ความสูงของการติดตั้งแท็ก (เมตร)	ระยะการอ่าน (เมตร)	
	แท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า	แท็ก Confidex Survivor
2.5	6.03	6.03
5.1	8.04	7.81
7.7	6.03	6.04

## 5.5 สรุป

ในบทนี้แสดงการสร้าง และการวัดทดสอบคุณลักษณะคุณสมบัติของสายอากาศ ไดโพลแท่ง และสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบ และการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการวัดทดสอบได้แก่ การวัดระยะการอ่านซึ่งจากผลการวัดแสดงให้เห็นว่าสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าว่าสามารถใช้งานบนวัสดุที่ทำมาจากโลหะได้



## บทที่ 6

### สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก จะมีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทางด้วยการวางสายอากาศไดโพล บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสายอากาศจะมีลักษณะของการกระจายคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการ สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์นี้ได้จะทำการศึกษาโครงสร้างของสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า จากการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ทั้งสององค์ประกอบมีความถี่ปฏิบัติการที่ตรงกันคือ 920-925 MHz สำหรับการประยุกต์ใช้เป็นอาร์เอฟไอดีแท็ก เพื่อให้สามารถใช้งานบนวัสดุที่เป็นโลหะได้ดี

สำหรับการออกแบบสายอากาศไดโพลต้นแบบในวิทยานิพนธ์นี้ ในเบื้องต้นได้ออกแบบหาสายอากาศไดโพล โดยการ โดยเริ่มจากการหาความยาวของสายอากาศ คือให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเท่ากับ  $21.3 + j191.7 \Omega$  ซึ่งจะเป็นสังยุคของไอซีซีปคือ  $21.3 - j191.7 \Omega$  เพื่อให้สายอากาศแมตซ์กับไอซีซีปที่ความถี่ 920-925 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่สำหรับเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในประเทศไทย จากนั้นนำสายอากาศไดโพลมาวางในแนวระนาบบนแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้สายอากาศสตริปไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีรูปแบบการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง จะส่งผลให้สายอากาศมีอัตราขยายสูง โดยได้เลือกใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการจำลองแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศสตริปไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าก่อน สำหรับรายละเอียดในการออกแบบและวิเคราะห์ทั้งหมดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 ซึ่งเป็นการสรุปคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศไดโพลแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และเมื่อพิจารณาจากความต้องการที่จะนำไปใช้งานของเทคโนโลยี RFID ที่ตั้งเป้าหมายไว้ นั่น เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio และจากการวัดทดสอบมาเปรียบเทียบกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 6.1 ระยะการอ่านของแท็กแบบต่าง ๆ

ลักษณะการใช้งาน	ระยะการอ่าน (เมตร)	
	อาร์เอฟไอดีแท็กแบบไดโพล	อาร์เอฟไอดีแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนอากาศว่าง	6.07	8.54
บนแผ่นโลหะขนาด $18 \times 9$ เซนติเมตร	0	8.61
บนแผ่นโลหะขนาด $40 \times 40$ เซนติเมตร	0	8.68
บนวัสดุที่บรรจุน้ำ	0	8.57

## 6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากบทที่ 5 จะเห็นว่าเมื่อนำสายอากาศไดโพลมาวางบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแล้วจะทำให้มีความหนาแน่นของสนามมาก แนวทางการแก้ไขคือปรับขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กลง

## 6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

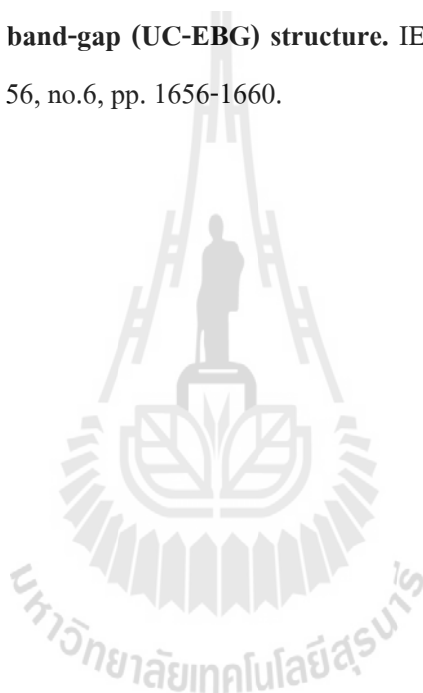
สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก สามารถทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ของแท็กพร้อมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ทำการลดขนาดของแท็กและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กลง

