

รหัสโครงการ SUT7-709-54-12-11



รายงานการวิจัย

การออกแบบสายอากาศลำคลื่นกว้างโดยใช้สตริปไดโพลโค้งลัดวงจร
บนระนาบตัวสะท้อน
(Design of Broadbeam Antenna using a Shorted-End
Curved Strip Dipole on Conducting Plane)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การออกแบบสายอากาศลำคลื่นกว้างโดยใช้สตริปไดโพลโค้งลัดวงจร
บนระนาบตัวสะท้อน
(Design of Broadbeam Antenna using a Shorted-End
Curved Strip Dipole on Conducting Plane)

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระจอดนอก

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

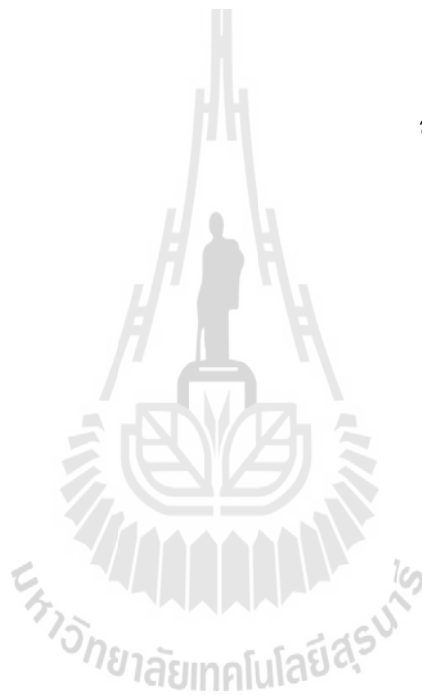
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2555

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการได้ และได้รับผลสำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
ทุกประการ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2554
สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ
แก่ผู้วิจัยเสมอมา

ปิยาภรณ์ กระจอกนอก



บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือ เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) ซึ่งใช้สำหรับการระบุเอกลักษณ์ของวัตถุ บอกรหัส ติดตามและตรวจสอบวัตถุ และสายอากาศถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอาร์เอฟไอดี ดังนั้นสายอากาศที่เป็นที่ต้องการของเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีคือสายอากาศที่มีอัตราขยายเชิงทิศทางที่เพียงพอ มีแบบรูปการแผ่พลังงานครอบคลุมพื้นที่ให้บริการอย่างครบถ้วน นอกจากนี้สายอากาศยังต้องมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและราคาถูกราคาถูกอีกด้วย สายอากาศไดโพลมีคุณสมบัติที่ดีบางประการคือ โครงสร้างสามารถดัดแปลงง่ายและหลากหลาย แต่มีข้อเสียคือให้อัตราขยายเชิงทิศทาง (directive gain) ค่อนข้างต่ำ และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 78 องศาในระนาบสนามไฟฟ้า จากที่กล่าวมาข้างต้น สายอากาศไดโพลถูกนำไปประยุกต์ใช้สำหรับติดตั้งที่ส่วนเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี เพื่อพัฒนาระบบชำระเงินบนทางด่วน อย่างไรก็ตามสายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (omnidirectional) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับการใช้งาน เนื่องจากกำลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปยังพื้นที่ที่ไม่มีผู้ใช้บริการ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศไดโพล ซึ่งเน้นการปรับปรุงแบบรูปการแผ่พลังงานไปเป็นแบบเชิงทิศทาง (unidirectional) โดยเริ่มจากการตัดโค้งสตริปไดโพล (strip dipole) เป็นครึ่งวงกลมและป้อนสัญญาณที่บริเวณกึ่งกลางของสายอากาศเพื่อเพิ่มความกว้างลำคลื่น จากนั้นทำการวางสายอากาศไว้บนไดอิเล็กตริก (dielectric) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และวางบนแผ่นตัวนำ โดยจะทำหน้าที่สะท้อนกำลังงาน ทำให้อัตราขยายเชิงทิศทางเพิ่มขึ้นด้วยเหตุนี้สายอากาศจึงสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้ระยะไกล ส่งผลให้ลดความล่าช้าของการจราจรบนทางด่วนได้

Abstract

With the advances of wireless communication technology, the radio frequency identification (RFID) is esteeming alike, it is used for identifying, positioning, tracking and checking objects. In addition, the antenna is component in RFID reader that is important to obtain the highest efficiency of the system. Therefore, the desired features of the proposed antenna for RFID reader are sufficiently high gain, wide coverage area, and high power handing. Moreover, this antenna should be relatively simple in concept, structure easy, inexpensive, and so on. The dipole antenna has some qualifications that are prominent point which its shape could be change easy and variety. Unfortunately, the basic antenna has a low gain and the half power beamwidth in E-plane is 78 degree. From the objectives, the antenna is applied for the RFID reader, which is used for an electronic toll collection on expressway. However, most kinds of this antenna has omnidirectional pattern, therefore, it is not suitable for field radiating because of the power loss in unnecessary directions. In this work, the structure of dipole is improved to unidirectional pattern. First, the strip dipole was bended to be a half of annular with feed point at the center for yielding wider beamwidth. Next, it's mounted over the dielectric for durable. Finally, the curved strip dipole is appropriated located horizontally on perfect electric conductor (PEC) reflector which is capable of redirecting a wave for high directive gain. In this case, the curved strip dipole antenna on PEC can be covered wide service area and reduce the traffic jam on highway.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล.....	4
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม	
กล่าวนำ.....	6
ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
สรุป	10
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
คุณสมบัติของสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณระบบอาร์เอฟไอดี.....	11
ทฤษฎีสายอากาศไดโพล.....	15
สายอากาศไดโพลเส้นลวดบนตัวสะท้อน	17
การแผ่พลังงานของสายอากาศบนตัวสะท้อน	18
สรุป	19
บทที่ 4 การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศ	
การศึกษาสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง.....	20
สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ.....	26
สรุป	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการวัดทดสอบ	
วิธีการสร้างสายอากาศสตรีปไดโพลโค้งต้นแบบ	31
วิธีการสร้างสายอากาศสตรีปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำต้นแบบ	32
ผลการวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับและความกว้างแถบ	33
ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน	35
ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย	41
สรุป	45
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
บทสรุป	46
ข้อเสนอแนะ	47
แนวทางการพัฒนาในอนาคต	47
รายการอ้างอิง	48
ประวัติผู้วิจัย	50

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ย่านความถี่ต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดีและการใช้งาน	14
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบ	24
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบ	32
ตารางที่ 5.2 ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศ สตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ.....	40
ตารางที่ 5.3 ค่าอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริป ไดโพลโค้งบนแผ่นสะท้อนในรูปแบบต่าง ๆ	44
ตารางที่ 6.1 คุณลักษณะสมบัติของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำต้นแบบ	47



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้สายอากาศอัตรายายเชิงทิศทางสูงโดยใช้สตริปไดโพลโค้งบน ระนาบตัวสะท้อนความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับระบบชำระเงินบนทางด่วน	2
รูปที่ 2.1 สายอากาศที่มีการตัดเป็นรูปตัวเอส	8
รูปที่ 2.2 สายอากาศที่มีลักษณะรูปโค้งทำมุมเป็นรูปตัววีบนแผ่นสะท้อน	8
รูปที่ 2.3 สายอากาศไดโพลบนแผ่นตัวนำ	9
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบในระบบอาร์เอฟไอดี	12
รูปที่ 3.2 แสดงย่านความถี่ที่ระบบอาร์เอฟไอดีถูกใช้งาน	13
รูปที่ 3.3 สายอากาศไดโพล	16
รูปที่ 3.4 ลักษณะการโพลารไรซ์ของสายอากาศไดโพล	17
รูปที่ 3.5 การสะท้อนกลับของคลื่น	18
รูปที่ 3.6 คลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศบนแผ่นสะท้อน	19
รูปที่ 4.1 ผลจากการจำลองสายอากาศสตริปไดโพล โค้งด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009	22
รูปที่ 4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า a	23
รูปที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า w_1	23
รูปที่ 4.4 ผลจากการจำลองสายอากาศสตริปไดโพล โค้งด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 หลังจากปรับค่า a และ w_1	24
รูปที่ 4.5 แบบจำลองสายอากาศสายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นตัวนำต้นแบบ	26
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองสายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นตัวนำ	26
รูปที่ 4.7 สนามระยะใกล้บนแผ่นตัวนำเมื่อ $h = 0.25 \lambda$	30
รูปที่ 5.1 สายอากาศสตริปไดโพล โค้งต้นแบบ	31
รูปที่ 5.2 สายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นตัวนำต้นแบบที่สร้างขึ้น	32
รูปที่ 5.3 ผลการวัดทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพล โค้ง	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.4 ผลการวัดทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ.....	34
รูปที่ 5.5 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน	35
รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และการวัดทดสอบ	37
รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และการวัดทดสอบ	39
รูปที่ 5.8 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง	41
รูปที่ 5.9 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นสะท้อน.....	43



บทที่ 1

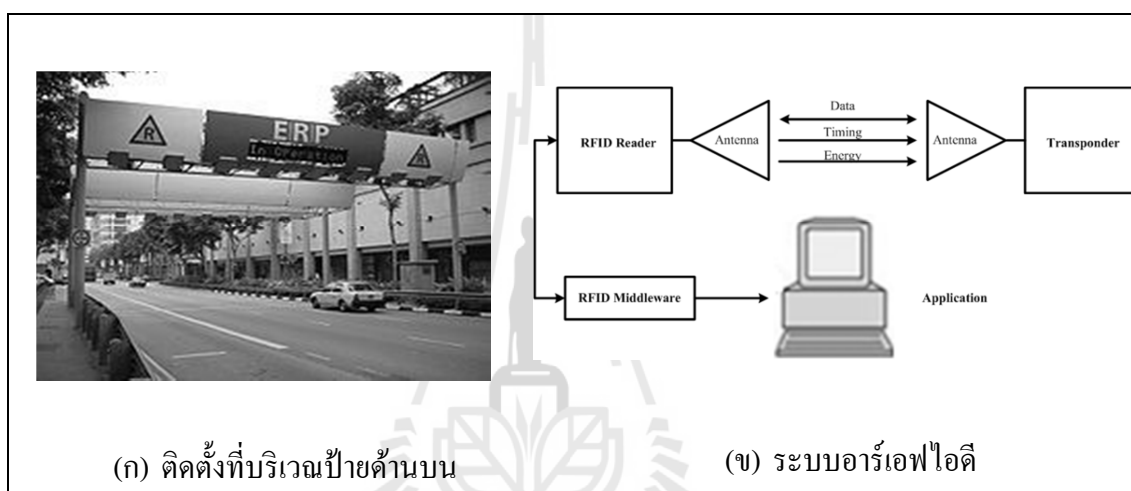
บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็น การอธิบายถึงความเป็นมาและเหตุจูงใจ สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัยแนวทางการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและส่วนประกอบของงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าความต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารนั้นมีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยการสื่อสารแบบไร้สายเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในด้านการศึกษา อุตสาหกรรม สุขภาพ และการเมือง เป็นต้น สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ได้รับความนิยมในขณะนี้คือ เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) ซึ่งเป็นระบบเก็บข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มความสามารถในการคำนวณและรักษาความปลอดภัยของข้อมูล สามารถใช้ในการระบุเอกลักษณ์ของวัตถุ บอกรายชื่อ ติดตามและตรวจสอบวัตถุ ซึ่งความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานมีทั้งย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และย่านความถี่สูงคือ 125 kHz, 13.56 MHz และ 2.45 GHz ตามลำดับ นอกจากนี้รัฐบาลแต่ละประเทศโดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีประกอบด้วย ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) และ เครื่องอ่านสัญญาณ (RFID Reader) ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่เก็บข้อมูลซึ่งถูกฝังหรือติดกับวัตถุต่างๆ โดยจะประกอบด้วยไมโครชิปและสายอากาศ ส่วนเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูล จะเป็นเครื่องที่สื่อสารกับป้ายอิเล็กทรอนิกส์โดยมีคลื่นวิทยุทำหน้าที่เป็นตัวกลางส่งผ่านข้อมูลซึ่งจะประกอบไปด้วยภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ ส่วนควบคุม และสายอากาศ เพื่อให้เครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลมีคุณภาพมากขึ้น สายอากาศจึงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณข้อมูล โดยสายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณหรือท่อนำคลื่นให้แพร่กระจายออกสู่อากาศที่สายอากาศวางอยู่ และในทางกลับกันจะทำหน้าที่รับคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางเข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณได้ สำหรับสายอากาศที่เป็นที่ต้องการของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีคือ มีอัตราขยายเชิงทิศทางที่เพียงพอ และมีแบบรูปการแผ่พลังงานครอบคลุมพื้นที่ให้บริการอย่างครบถ้วน นอกจากนี้สายอากาศยังต้องมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและราคาถูกอีกด้วย สายอากาศ

ไดโพลมีคุณสมบัติที่ดีบางประการสำหรับการสื่อสารแบบไร้สายคือ มีน้ำหนักเบา โครงสร้างสามารถดัดแปลงง่ายและหลากหลาย ราคาไม่แพง แต่มีข้อเสียคือให้อัตราขยายเชิงทิศทาง (directive gain) ค่อนข้างต่ำ จากที่กล่าวมาข้างต้น ถ้าต้องการนำสายอากาศไปใช้งานสำหรับติดตั้งบริเวณเขตแดนด้านบนของทางด่วนหรือไฮเวย์ (highway) ดังรูปที่ 1.1(ก) ที่ความถี่สำหรับระบบเก็บเงินผ่านทางคือ 2.45 GHz โดยใช้สายอากาศสำหรับติดตั้งในส่วนเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีดังรูปที่ 1.1(ข) ถ้าใช้สายอากาศอากาศไดโพลพลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปยังพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งานและมีอัตราขยายเชิงทิศทางต่ำ



รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้สายอากาศอัตราขยายเชิงทิศทางสูงโดยใช้สตริปไดโพลโค้งบน
ระนาบตัวสะท้อนความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับระบบชำระเงินบนทางด่วน

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศไดโพลซึ่งเน้นการปรับแบบรูปการแผ่พลังงานไปเป็นแบบเจาะจงทิศทาง โดยทำการดัดโค้งสตริปไดโพล (strip dipole) เป็นครึ่งวงกลมเพื่อเพิ่มความกว้างลำคลื่น เนื่องจากถนน 1 เลนมีความกว้าง 5 เมตรและติดตั้งตัวอ่านข้อมูลสูงจากพื้น 4 เมตร ดังนั้นสายอากาศควรมีความกว้างลำคลื่นเท่ากับ 32 องศา และในกรณีไฮเวย์ 3 เลน ควรมีความกว้างลำคลื่นเท่ากับ 61.9 องศา สายอากาศจึงจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างครบถ้วน จากนั้นทำการวางสายอากาศไว้บนไดอิเล็กตริก (dielectric) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และวางบนแผ่นตัวนำ โดยจะทำหน้าที่สะท้อนกำลังงาน ทำให้อัตราขยายเชิงทิศทางเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้สายอากาศจึงสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้ระยะไกล เนื่องจากกรณีที่วางบนไฮเวย์นั้นวิ่งด้วยความเร็วสูง

ถ้าสายอากาศมีความกว้างลำคลื่นที่กว้างขึ้น ระบบจะสามารถตัดเงินได้รวดเร็วและทันต่อการวิ่งของรถไม่ว่ารถยนต์จะวิ่งในช่องทางใดก็ตามส่งผลให้ลดความล่าช้าบนทางด่วน โดยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจะตรวจสอบรถยนต์ที่วิ่งผ่านและตัดเงินโดยอัตโนมัติ ซึ่งผู้ขับขี่ไม่ต้องเปิดกระจกเพื่อชำระค่าผ่านทางหรือแม้แต่หยุดรถ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษารูปแบบและการออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนไดอิเล็กทริกและวางบนแผ่นตัวนำสำหรับประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

1.2.2 ออกแบบและจำลองผลสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนไดอิเล็กทริกและวางบนแผ่นตัวนำด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (Computer Simulation Technology)

1.2.3 สร้างสายอากาศแถวลำดับสตริปไดโพลโค้งบนไดอิเล็กทริกและวางบนแผ่นตัวนำต้นแบบ เพื่อเปรียบเทียบผลของการวัดทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 วิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

1.5.2 จำลองแบบสายอากาศสตริปไดโพลโค้งด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ที่ความถี่ 2.45 GHz

1.5.3 ออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำที่ความถี่ 2.45 GHz

1.5.4 สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบผลวัดทดสอบ และผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

1.4 สมมุติฐานของการวิจัย

1.4.1 เมื่อปรับโครงสร้างสายอากาศไดโพลเส้นตรง (linear dipole) ให้เป็นเส้นโค้ง (curve-dipole) จะมีผลต่อความกว้างของลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ที่กว้างขึ้น

1.4.2 เมื่อวางสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนไดอิเล็กทริกจะมีผลต่อขนาดของสายอากาศทำให้สายอากาศมีขนาดเล็กลง แข็งแรง และทนทาน

1.4.3 เมื่อทำการวางสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำจะมีผลให้อัตราขยายในทิศทางด้านหน้าสูงขึ้น

1.5 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล

1.5.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

- สำรวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- วิเคราะห์และออกแบบสายอากาศสตริปไดโพล โค้งที่มีความถี่ 2.45 GHz
- จำลองแบบสายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นสะท้อนตัวนำด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio2009
- สร้างสายอากาศต้นแบบ วัดแบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยายและการสูญเสียย้อนกลับ เปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ

1.5.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นตัวนำด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio2009
- สร้างสายอากาศต้นแบบ วัดแบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยาย และการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ

1.5.3 สถานที่ทำการวิจัย

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

1.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- โปรแกรม CST Microwave Studio2009
- โปรแกรมแมทแลบ(Matlab)
- เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย (network analyzer)
- คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

1.5.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- เก็บผลการทดสอบที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009
- เก็บผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน
- คำนวณอัตราขยายเชิงทิศทาง

1.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลที่ได้จากการทดสอบสายอากาศที่มีอัตราขยายเชิงทิศทางสูงสำหรับใช้งานในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ที่ความถี่ 2.45 GHz

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี สำหรับระบบชำระเงินบนทางด่วน คือมีโครงสร้างง่าย น้ำหนักเบา มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมากและอัตราขยายเชิงทิศทางสูง

1.6.2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของสายอากาศและแผ่นสะท้อนกล่าวคือ สายอากาศไดโพลแผ่นตัวนำ รวมถึงสายอากาศบนแผ่นตัวนำ เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะของสายอากาศ ข้อดีและข้อเสียที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะนำมาใช้ปรับปรุงให้สอดคล้องกับสายอากาศสำหรับการสื่อสาร ไร้สาย เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศ ต่อไป