## รายการอ้างอิง

- รังสรรค์ วงศ์สรรค์ (2555). **วิศวกรรมสายอากาศ**. ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. 546 น.
- Azad, M.Z. and Ali, M. (2008). **Novel wideband directional dipole antenna on a mushroom like EBG structure**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 56, pp. 1242-1250.
- Balanis, Constantine A. (1989). **Advanced engineering electromagnetics**. John Wiley & Sons, New York.
- Bo Gao and Matthew M. F. Yuen. (2011) **Passive UHF RFID packaging with electromagnetic band gap (EBG) material for metallic objects tracking**. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 1, no. 8, pp. 1140-1146.
- Band Kyeong-Sik Min, Gun-Do Park, and Chul-Keun Park (2007) **design for the miniaturized RFID Tag antenna in 910 MHz band**. IEEE Region 10 Conference, pp. 1-4
- Cho, H.-G.; Labadie, N.R.; Sharma, S.K (2010). **Design of an embedded-feed type microstrip patch antenna for UHF radio frequency identification tag on metallic objects**. Microwaves, Antennas & Propagation, IET, vol. 4, no. 9, pp. 1232-1239.
- Genovesi S. and Monorchio A., (2010) **Low-profile three-arm folded dipole antenna for uhf band rfid tags mountable on metallic objects**. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 9, pp. 1225-1228.
- Lin, K.-H., Chen, S.L., Mitra, R (2010). **A capacitively coupling multifeed slot antenna for metallic RFID tag design**. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 9, pp. 447-450.
- Lingfei Mo and Chunfang Qin. (2010) **planar UHF RFID Tag antenna With open stub feed for metallic objects**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 58, pp. 3037-3043.
- Rahul Bhattacharyya, Christian Floerkemeier, and Sanjay Sarma. (2010) **Low Cost, Ubiquitous RFID Tag Antenna Based Sensing**. SPECIAL ISSUE OF IEEE PROCEEDINGS.



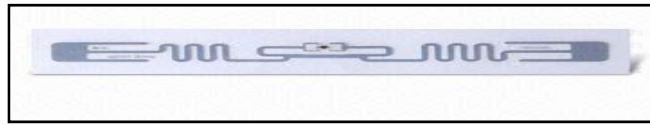
- Sung-Lin Chen and Ken-Huang Lin (2009). A slim **RFID tag antenna design for metallic object applications**. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 7, pp. 729-732.
- Wongsiritorn, P., Phongcharoenpanich, C., Torrungrueng, D., Krairiksh, M. (2009). **UHF-RFID tag antenna design using dipole with parasitic lines**. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009. ECTI-CON 2009. 6th International Conference on , vol.02, pp. 794-797.
- Zheng, Qiu-Rong, Fu, Yun-Qi and Yuan, Nai-Chang (2008). **A novel compact uni-planar electromagnetic band-gap (UC-EBG) structure**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 56, no.6, pp. 1656-1660.



ภาคผนวก ก

เครื่องอ่านและไอซีชิป





Reader introduce: **RFID Fixed reader MR 6134A**

MR6134A is base on generation 1 (MR6034A) product improved generation 2 RFID reader, This reader compatible many protocol, separate type design, connect with 4 antenna, fast reading, multi tag identify, Industry protection grade design etc. This reader are widely use in various RFID system, reference application as below:


- Logistics and warehouse Management: Goods flow, warehouse management, and the flowing management of mail, parcel, luggage.
- Intelligent parking Management :Parking management and automatic charge
- Productive lines Management: Production process fixed Identify
- Product counterfeit-proof inspection: Using memory's write-protect functions inside tags, and identifying with true-false of products
- Other fields: Used widely in club management, library, student's school, consumption management, time management, dinner management, pool management

Reader characteristic:

- Special Anti collision algorithm, high efficient of multi-tag identify capability;
- Four separate transmit/receive antenna to make more wide of area in the application;
- Compatible ISO18000-6B and ISO18000-6C(EPC-GEN2) protocol standard;
- Read/Write tag capability : read 5-8m, write is 60% of read reading (depend on different tag)
- Reader support multi tag identify, single tag read, tag write, lock, and Kill tag etc.

Model No.	MR 6134A
Standard Compliance	ISO18000-6B, ISO18000-6C (EPC GEN2)
Frequency Range	Standard ISM 902~928MHz or ISM 865~868MHz option (other frequency depend on customer request)
Operation Mode	(FHSS)
RF Power	0~30dBm, software configurable
Communication Interface	Standard RS232, RJ45 (TCP/IP), RS485
Output Port	4 Tem OUTPORT (can control output high/low level)
Reading Range	Depends on antenna gain connect 12dBi antenna, the reading distance above 8 m
Signal	BUZZER and LED
Antenna	One ~ Four Antennas, TNC connector
Power Supply	DC+ 9V(Supply AC/DC power adapter)
Dimension	310mm × 210mm × 40mm
Weight	2 Kg
Operation Temperature	-20 ℃~ + 80 ℃

IC Chip ที่นำมาใช้คือ UCODE G2XL เป็น IC Chip ที่ทำงานในช่วงย่านความถี่ UHF



## UCODE G2XM UCODE G2XL

# Ultra high frequency smart label ICs

UCODE G2XM and UCODE G2XL are specifically tailored to the requirements of passive intelligent tags and labels. Conforming to the EPCglobal Class1 Gen2 standard, the devices address application areas which demand long operating distances and high anti-collision rates, such as supply chain management and logistics.

**General Description**

The devices show unsurpassed UHF performance over the entire UHF bandwidth, reliable operation in dense reader environment and long read ranges. UCODE G2X feature an extended 240 bit EPC number and a 64 bit tag identifier, including a 32 bit unique serial number.

UCODE G2XM and UCODE G2XL provide a unique custom command set, such as Electronic Article Surveillance (EAS) for increased theft protection, Read Protect which prevents unauthorized chip memory access and Calibrate, which makes it easier to optimize the reader to tag communication. All custom commands are 32 bit access password protected.

**Benefits**


- ▶ Long read range due to high chip sensitivity
- ▶ Ease of tag assembly due to high chip input capacitance
- ▶ Consistent performance on different materials
- ▶ Reliable operation in multi-reader environment
- ▶ Theft protection through EAS feature
- ▶ Prevention of unauthorized memory access due to read protection
- ▶ Wide temperature range: -40°C up to +85°C
- ▶ Global use from 840 up to 960MHz

**Applications**

- ▶ Supply chain management
- ▶ Asset tracking
- ▶ Pallet and case tracking
- ▶ Container identification
- ▶ Item level tagging

**Key Features**

- ▶ EPCglobal C1G2 1.0.9 certified, compliant to EPCglobal C1G2 1.1.0
- ▶ 512-bit on-chip user memory (available on UCODE G2XM)
- ▶ 240-bit EPC number
- ▶ 64-bit tag identifier, including 32-bit unique serial number
- ▶ EAS (electronic article surveillance) custom command
- ▶ Read Protect custom command
- ▶ Calibrate custom command
- ▶ 32-bit access password, 32-bit kill password
- ▶ Fast data rate:
  - Forward link: 40 - 160 kbits/s
  - Return link: 40 - 640 kbits/s
- ▶ Multi-label operation
  - Europe: 600 tags/s
  - US: 1600 tags/s



founded by Philips

### Standards Compliance

UCODE G2XM and UCODE G2XL are certified according to EPCglobal Class1 Generation2 Version1.0.9 and conform to EPCglobal Class1 Generation2 Version1.1.0.



### Frequency Band

Symbol	Description	Min	Max	Unit
UHF	Frequency Band	840	960	MHz

### Electrical Parameter

Description	Typ. value	Unit
Input chip capacitance	0.9	pF
Quality factor	9	
Minimum operating power	- 15	dBm
Interference signal suppression*	- 4	dB

\* Modulated jammer, offset to carrier frequency > 1.0 MHz

### Ordering information

Part	Ordering number	Delivery type description
UCODE G2XM	SL3ICS1002FUG/V7AF	Bumped and sawn wafer on foil frame carrier (8 inch)
	SL3S1002FTT	SMD package: TSSOP8
	SL3FCS1002FC	Flip chip package: Polymer strap
UCODE G2XL	SL3ICS1202FUG/V7AF	Bumped and sawn wafer on foil frame carrier (8 inch)
	SL3S1202FTT	SMD package: TSSOP8
	SL3FCS1202FC	Flip chip package: Polymer strap



Jan-10

1 (7)



# PRODUCT DATASHEET

**Confidex Survivor™**

## CONTENTS

1. PRODUCT DESCRIPTION .....	2
1.1 SPECIFICATION DATA .....	2
1.2 DIMENSIONS .....	2
1.3 ELECTRICAL PERFORMANCE .....	3
1.4 RADIATION PATTERNS .....	3
1.5 RESISTANCE AGAINST ENVIRONMENTAL CONDITIONS* .....	4
1.6 SUPPORTING COMPONENTS .....	4
1.7 SUPPORTED SERVICES .....	5
1.8 POSSIBLE APPLICATIONS .....	5
2. INSTALLATION INSTRUCTIONS .....	5
2.1 TAG PLACEMENT .....	5
2.2 TAG FIXING METHODS .....	5
3. ORDER INFORMATION .....	7

Jan-10

2 (7)



## 1. PRODUCT DESCRIPTION

The Confidex Survivor™ Class 1 Gen2 UHF hard tag has been especially designed for excellent performance in the goods transportation industry. The Survivor offers the best performance-to-cost ratio and applicability in the market. Its features form a clever combination for industrial and logistics applications from local to global operations.

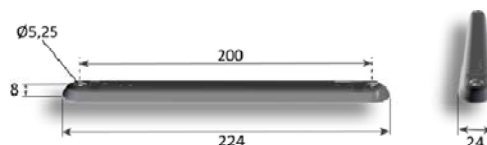
Survivor is an all-purpose tag; it functions as well on metal as on plastic, wooden or any surface materials. Being the first encapsulated EPC Class 1 Gen2 UHF hard tag in the market in early 2006, Survivor has been the safe tag choice for various applications. Since its launch as Confidex's first tag product, Survivor has been used in various roll cage and other container applications. Confidex Survivor™ is also used to track large valuable items and vehicles, including construction parts and steel pipes, as well as trucks in the petrochemical industry.

### 1.1 SPECIFICATION DATA

Device type	Class 1 Generation 2 passive UHF RFID transponder
Air interface protocol	EPCGlobal Class1 Gen2 ISO 18000-6C
Operational frequency	885-869 MHz (EU), 902-928MHz (US), 952-955 MHz (JPN)
IC options	NXP UCODE G2XM
EPC memory	up to 240 bit (G2XM)
EPC memory content	Unique number encoded as a default
Extended memory	512 bit (G2XM)
Read range	up to 8-12 m (26-39 ft) with reader power 2W ERP (dependent on application)
Applicable surface materials	Any surfaces, incl. metal, plastic and wood
Encapsulation material	PC/ABS
Color	Dark grey
Weight	25 g
Delivery format	Single
Amount in box	250 pcs (default)
Product is RoHS compliant	

### 1.2 DIMENSIONS

General dimensions (Width x Height x Thickness) 224 x 24 x 8 mm / 8.8 x 0.94 x 0.31 in



Confidex Ltd.