2.1 กล่าวนำ

ระบบการสื่อสารแบบ ไร้สายกำลังก้าวเข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตประจำวันมากขึ้น เพราะทุกวันนี้การเข้าถึงข้อมูลเป็นสิ่งจำเป็นใครที่มีข้อมูลมากกว่าและเร็วกว่าจะเป็นผู้ได้เปรียบในการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ โดยเฉพาะทางด้านธุรกิจ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบ ไร้สายแบบเดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิมสำหรับแนวทางการออกแบบสายอากาศที่ใช้มีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของระบบที่ต้องการใช้งานร่วมกับสายอากาศ ซึ่งยากที่จะกำหนดเป็นกฎเกณฑ์ที่แน่นอนลงไป ปัจจุบันสายอากาศที่ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบ ไร้สายคือสายอากาศโมโนโพล (monopole antenna) สายอากาศแบบปลอก (sleeve antenna) และสายอากาศแบบสัณฐานต่ำ (low-profile antenna) เช่น สายอากาศไมโครสตริป (micro strip antenna) และสายอากาศระนาบอินเวอร์เอฟ (Planar Inverted F Antenna: PIFA) สำหรับสายอากาศโมโนโพลเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะมีคุณลักษณะเป็นแถบกว้าง (broadband characteristics) และมีโครงสร้างไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน บางครั้งเรียกสายอากาศชนิดนี้ว่าสายอากาศแบบแส้ (whip antenna) Chen, I-F., Peng, C-M., and Liang, S-C. (2005) ส่วนประกอบของสายอากาศที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นติดตั้งอยู่บนระนาบกราวด์แบบอนันต์ ซึ่งสายอากาศนี้จะมีคุณลักษณะคล้ายสายอากาศแบบไดโพล ในทางปฏิบัติสายอากาศโมโนโพลมีความยาวไม่ใช่อะไรหนึ่งของสายอากาศไดโพล ถ้ามีระนาบกราวด์ที่กว้างจะทำให้รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นจะแตกต่างจากระนาบกราวด์แบบอนันต์ สายอากาศแบบที่สองคือ สายอากาศแบบปลอก Taguchi, Egashira M., and Tanaka, S. (1991) มีโครงสร้างของการแผ่กระจายคลื่นเป็นไดโพลแบบไม่สมมาตรของตัวนำ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดแตกต่างกัน

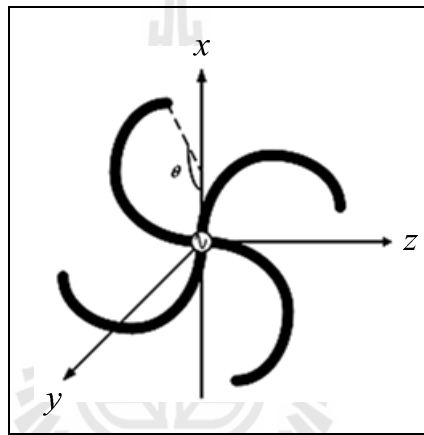
โดยขนาดเล็กที่สุดของตัวนำจะเท่ากับตัวนำภายในสายโคแอกเชียลที่ป้อนให้กับสายอากาศ และขนาดใหญ่จะมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำ ซึ่งจะถูกลัดวงจรกับลวดถักที่อยู่รอบๆ สายอากาศโคแอกเชียล สายอากาศนี้มีคุณลักษณะเหมือนสายอากาศโมโนโพลที่ไม่ต้องมีระนาบกราวด์ แต่การที่ไม่มีระนาบกราวด์นั้นมีข้อเสียคือเมื่อนำไปใช้งาน ต้องนำสายอากาศไปติดตั้งเข้ากับส่วนต่างๆที่เป็นโลหะ ทำให้อัตราขยายลดลง ข้อเสียอีกอย่างของสายอากาศแบบเส้นและสายอากาศแบบปลอก คือ โครงสร้างไม่แข็งแรงหักง่าย แบบสุดท้ายคือ สายอากาศไมโครสตริปหรือสายอากาศแบบ patch Jame, J.D., and Hall, P.S. (1989) โดยแบ่งโครงสร้างออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนบนที่เป็นส่วนของการกระจายคลื่นโดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก วงกลม วงรี หรืออื่น ๆ แล้วแต่การออกแบบเพื่อนำไปใช้งาน โดยมีส่วนที่สองเป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่คั่นกลางระหว่างกราวด์กับส่วนของการแผ่กระจายคลื่นที่เป็นแผ่นตัวนำ ส่วนสายอากาศระนาบอินเวอร์สเฟส Sim, D-U., and Choi, J-I. (2006) มีลักษณะของแถบเส้นเป็นรูปตัวเอฟที่พัฒนาจากสายอากาศแบบไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ อย่างไรก็ตามสายอากาศแบบไมโครสตริปและสายอากาศระนาบอินเวอร์สเฟสมีข้อเสียคือ มีความกว้างแถบที่แคบ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการใช้สายอากาศตัวเดียวในการแผ่กระจายพลังงานให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ในระยะไกล สายอากาศไดโพลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาปรับเปลี่ยนรูปร่างเพื่อลดข้อเสียดังกล่าวและส่งผลต่ออัตราขยายในทิศทางด้านหน้าที่สูงขึ้น ความกว้างของลำคลื่นครึ่งกำลังที่กว้างขึ้นมีโครงสร้างที่แข็งแรง และราคาถูก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สายอากาศสำหรับการสื่อสารแบบไร้สายต้องการ จึงเกิดแนวความคิดในการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ ซึ่งมีการป้อนสัญญาณที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศ

2.2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

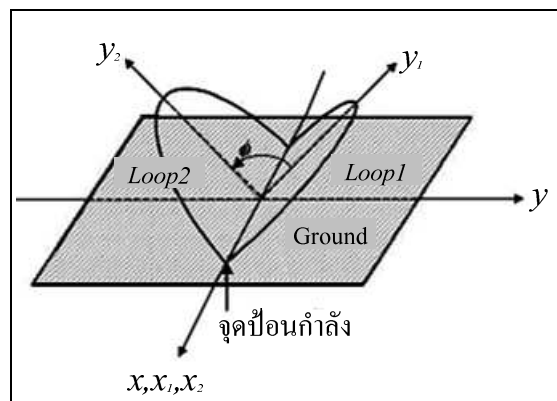
2.2.1 สายอากาศไดโพล

สายอากาศชนิดนี้นิยมนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายมากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างไม่ซับซ้อน แข็งแรง สามารถนำมาดัดแปลงได้ง่าย อีกทั้งยังมีราคาถูกอีกด้วย ในปัจจุบันสายอากาศไดโพลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายได้แก่ เทคนิคการปรับรูปร่างของสายอากาศไดโพลเส้นตรงให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ เช่น สายอากาศรูปตัวเอส (S-Shaped antenna) Elkamchouchi H. (2004) ดังรูปที่ 2.1 เทคนิคต่อมาเป็นการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศด้วยการเพิ่มตัวสะท้อนที่บริเวณด้านหลังของสายอากาศ เช่น สายอากาศไดโพลที่มีลักษณะโค้ง (arc-curved dipole) Wang, J-H., Jan, L., and Jian, S-S. (1997) แล้วทำมุมสายอากาศไดโพลรูปตัววี (V-shape antenna) Li, K., and Leong, M-S. (2005) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 นอกจากนี้มี

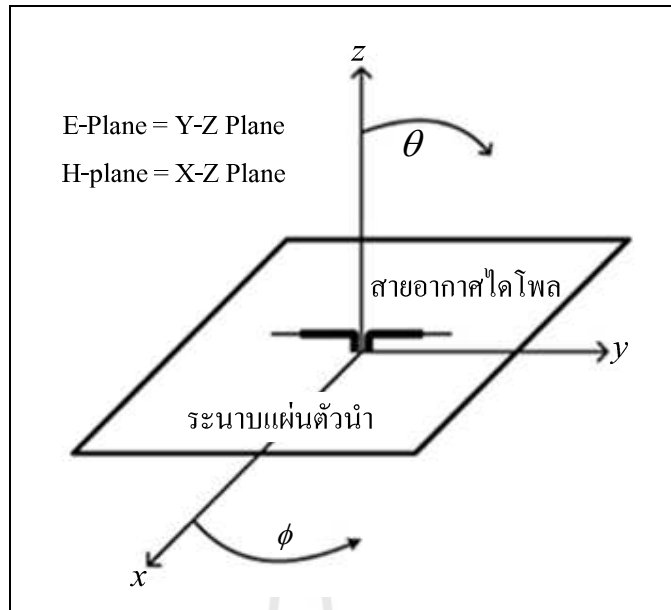
การนำสายอากาศไดโพลเส้นตรงวางใกล้แผ่นตัวนำ Thumvichit, A., and Takano, T. (2007) ซึ่งได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การทำแมตช์ซิ่ง (matching) นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสายอากาศไดโพลชนิดแผ่นตรงลัดวงจรที่ปลายระนาบตัวสะท้อน Dobost, G. (1981) ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ด้านเข้าการแผ่พลังงานและความกว้างแถบ ของไดโพลตรงที่มีการลัดวงจรขนานกับระนาบตัวสะท้อนสมบรูณ์แบบ และการประยุกต์ใช้สายอากาศไดโพลเส้นตรงคัดโค้งเป็นรูปครึ่งวงกลมลัดวงจรปลายทั้งสองข้างบนระนาบตัวสะท้อน Pimpol, S., and Wongsan, R. (2007) ซึ่งทำการวิเคราะห์ความกว้างลำคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศสำหรับใช้งานที่ความถี่โทรทัศน์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ



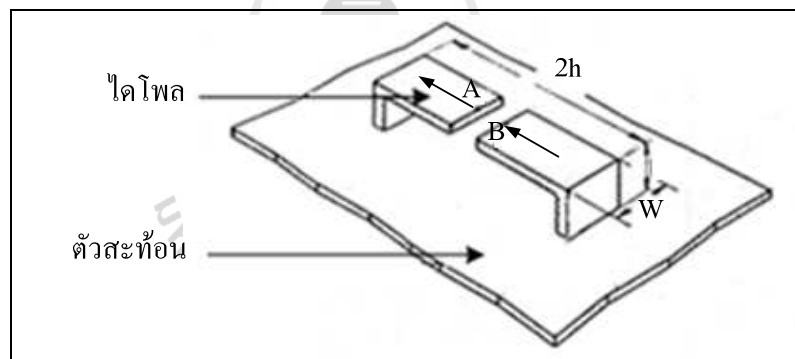
รูปที่ 2.1 สายอากาศที่มีการคัดเป็นรูปตัวเอส



รูปที่ 2.2 สายอากาศที่มีลักษณะรูปโค้งทำมุมเป็นรูปตัววีบนแผ่นสะท้อน

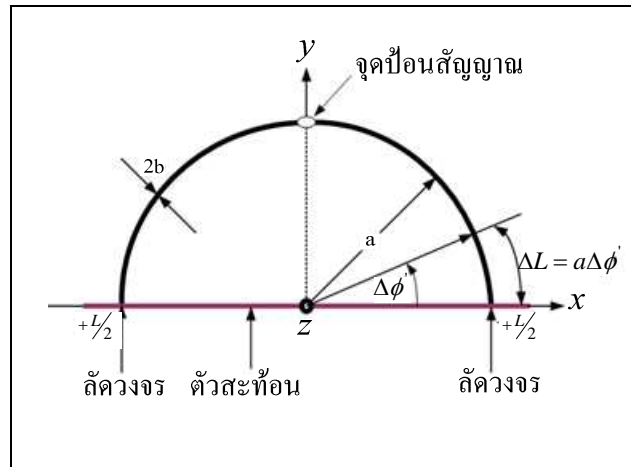


(ก) สายอากาศไดโพลเส้นตรงบนแผ่นตัวนำ



(ข) สายอากาศไดโพลชนิดแผ่นลวดวงจรที่ปลายบนระนาบตัวสะท้อน

รูปที่ 2.3 สายอากาศไดโพลบนแผ่นตัวนำ



(ค) สายอากาศไดโพลโค้งลัดวงจรที่ปลายบนระนาบตัวสะท้อน

รูปที่ 2.3 สายอากาศไดโพลบนแผ่นตัวนำ (ต่อ)

จากงานปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้น สายอากาศไดโพลยังคงเป็นที่สนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายจากอดีตจนถึงปัจจุบันนี้

2.3 สรุป

ตามเนื้อหาที่กล่าวมาในบทนี้จะเห็นว่า สายอากาศไดโพลยังคงเป็นที่นิยมนำมาดัดแปลงโครงสร้างเพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำมาเพิ่มอัตราขยายด้วยการเพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหลังของสายอากาศ

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณ หรือท่อนำคลื่น ให้แพร่กระจายออกสู่อากาศที่สายอากาศวางอยู่ และในทางกลับกันจะทำหน้าที่รับคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางให้เข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณได้ การศึกษารูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดจึงมีความสำคัญในบทนี้กล่าวถึง คุณสมบัติที่เหมาะสมของสายอากาศที่จะเป็นสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณของระบบที่เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) นอกจากนี้ยังกล่าวถึงทฤษฎีสายอากาศไดโพล และทฤษฎีสายอากาศบิระนาบแผ่นตัวนำอีกด้วย

3.1 คุณสมบัติที่ดีของสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณระบบอาร์เอฟไอดี

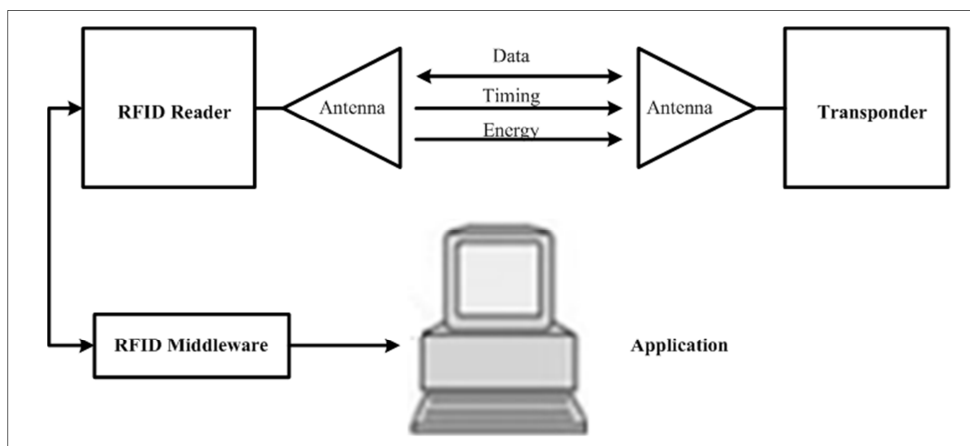
3.1.1 ระบบที่เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID)

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification system: RFID เป็นระบบฉลาดที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ 1980 โดยที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือตรวจจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน

RFID ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุระยะห่าง เพื่อตรวจ ติดตาม และบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้ายซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใดๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุหนึ่งชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้น ๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (Contactless) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อนทำงาน โดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียน

โดยจุดเด่นของระบบ RFID อยู่ที่การอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลาย ๆ แท็กแบบไร้สัมผัส (Contactless) และสามารถที่จะอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แร้งสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถอ่านค่าได้ด้วยความเร็วสูงโดยข้อมูลจะ

ถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก ในปัจจุบันได้มีการนำ RFID ไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้ในระบบบาร์โค้ดแบบเดิม เช่น ใช้ในบัตรชนิดต่างๆ บางครั้งอาจพบอยู่ในรูปของแท็กสินค้าซึ่งมีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรืออาจจะเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังอยู่ในตัวสัตว์ เพื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เป็นต้น องค์ประกอบพื้นฐานของระบบ RFID ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ แท็ก และ ตัวอ่านและบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบในระบบบาร์เอพไอดี

1) ป้ายชื่อหรือแท็กเก็บข้อมูล (RFID Tag)

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

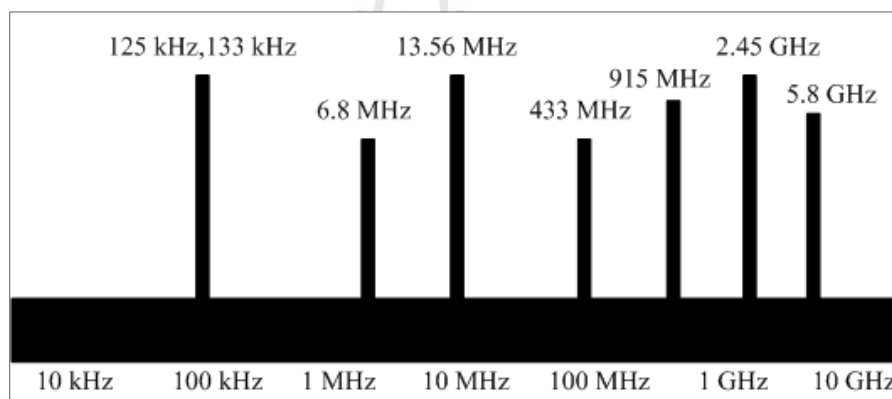
2) เครื่องอ่านและบันทึกข้อมูล (Reader)

หน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อหรือเขียนข้อมูลลงในแท็ก ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุนอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ติดตั้งมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรือ อยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กที่อยู่เรื่อย ๆ ไม่สิ้นสุด โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้ ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ ภาค

สร้างสัญญาณพาหะ วงจรจูนสัญญาณ หน่วยประมวลผลข้อมูลภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์ และ
 สายอากาศก็เป็นส่วนที่สำคัญอีกเช่นเดียวกัน

3.1.2 คลื่นพาหะในระบบอาร์เอฟไอดี

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไป โดยมี 3 ย่านความถี่ใช้งาน คือ สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบ RFID อาจแบ่งออกได้ เป็น 3 ย่านหลัก ๆ ได้แก่ ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz ย่านความถี่สูง (HighFrequency: HF) 13.56 MHz และ ย่าน ความถี่ สูง ยี่ ง (Ultra High Frequency: UHF) 433/868/915 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงย่านความถี่ที่ระบบอาร์เอฟไอดีถูกใช้งาน

สำหรับการใช้งานนั้น 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการ
 สื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ ๆ (LF ระยะอ่านประมาณ 10-20 ซม. และ HF ระยะอ่านประมาณ 1
 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่
 สูงยิ่งจะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร)
 เช่นระบบเก็บค่าบริการทางด่วน ซึ่งในปัจจุบัน ระบบ RFID กำลังถูกวิจัย และพัฒนาในย่านความถี่
 ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการอ่านในระยะไกลกว่า 10
 เมตร

ส่วนด้านราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะในอีกสองย่านความถี่จะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

3.1.3 ความถี่ของคลื่นพาหะที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมี 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่าง ๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

ตารางที่ 3.1 ย่านความถี่ต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดีและการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 125 kHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ - ต้นทุนไม่สูง - ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ - ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	- ปุศสัตว์ - ระบบคลัง - รถยนต์
ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 13.56MHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง - ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต - ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง - ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	- สมาร์ทการ์ด
ย่านความถี่สูง 850-950 MHz 2.4-2.58 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 2.45 GHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) - ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง - ราคาแพง	- รถไฟ - ระบบเก็บค่าผ่านทาง

อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำคือ 125 kHz ย่านความถี่ปานกลางคือ 13.56 MHz และย่านความถี่สูงคือ 2.45 GHz ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