Haarilankatu 1B, 33230 Tampere, Finland

Tel. +358 (0)10 4244 100

Fax. +358 (0)10 4244 110

www.confidex.fi



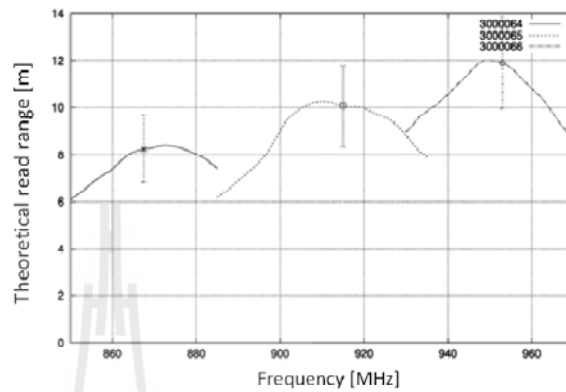
Jan-10

3 (7)



1.3 ELECTRICAL PERFORMANCE

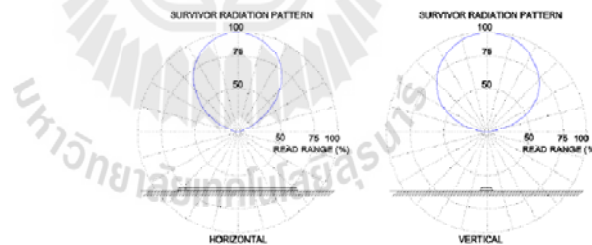
Survivor NXP G2XM



\* Read ranges are theoretical values that are calculated for non-reflective environment, in where antennas with optimum directivity are used with maximum allowed operating power according to ETSI EN 302 208 (2W ERP). Variation of 3σ from test batch marked in the picture. Note, tag performance in other frequency bands is not marked in the picture; tag will remain functional but the performance is low.

1.4 RADIATION PATTERNS

Estimated radiation pattern when tag orientation towards reader antenna is optimized.



Jan-10

4 (7)



### 1.5 RESISTANCE AGAINST ENVIRONMENTAL CONDITIONS\*

Typically values are valid for all tag versions. If not, applicable IC versions are marked

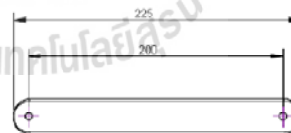
<b>Operating temperature</b>	-35°C to +85°C / -31°F to +185°F
<b>Ambient temperature</b>	-35°C to +85°C / -31°F to +185°F @ -35°C / -31°F 16h duration
<b>IP classification</b>	IP67: - Complete protection against dust - Protection against temporary immersion in water
<b>Weather ability</b>	Good, incl. UV-resistance and sea water
<b>Vibration resistance</b>	Good: - According to JESD22-B103B, service condition 2; vibration that is aligned with tag thickness (z-axis).
<b>Chemical resistance</b>	No physical or performance changes in: - Salt water (salinity 10%, tested in 168h exposure) - NaOH (10%, pH 13, tested in 24h exposure). Note, tag's metal background laminate may corrode. - Sulfuric acid (10%, pH 2, tested in 168h exposure). Note, tag's metal background laminate may loosen. - Motor oil (tested in 168h exposure) Generally good resistance against moderate concentrations of acids, alcohols, alkalis, detergents and cleaners. Acetone should be avoided.
<b>Expected lifetime</b>	Years in normal operating conditions

\* Values in the table are the best recommendations; resistance against environmental conditions depends on the combination of all influencing factors, exposure duration and chemical concentrations. Thus, product's final suitability for certain environmental conditions is recommended to be tested. Contact Confidex for more specific information.

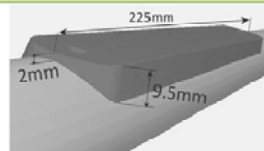
### 1.6 SUPPORTING COMPONENTS

#### Survivor concave part

<b>Purpose</b>	To fix Survivor on curved parts, e.g. tubes or roll cage's curved metal frames
<b>Advantages</b>	Eases up the tag fixing, brings additional mechanical support for the tag by filling up the gap in between the tag and curved background
<b>Dimensions</b>	225 x 25 mm / 8.86 x 0.98 in



#### Mechanical pictures



Concave part



Concave part with the tag

#### Material

PC/ABS

Jan-10

5 (7)



<b>Delivery format</b>	Single, as a separate part from the tag. Screws not supplied with the part.
------------------------	---

### 1.7 SUPPORTED SERVICES

There are several personalization options available for Confidex Survivor™ in order to “fine tune” the tag to match with the application requirements:

- Pre-encoding
- Customized data label
- Laser engraving
- Tamper (color) printing

For exact specifications, please refer “Personalization Datasheet”.

### 1.8 POSSIBLE APPLICATIONS

<b>Metal</b>	Metal containers, roll containers, industrial and retail metal RTI's in general
<b>Plastic</b>	Plastic RTI's, also water and chemical containers
<b>Wood</b>	Wooden transit items
<b>Any material types</b>	

## 2. INSTALLATION INSTRUCTIONS

### 2.1 TAG PLACEMENT

Survivor tag polarization is aligned with the Confidex text. Tag front side is marked with “Confidex” text, in order to get maximum performance don't cover this front side. Survivor can be used on any type of materials, including metal, plastic and wood.