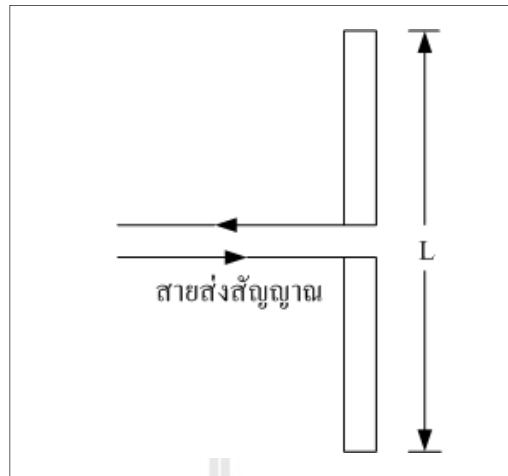
นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่าง ๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นสำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่งที่ดีนั้นจะต้องเป็นสายอากาศที่ทำให้สายอากาศภาครับสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุดนั่นคือไม่ว่าสายอากาศภาครับจะอยู่ทางทิศใดของสายอากาศภาคส่ง และมีการโพลาไรซ์เป็นแบบใดก็ควรที่จะสามารถรับคลื่นจากตัวส่งสัญญาณได้ โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณของเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลในย่าน 2.45 GHz จะต้องมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการหรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการ ได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา และมีโครงสร้างของสายอากาศที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปสามารถประกอบได้ง่ายมีน้ำหนักเบารองรับกำลังงานที่สูงได้และมีอัตราขยายในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศได้มากขึ้นซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบทดสอบและประเมินคุณสมบัติของสายอากาศแผ่นไดโพลโค้งซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสายอากาศไดโพลที่ถูกตัดโค้งวางอยู่บนแผ่นตัวนำซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนของคลื่นเพื่อใช้เป็นสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลย่านความถี่ 2.45 GHz ภายใต้การใช้งานจริงในระบบการสื่อสารดังนั้นคุณสมบัติที่ดีของสายอากาศสำหรับส่งที่สำคัญควรมีดังนี้

3.2 ทฤษฎีสายอากาศไดโพล

3.2.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ

สายอากาศไดโพล (dipole antenna) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุดมีส่วนประกอบเป็นเส้นลวดสองเส้นที่มีความยาว L วางเป็นแนวเส้นตรงดังรูปที่ 3.3 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่ง โดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศกระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพลและไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพลดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังขั้วแรกของไดโพลการแจกแจงรูปของกระแส (current distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลซึ่งมีค่าไม่เท่ากันโดยที่ปลายทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์แต่จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่น ๆ บนตัวไดโพลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



รูปที่ 3.3 สายอากาศไดโพล

ไดโพลอุดมคติ (ideal dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่นๆสามารถพิจารณาให้เป็นส่วนประกอบเล็กๆของความยาวไดโพล (infinitesimal dipole) ที่มีการแจกแจงของกระแสที่เท่ากันตลอดความยาวคุณลักษณะทางทฤษฎีของสายอากาศไดโพลในอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็กๆ

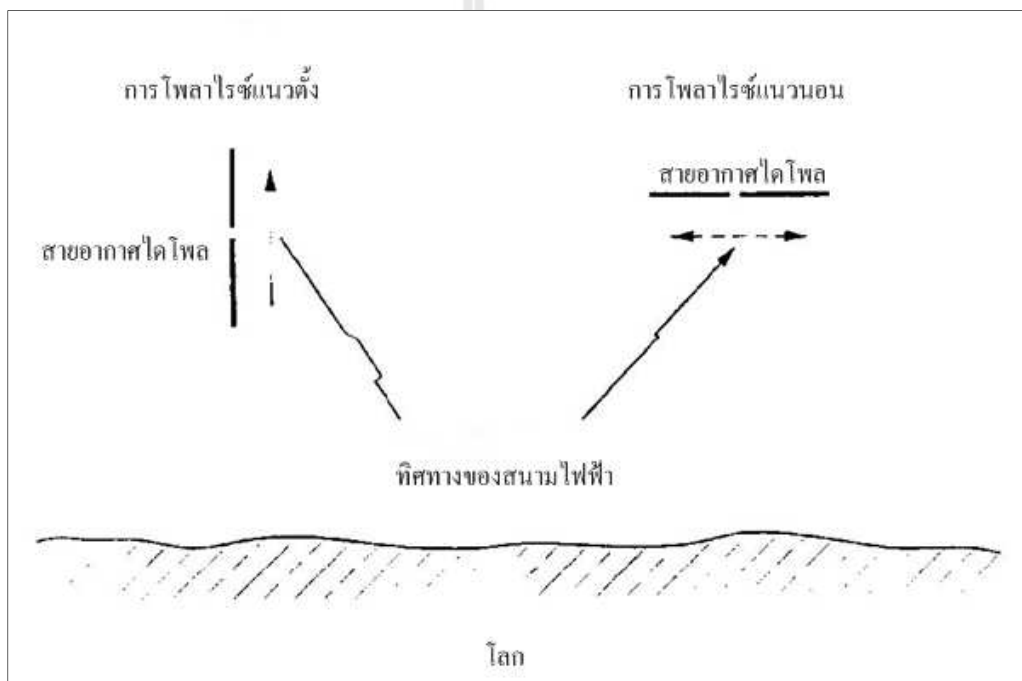
3.2.2 การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล(Dipole Antenna Polarization)

การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะใช้ในการอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกลการสายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) นั่นคือในหนึ่งรอบ (Cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและยังถูกแบ่งออกเป็นการโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) ดังรูปที่ 3.4 นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular) และแบบรูปวงรี (Elliptical)ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบสายอากาศโดยให้มีการโพลาไรซ์แนวนอน เนื่องจากเป็นข้อกำหนดของสายอากาศสำหรับระบบเก็บค่าผ่านทาง ที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz

บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศ เช่นในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวดซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน เช่นสายอากาศไดโพลและสายอากาศยาคิเราสามารถที่จะสมมุติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศแต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกันแต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการ

โพลาไรซ์ได้เช่นสายอากาศปากแตร (Horn) สายอากาศแบบบ่วง (Loop) และสายอากาศแบบร่อง (Slit) เป็นต้น

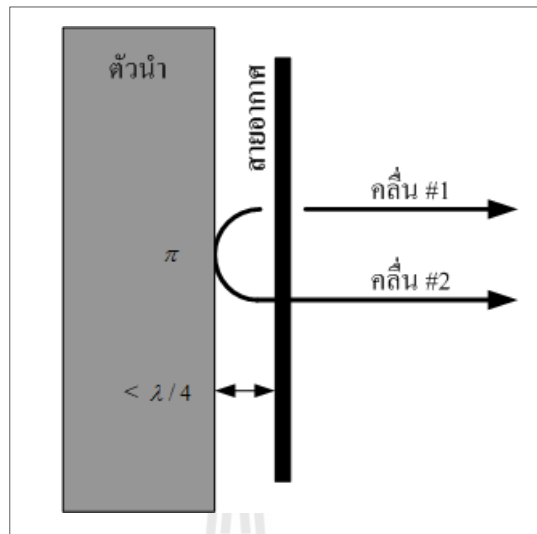
เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศที่ทำหน้ารับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเดียวกันกับการโพลาไรซ์ของสัญญาณที่ส่งมาหากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่นสัญญาณที่รับได้เป็นการโพลาไรซ์ทางแนวตั้งแต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน) เรียกว่าเกิดการแยกการโพลาไรซ์แบบไขว้ (Cross-Polarization Isolation)



รูปที่ 3.4 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

3.3 สายอากาศไดโพลเส้นลวดบนตัวสะท้อน

สำหรับแนวคิดในการเพิ่มอัตราขยายให้สายอากาศของสายอากาศไดโพลเส้นลวดนั้นวิธีการที่ได้รับความนิยมอีกวิธีการหนึ่ง คือการเพิ่มตัวสะท้อน ซึ่งตัวสะท้อนจะทำหน้าที่สะท้อนกำลังงานของสายอากาศไดโพล ที่แผ่กระจายไปในทิศทางที่ไม่ได้ใช้งาน เพื่อสะท้อนกลับ ไปรวมกับพลังงานที่พุ่งตรงไปในทิศทางด้านหน้าส่งผลให้ประสิทธิภาพของสายอากาศดีขึ้น โดยพลังงานที่พุ่งตรงไปในทิศทางด้านหน้าและพลังงานที่สะท้อนกลับไปในนั้นจะต้องมีเฟสที่ตรงกัน



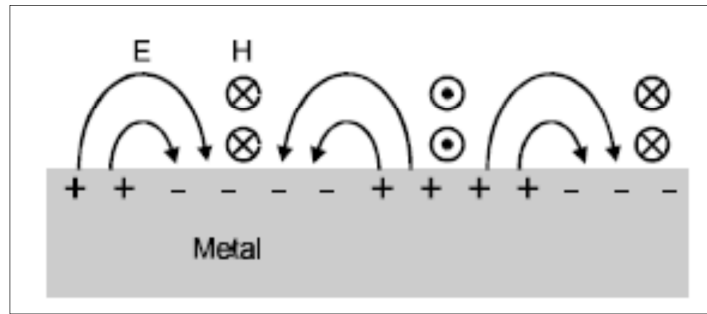
สายอากาศบนแผ่นตัวนำ

รูปที่ 3.5 การสะท้อนกลับของคลื่น

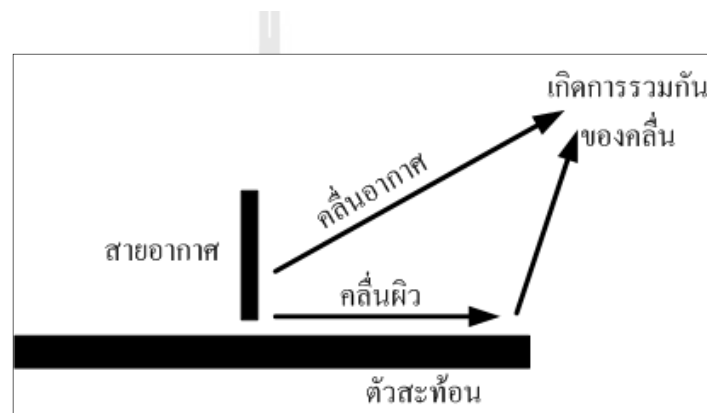
เมื่อพิจารณาการสะท้อนกลับของคลื่นสำหรับวางสายอากาศในระนาบเดียวกับระนาบกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ในทางทฤษฎีคลื่น #1 จะแพร่กระจายออกสู่อากาศ แต่คลื่น #2 จะมีทิศทางตรงกันข้าม และเมื่อคลื่น #2 ไปตกกระทบกับระนาบตัวนำ ซึ่งจะกลับเฟส 180 องศาส่งผลให้ต้องวางสายอากาศห่างจากแผ่นตัวนำเป็นระยะ $\lambda/4$ จึงจะทำให้คลื่น #2 มีเฟสตรงกันกับคลื่น #1 พอดี ดังนั้นจึงส่งผลดีต่อการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศตัวนั้นๆ

3.4 การแผ่พลังงานของสายอากาศบนตัวสะท้อน

รูปที่ 3.6(ก) แสดงสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายบนพื้นผิวแผ่นโลหะในโหมด TM ซึ่งสนามแม่เหล็กมีทิศทางวนรอบตัวนำ ส่วนสนามไฟฟ้าวิ่งจากขั้วบวกไปยังขั้วลบที่บริเวณผิวของแผ่นโลหะ ถ้าวางสายอากาศด้านบนแผ่น โดยสายอากาศที่สามารถยกตัวอย่างได้ดีที่สุดคือสายอากาศโมนโพล ซึ่งคลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศโมนโพลบนตัวสะท้อนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือคลื่นที่แพร่กระจายสู่อากาศและคลื่นผิว โดยคลื่นทั้งสองชนิดนี้จะไปรวมกัน ณ จุด ๆ หนึ่งดังรูปที่ 3.6(ข) ในที่นี้ถ้าคลื่นทั้ง 2 ชนิดมีเฟสตรงกันจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้



(ก) คลื่นผิวที่แพร่กระจายบนแผ่นโลหะในโหมด TM



(ข) การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลบนตัวสะท้อน

รูปที่ 3.6 คลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศบนแผ่นสะท้อน

3.5 สรุป

สำหรับงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้สายอากาศไดโพลคือ สายอากาศสตรีป ไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ โดยนำสายอากาศสตรีปไดโพลมาดัดโค้งเป็นครึ่งวงกลมและวางบนแผ่นตัวนำ โดยการนำข้อดีของทั้งสายอากาศไดโพลและแผ่นนำามาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้สำหรับติดตั้งที่ส่วนเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี เพื่อพัฒนาระบบชำระเงินบนทางด่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดความล่าช้าของการจราจรบนทางด่วน

บทที่ 4

การออกแบบสายอากาศอัตรายายเชิงทิศทางสูง โดยใช้สตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศอัตรายายเชิงทิศทางสูงโดยใช้สตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำสำหรับตัวอ่านและบันทึกข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดี โดยออกแบบที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz สายอากาศที่ออกแบบแล้วจะถูกจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 เพื่อดูค่าการสูญเสียย้อนกลับ รูปแบบการแผ่พลังงานสนามระยะใกล้ และอัตรายายของสายอากาศซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.1 การศึกษาสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

จากบทที่ 3 ทฤษฎีสายอากาศไดโพลสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการนำมาคำนวณเพื่อหารัศมีความโค้งของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง(a) จากทฤษฎีความยาวของสายอากาศไดโพล

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

และความยาวเส้นรอบวงของครึ่งวงกลม

$$L = \pi a \quad (4.2)$$

ดังนั้นเมื่อแทนสมการ (4.2) ใน (4.1) จะได้

$$a = (\lambda/2) / \pi \quad (4.3)$$

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่างๆ ของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง แสดงดังต่อไปนี้ เมื่อกำหนดให้มีความถี่ปฏิบัติการคือ 2.45 GHz และป้อนกำลังงานด้วยสายส่ง 50 โอห์ม

ความยาวของสายอากาศไดโพล หรือ L หาได้จาก

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.45 \times 10^9 \text{ Hz}} = 122.45 \text{ mm}$$

$$\text{ดังนั้น } L = \frac{\lambda}{2} = \frac{122.45}{2} = 61.225 \text{ mm}$$

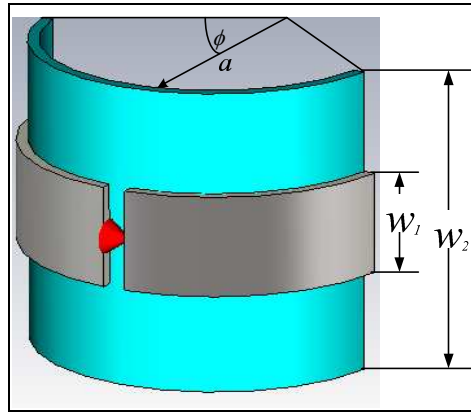
รัศมีความโค้งของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง หรือ a หาได้จาก

$$a = \frac{\lambda/2}{\pi} = \frac{61.225}{3.14} = 19.48 \text{ mm} = 0.16 \lambda$$

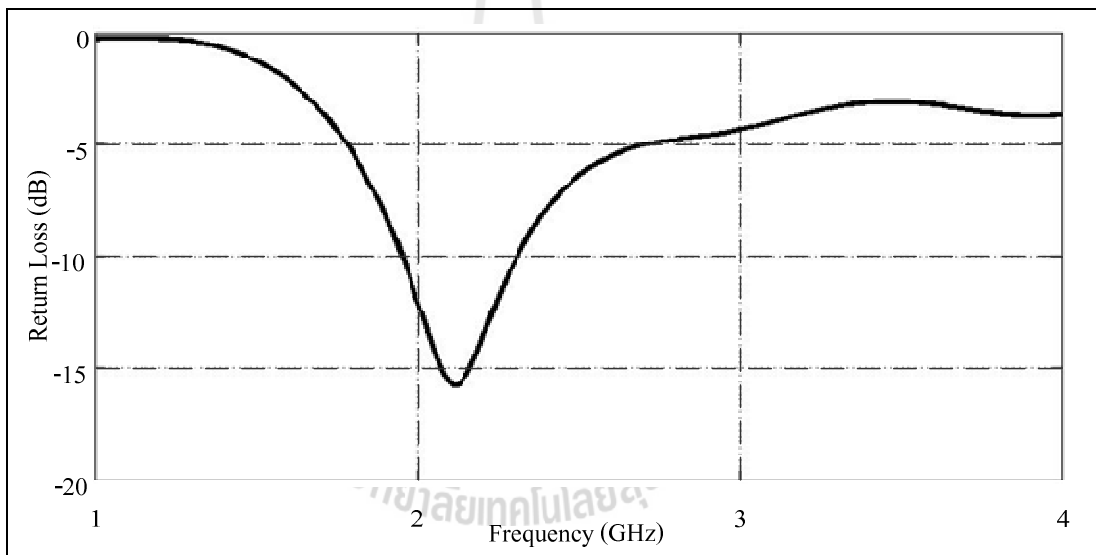
ซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง โดยเริ่มต้นจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ในการจำลองแบบสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง ซึ่งถูกวางบนไดอิเล็กทริก (polyvinyl chloride: PVC) ซึ่งมีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (ϵ_r) เท่ากับ 3.4 โดยป้อนสัญญาณที่บริเวณกึ่งกลางของสายอากาศสตริปไดโพล ($\phi = \pi/2$) และค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) แสดงดังรูปที่ 4.1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีการสูญเสียย้อนกลับไม่เกินไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ดังนั้นจึงทำการปรับค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้สายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่มีความกว้างแถบครอบคลุมความถี่ปฏิบัติการที่ 2.45 GHz โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าที่เหมาะสม คือ รัศมีความโค้งของสายอากาศ (dipole radius: a) ซึ่งมีความสอดคล้องกับความยาวของสายอากาศ (curved strip dipole length: L) โดยค่า L จะมีขนาดน้อยกว่า 0.5λ

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีความโค้งของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง คือให้ a เท่ากับ 0.12λ 0.137λ 0.14λ และ 0.16λ ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อความยาวของสายอากาศ จากการจำลองพบว่าเมื่อสายอากาศสตริปไดโพลโค้งมีความยาวน้อยลงจะส่งผลทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ มีค่าเปลี่ยนไปดังรูปที่ 4.2 ดังนั้นจึงพิจารณาเพื่อเลือกค่ารัศมีความโค้งของสายอากาศลดลงจากเดิมเป็น 0.137λ

จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง คือให้ w เท่ากับ 0.016λ 0.032λ 0.049λ 0.016λ 0.065λ 0.081λ และ 0.098λ ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากการจำลองพบว่าเมื่อสายอากาศสตริปไดโพลโค้งมีความกว้างเท่ากับ 0.081λ จะส่งผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมากที่สุด โดยค่า S_{11} เท่ากับ -15.23 dB ที่ความถี่เรโซแนนซ์ แสดงดังรูปที่ 4.3.