### 2.2 TAG FIXING METHODS

#### Mechanical fixing

Mechanical fixing ensures the best and most reliable grip in various use conditions. It's recommended to be used in every application that includes risk for high mechanical stress or low temperature during tag fixing. Survivor tag can be attached mechanically with:

- Cable ties (metal or plastic)
- Screws (size M5)
- Pop rivets (size 4.8 mm)

Jan-10

6 (7)



**Procedure:** When fixing the tag with screw or rivets, drill two holes on the surface 200mm apart from each other and fix the tag.

#### Adhesive fixing

- Silicone sealants

Silicone sealant adhesives like Dow Corning AS 7096 provide very high bond strength and resistance against mechanical stress. Usually, fixing must be done indoors in room temperature and in 50% humidity. Total curing time can be several days.

**Procedure:** When fixing the tag with sealant adhesive, insert a layer of sealant under the tag and press the tag on the surface. Increase the bond by adding extra sealant from the tag holes.

**Survivor tag is not sensitive to silicone sealant thickness under or on the sides of the tag.** Please refer silicone sealant supplier for exact product specifications.

#### Additional fixing tools

- Concave part

Additional concave part can be used when Survivor should be attached on curved surface, such as small pipes and metal profiles with round cross section (diameter approx. 34mm). With the concave part, tag attachment is easy and during the use the concave will give even better mechanical structure for the tag.

**Procedure:** Concave part and Survivor will be combined during the tag fixing. Use the same mounting material as described earlier in the part Mechanical fixing. If using screws or rivets, drill two holes 200mm apart from each other on the item that is going to be tagged, insert the tag and concave part to the right place and fix them firmly on the surface.



Jan-10

7 (7)



### 3. ORDER INFORMATION

Product number	Product name
3000064	Survivor ETSI G2XM
3000065	Survivor FCC G2XM
3000066	Survivor JPN G2XM
3000030	Survivor concave part

For additional information and technical support contact Confidex Ltd.

#### FINLAND

Confidex Oy Ltd.  
Haarlinkatu 1, 33230 Tampere, Finland  
Tel. +358 10 4244 100 Fax. +358 10 4244 110  
contact@confidex.fi www.confidex.fi

#### USA

Confidex Inc.  
1502 Fair Weather Ct., Apex, NC 27523, USA  
Tel. +1 919 349 5607 fax +1 810 958 0515  
www.confidex.net

#### CHINA

Confidex China  
Guangzhou XinTag Electronics Science and Technology Co. Ltd  
3 F Section E Guangzhou Technology Innovation Base  
No. 80 Lan Yue Road, Science City, PRC 510663 Guangzhou,  
People's Republic of China  
Tel. +86 20 3205 7361 fax +86 20 3205 1429  
www.confidex.net.cn

#### DISCLAIMER

THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES ARE SOLD SUBJECT TO ITS STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE INCLUDED IN THE APPLICABLE DISTRIBUTOR OR OTHER SALES AGREEMENT. ALTHOUGH ANY INFORMATION, RECOMMENDATIONS, OR ADVICE CONTAINED HEREIN IS GIVEN IN GOOD FAITH, CONFIDEX MAKES NO WARRANTY OR GUARANTEE, EXPRESS OR IMPLIED, (i) THAT THE RESULTS DESCRIBED HEREIN WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (ii) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN INCORPORATING ITS PRODUCTS, MATERIALS, SERVICES, RECOMMENDATIONS OR ADVICE. EXCEPT AS PROVIDED IN CONFIDEX STANDARD CONDITIONS OF SALE, CONFIDEX AND ITS REPRESENTATIVES SHALL IN NO EVENT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS OR SERVICES DESCRIBED HEREIN.

Each user bears full responsibility for making its own determination as to the suitability of Confidex products, materials, services, recommendations, or advice for its own particular use. Each user must identify and perform all tests and analyses necessary to assure that its finished systems incorporating Confidex products, materials, or services will be safe and suitable for use under end-use conditions.

Nothing in this or any other document, nor any oral recommendation or advice, shall be deemed to alter, vary, supersede, or waive any provision of this Disclaimer, unless any such modification is specifically agreed to in a writing signed by Confidex.

Confidex Ltd.

Haarlinkatu 10, 33230 Tampere, Finland

Tel. +358 (0)10 4244 100

Fax. +358 (0)10 4244 110

www.confidex.fi

ภาคผนวก ข

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



## รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Phatra, C., Krachodnok, P., Wongsan, R. (2012). **Design of a RFID tag using dipole antenna with electromagnetic band gap.** The 9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2012), 16-18 May 2012, Thailand, 4 p.



# Design of a RFID Tag using Dipole Antenna with Electromagnetic Band Gap

C. PHATRA, P. KRACHODNOK and R. WONGSAN  
 School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering  
 Suranaree University of Technology  
 111 University Avenue, Muang District, Nakhon Ratchasima, 30000  
 THAILAND  
 c\_phatra@msu.com, priam@sut.ac.th and rangsan@sut.ac.th

**Abstract**— Passive RFID is a promising technology for products tracking in logistics. However, the UHF RFID tag is greatly affected by backside goods especially metallic object. This paper describes the design of a dipole antenna with Electromagnetic Band Gap (EBG) for RFID tag, so that the tag could still work on metallic surface. The design of EBG material for UHF RFID is operated at 922 MHz and its reflection phase has an effect on the antenna characteristic.