(ก) แบบจำลองสายอากาศ

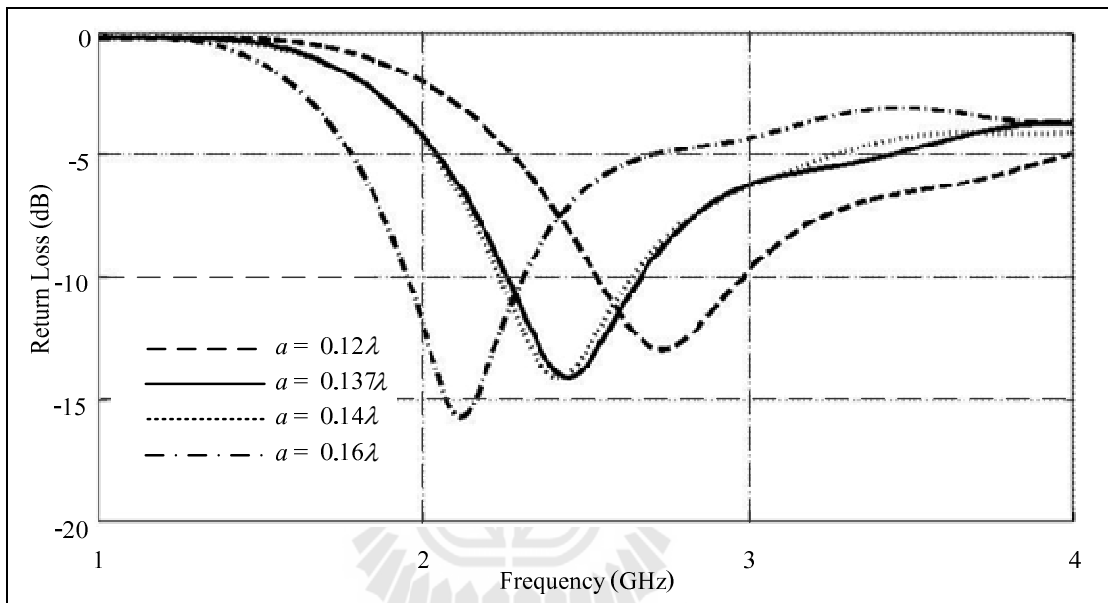


(ข) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

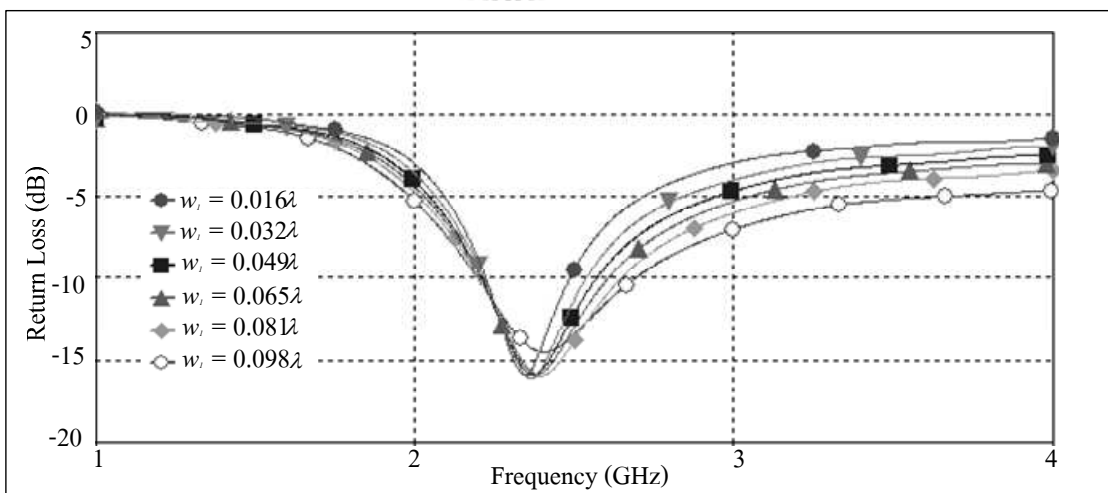
รูปที่ 4.1 ผลจากการจำลองสายอากาศสตริปไดโพลโค้งด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

จากการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะได้ผลการจำลองสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่สามารถทำงาน ที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบแสดงดังตาราง 4.1 และรูปที่ 4.4 (ก) แสดงผลการจำลองสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบ จะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าน้อยกว่า -10 dB สามารถครอบคลุม

ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.26 GHz ถึง 2.67 GHz ดังรูปที่ 4.4 (ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่งมีค่าต่ำกว่า 2 และสามารถครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.26 GHz ถึง 2.67 GHz เช่นกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 (ค) สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.4 (ง) ซึ่งมีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว และมีความกว้างครึ่งกำลังของระนาบสนามไฟฟ้าเท่ากับ 95.3 องศา ซึ่งมีค่าคลื่นกว้างกว่าความกว้างค่าคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศไดโพลเส้นตรง โดยผลการจำลองที่ได้มีอัตราขยาย 1.5 dB



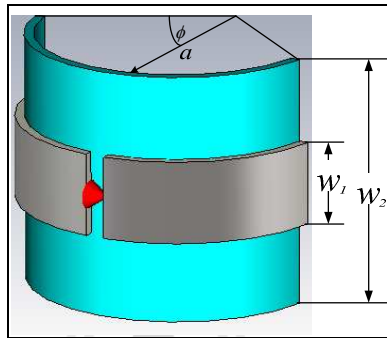
รูปที่ 4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า a



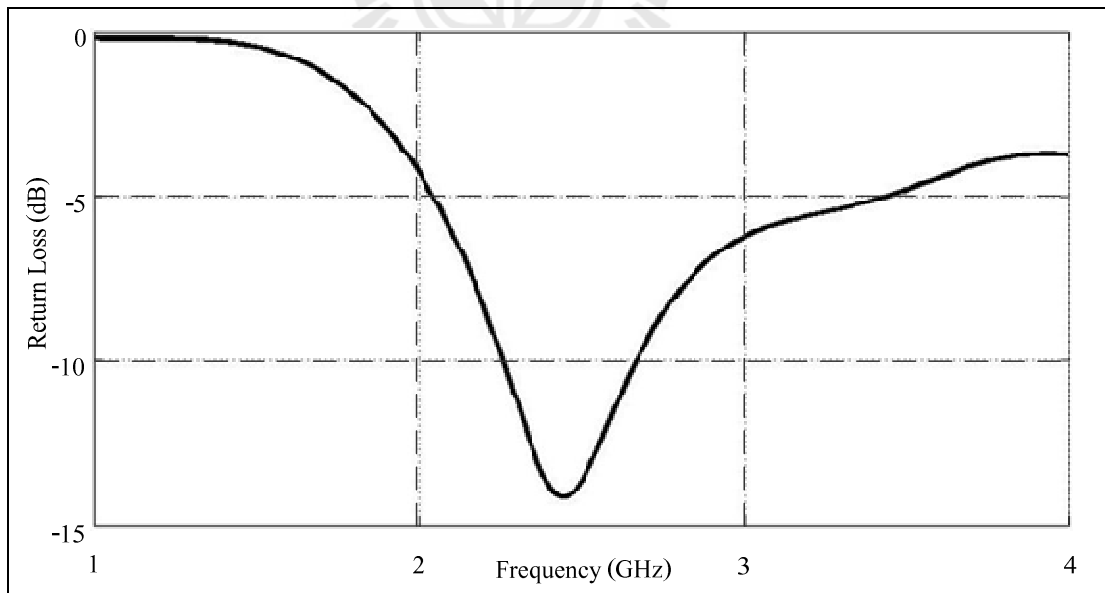
รูปที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า w_1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบ

พารามิเตอร์ของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง	ขนาด (λ)
a : รัศมีความโค้งของสายอากาศ	0.137
L : ความยาวของสายอากาศ	0.4
w_1 : ความกว้างของสตริปไดโพล	0.081
w_2 : ความกว้างของท่อนพีวีซี	0.25