**Keywords**- UHF RFID tag; EBG; metallic object

## I. INTRODUCTION

Development of Radio Frequency Identification (RFID) systems has increased rapidly in recent years. RFID can be used for example in identifying objects in warehousing, supply chain management, service logistics, control and other automation processes. RFID systems consist of radio frequency transponders (tags), radio frequency transceivers (readers) and a host computer. Tags that consist of an antenna and a microchip are attached to objects.

The antennas used for passive UHF RFID are usually dipole, folded dipole, and planar based antenna [1-2]. But the antenna is degraded by the backside objects. The dipole based UHF antenna even can't work when it is attached on metal because it is shorted by the metal ground plane, that the impedance have changed [3-4]. However, there are many products made by metal or other conductive material such as container. In order to make the passive UHF RFID tag for metallic objects tracking, a lot of research works have been conducted over the last decade and several types of RFID antennas are developed specially for metallic objects tracking [5-6].

This paper presents the design of a dipole antenna (see Fig. 1) with Electromagnetic Band Gap (EBG) for RFID tag. This tag includes an EBG substrate which is used to insulate antenna and a tag on it. The tags can be used on metallic objects and have higher gain.

## II. TAG ANTENNA DESIGN

For the maximum power transfer from the tag antenna ( $P_{tag-ant}$ ) to the IC chip ( $P_{tag-chip}$ ), the real part of tag antenna impedance ( $R_A$ ) must be equal to the real part of the IC chip impedance ( $R_T$ ), and the imaginary part of the tag antenna impedance ( $X_A$ ) must be added with the imaginary part of the

IC chip impedance ( $X_T$ ) to obtain null value (conjugate matching). This can be readily seen in the following:

$$P_{tag-chip} = \left[ 1 - \left| \frac{Z_T - Z_A}{Z_T + Z_A} \right|^2 \right] P_{tag-ant} \quad (1)$$

where  $Z_T = R_T + jX_T$  is the IC chip impedance and the tag antenna impedance is  $Z_A = R_A + jX_A$ . The impedance of the UCODE G2XL IC chip from the data sheet is approximately  $21.3 - j191.7 \Omega$  at the frequency of 922 MHz. Therefore, it aims to design the tag antenna such that its impedance is close to  $21.3 + j191.7 \Omega$ .

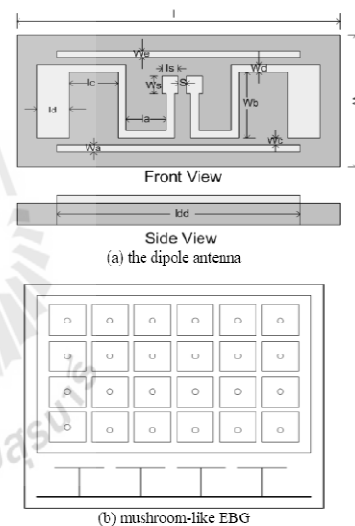


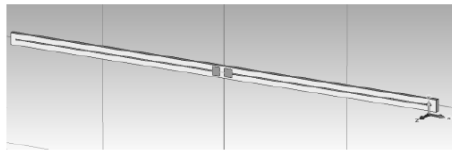
Figure 1. The proposed RFID tag structure.

For the first design, the dipole antenna in Fig. 2(a) is used because the structure is easy to design. It is designed on FR-4 substrate ( $\epsilon_r = 4.5$ , thickness = 1.6 mm). The gap between the radiating patch is fixed at 2 mm. Subsequently, the length of

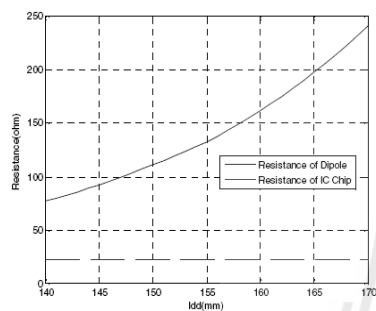


the conventional dipole antenna is varied to seek for the appropriated impedance where the length ( $l_0$ ) is 3 mm, and the width ( $W_s$ ) is fixed at 4 mm to match with the chip configuration adjust length of line since 140-170 mm.

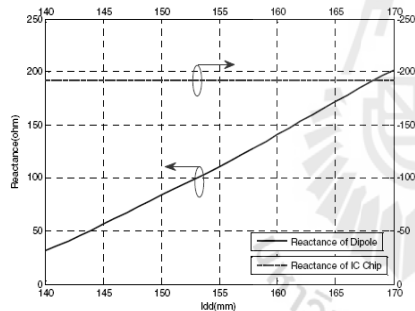
In Figs. 2(b) and (c), the impedance of the dipole antenna simulated by using CST varies with the dipole length. It has a length about 170 mm that the resonant antenna size is relatively large. Antenna miniaturization is thus required to keep pace with the small size of the tag, so it can be bent to a smaller antenna as show in Fig.3(a).



(a) The dipole antenna.



(b) Resistance



(c) Reactance

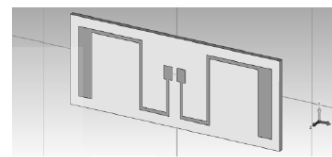
Figure 2. The impedance of dipole antenna for various lengths at 922.5 MHz.

The value is determined; the length of the line is to bend 170 mm with the line width of 1 mm and it is adjusting the width at the end of the antenna from 1-5 mm. In Fig. 3, the impedance of the bent ends of the dipole antenna obtains the opposite resistance and reactance of the IC chip. Therefore, parasitic lines are applied to adjust the resistance and reactance of the antenna as shown in Fig. 4. The impedance of IC chip and antenna are optimized at the parasitic line spacer about 1 mm from the dipole and the parasitic length are varied. The

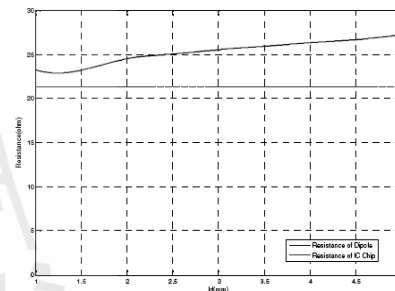
optimizing parameter of the proposed antenna is small in the Table I.

TABLE I. ANTENNA PARAMETERS

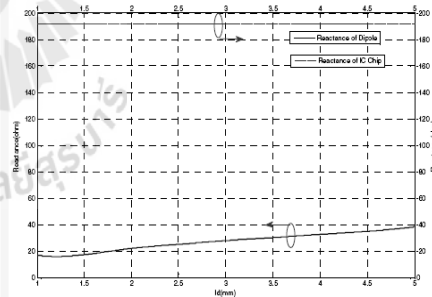
Parameters	Physical Size (mm)
W	30
Wa	1.5
Wb	20
Wd	1
We	1
Ws	4
We	1.75
l	78
la	9
ld	8.3
l <sub>dd</sub>	63
lc	18.3
ls	3
s	2



(a) The bent ends dipole antenna structure.

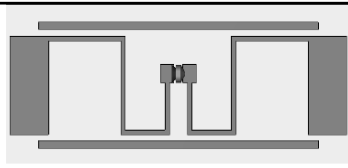


(b) Resistance

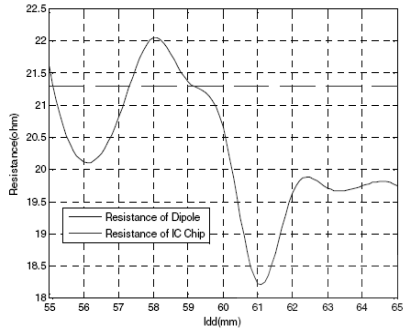


(c) Reactance

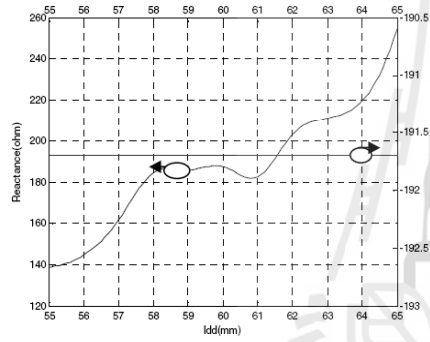
Figure 3. The impedance for adjusting the width of the bent ends.



(a) Proposed antenna structure



(b) Resistance



(c) Reactance

Figure 4. The impedance of the proposed tag antenna

The Fig. 5 have been shown the  $S_{11}$  (dB) of the tag antenna designed from simulated. The pattern of the tag antenna is the omni-directional beam in the H-plane that can be seen from Fig. 6, so it may be attached on the backside object. The tag has the gain of 2.2 dB by considered at the frequency band of 922 MHz, however, the low gain is affected to reduce the read range of RFID systems.

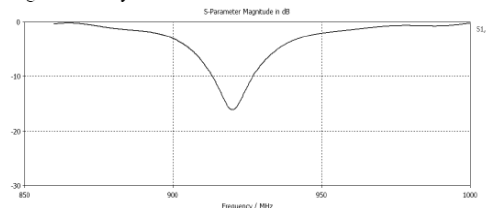
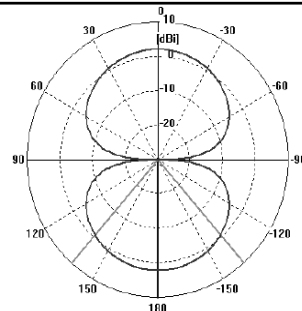
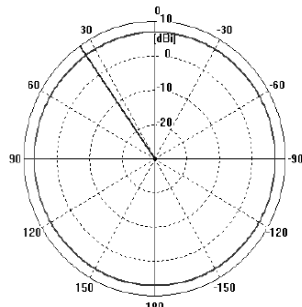


Figure 5. The  $S_{11}$  (dB) of RFID tag antenna



(a) E-plane



(b) H-plane

Figure 6. The radiation patterns of the tag antenna without EBG.

### III. TAG DIPOLE WITH EBG DESIGN

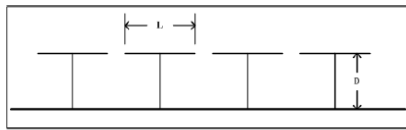
The objective of this tag antenna design is to obtain high communication performance with increasing the maximum read range and work on metallic object, so the EBG is designed to use a mushroom like. The frequency of an EBG material is determined by the equation below and the bandwidth of forbidden band is proportional to the ratio between inductance and capacitance.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2}$$

$$BW = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{3}$$

The phase of reflected electromagnetic wave from the EBG material varies continuously from  $-180^\circ$  to  $180^\circ$  with respect to the frequency. With this reflected phase, the dipole antenna can still work when positioned near the EBG material and the effects of EBG material are on the performance of the dipole antenna. From studied, the reflection phase characteristics of a mushroom-like EBG material have revealed that  $90^\circ \pm 45^\circ$ , so the reflection phase is suitable for a low profile antenna to obtain a good return loss and antenna gain. Therefore, this paper will design of a mushroom like EBG at 922 MHz that will be set according to the Table II

TABLE II. PARAMETERS OF EBG



No.	Parameters Unit cell		
	component	size	Typ
1	Top patch size (L)	16.5 mm.	PEC
2	Thickness (D)	3.2 mm.	PEC
3	Via diameter	1 mm.	PEC
4	gap size	1.5 mm.	
5	Dielectric constance		FR4

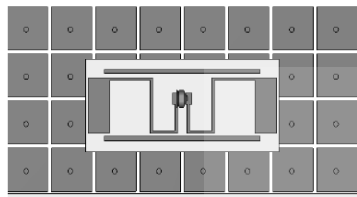


Figure. 7 The tag on EBG.

The simulation result is shown in Fig. 9, it is  $S_{11}$  of tag on EBG and a band of stop frequency from 910 to 950 MHz exists at about 922 MHz. This EBG material is effectively suppressed the surface waves and allowed the dipole antenna placed above it with a low profile.

Fig. 10 shows that the pattern of tag antenna on EBG material is directive and the peak is achieved about 6.9 dBi at 922 MHz. In this paper, prototype is 8 cells  $\times$  4 cells and the driven dimension is 80 mm  $\times$  40 mm, respectively.

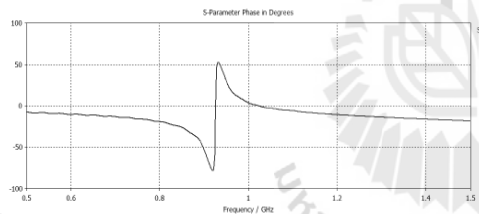


Figure. 8 The reflection phase of proposed EBG.

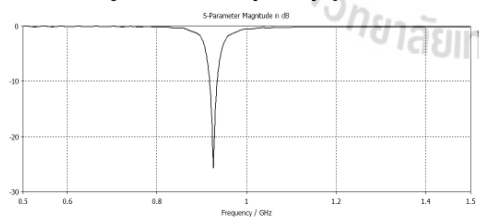
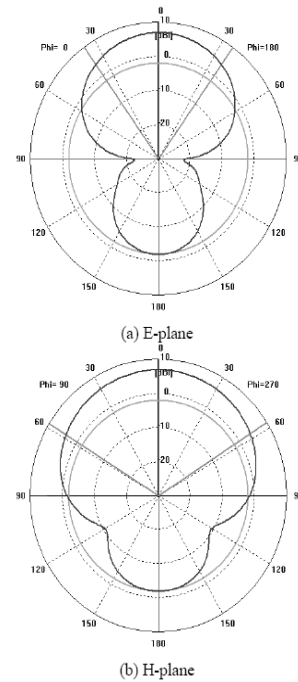
Figure. 9 Simulated  $S_{11}$  of tag on EBG.

Figure. 10 The radiation patterns of the tag antenna with EBG.

## V. CONCLUSION

The design of a dipole antenna with Electromagnetic Band Gap for RFID Tag is presented in this paper. This tag can be well used on metallic object. It is small size and low cost, furthermore, it has higher gain.

## REFERENCES

- [1] Y. Choi, U. Kim, J. Kim and J. Choi, "Design of modified folded dipole antenna for UHF RFID Tag," *Electronic Letters*, vol. 45, April 2009.
- [2] Rahul Bhattacharyya, Christian Floerkemeier, and Sanjay Sarma, "Low-Cost Ubiquitous RFID-Tag-Antenna-Based Sensing," *Proceedings of the IEEE*, vol. 98, pp. 1593–1600, September 2010.
- [3] Sung-Lin Chen, Ken-Huang Lin, and Raj Mittra, "A Measure Technique for Verifying the Match Condition of Assembled RFID Tags," *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, vol. 59, pp. 2123–2133, August 2010.
- [4] Daniel D. Deavours, "Improving the Near-Metal Performance of UHF RFID Tags," *IEEE RFID*, pp. 187–194, 2010.
- [5] Dong-Uk Sim, Dong-Ho Kim, Jae-Ick Choi, and Hyung-Do Choi, "Design of Novel Dipole-Type Tag Antennas using Electromagnetic Bandgap (EBG) Surface for Passive RFID Applications," *IEEE*, pp. 1333–1336, 2007.
- [6] Bo Gao and Matthew M. F. Yuen, "Passive UHF RFID Packaging with Electromagnetic Band Gap (EBG) Material for Metallic Objects Tracking," *IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY*, vol. 1, AUGUST 2011.

## ประวัติผู้เขียน

นายชวลิต เกตรา เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2529 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ และสำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2553 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีบทความตีพิมพ์ในขณะศึกษา 1 เรื่อง คือ

Design of a RFID tag using dipole antenna with electromagnetic band gap. The 9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2012), 16-18 May 2012, Thailand, 4 p.