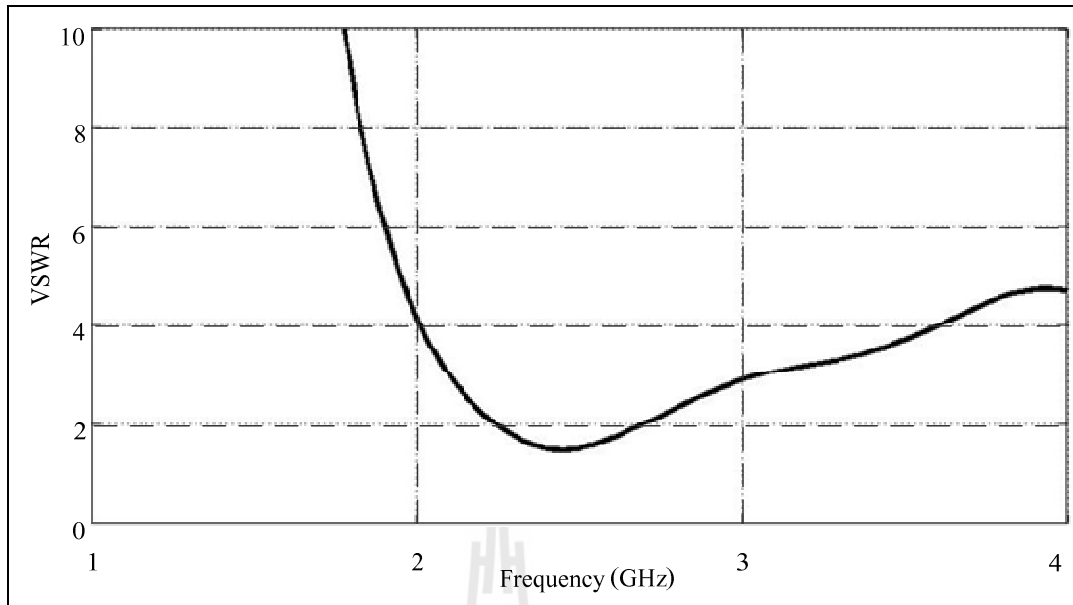
(ก) แบบจำลองสายอากาศต้นแบบ



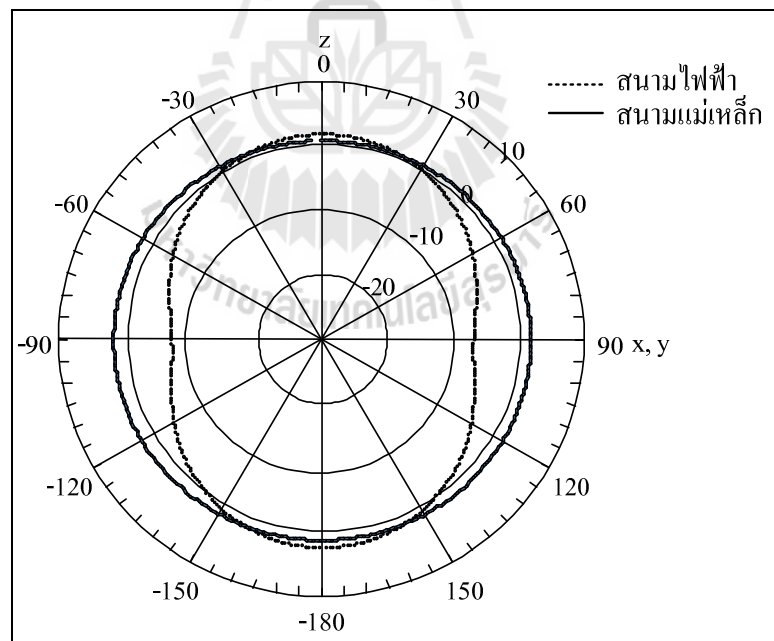
(ข) การสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 4.4 ผลจากการจำลองสายอากาศสตริปไดโพลโค้งด้วยโปรแกรม

CST Microwave Studio 2009 หลังจากปรับค่า a และ w_1



(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง



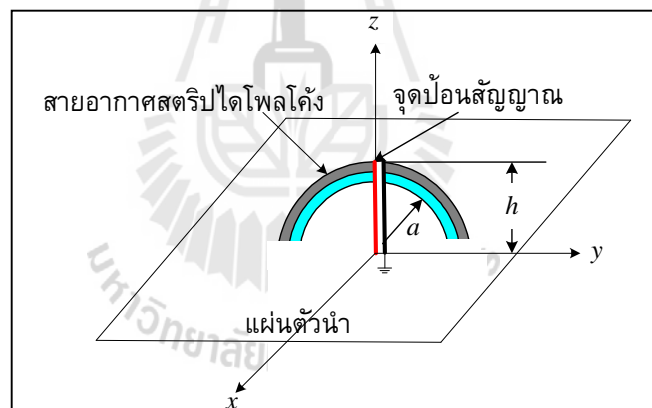
(ง) รูปแบบการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.4 ผลจากการจำลองสายอากาศสตริปไดโพลโค้งด้วยโปรแกรม

CST Microwave Studio 2009 หลังจากปรับค่า a และ w_1 (ต่อ)

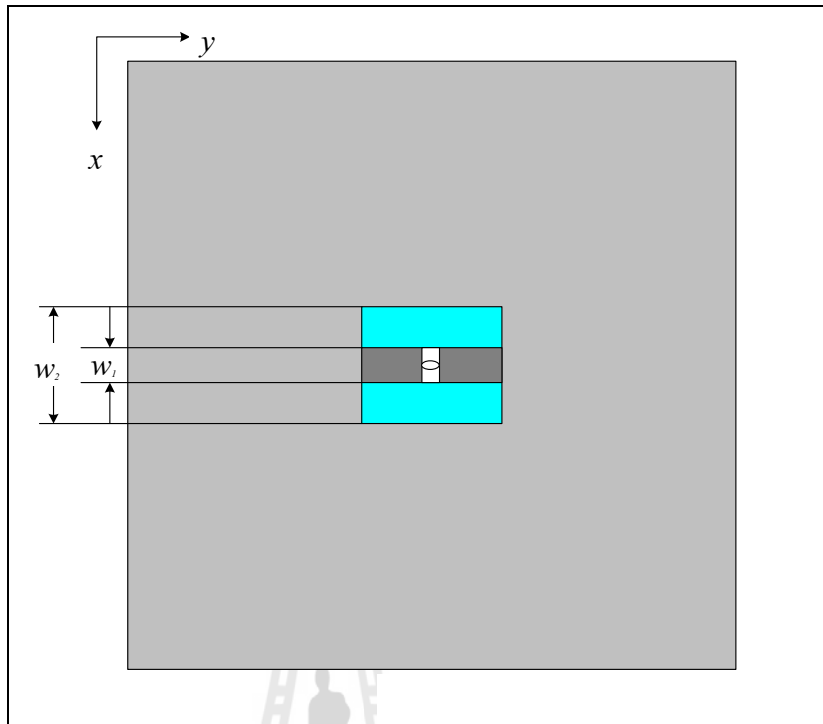
4.2 สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

จากบทที่ 3 เมื่อวางสายอากาศสตริปไดโพลโค้งในระนาบเดียวกันกับระนาบกราวด์ ซึ่งเป็นแผ่นตัวนำขนาด $1.2\lambda \times 1.2\lambda$ ด้วยระยะห่างจากจุดป้อนสัญญาณและผิวของแผ่นตัวนำเท่ากับ 0.25λ ค่าเฟสของคลื่นที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศและคลื่นที่ไปกระทบกับแผ่นตัวนำแล้วสะท้อนกลับจะมีค่าเป็นศูนย์ตรงกันพอดี ในหัวข้อนี้จึงกล่าวถึงผลจากการจำลองสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนระนาบแผ่นตัวนำที่ระยะ h เท่ากับ 0.25λ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับแสดงในรูปที่ 4.5(ก) จะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าน้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.2 GHz ถึง 2.5 GHz อัตราส่วนคลื่นนิ่ง และ อิมพีแดนซ์ด้านเข้า แสดงดังรูปที่ 4.5(ข) และ (ค) ตามลำดับสำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.5(ง) ซึ่งมีรูปแบบการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทางและมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กเท่ากับ 71.3 องศา และ 97.8 องศา ตามลำดับ โดยการจำลองที่ได้มีอัตราขยาย 7.3 dB

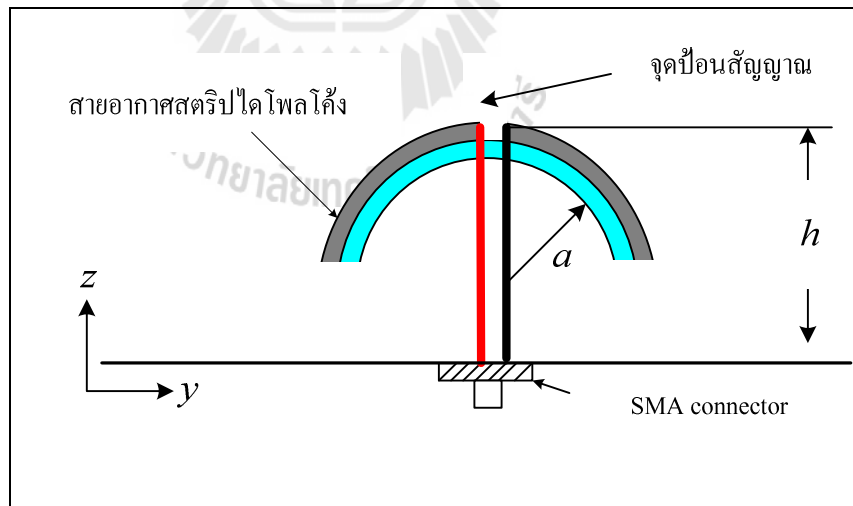


(ก) สามมิติ

รูปที่ 4.5 แบบจำลองสายอากาศสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำต้นแบบ

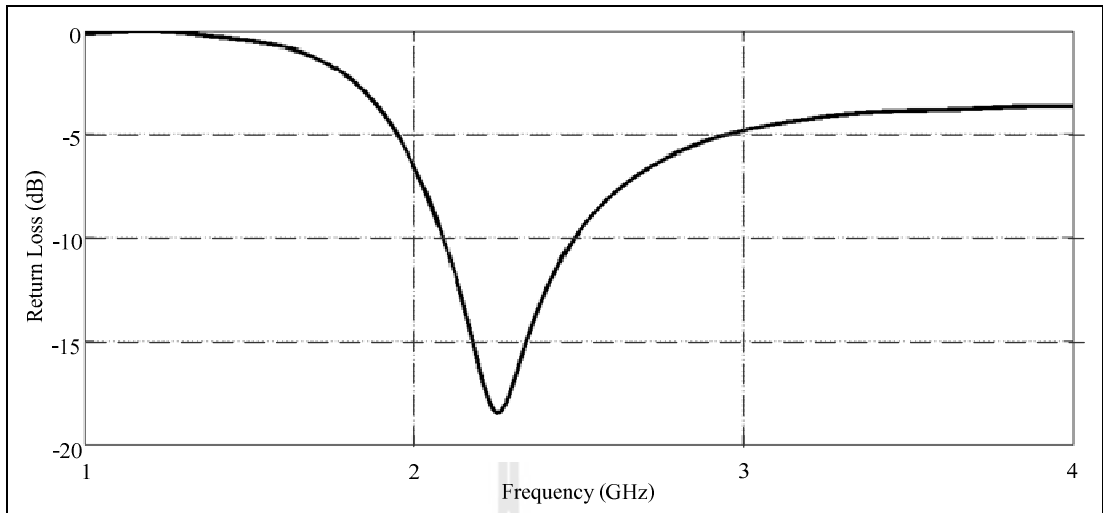


(ข) ด้านหน้า

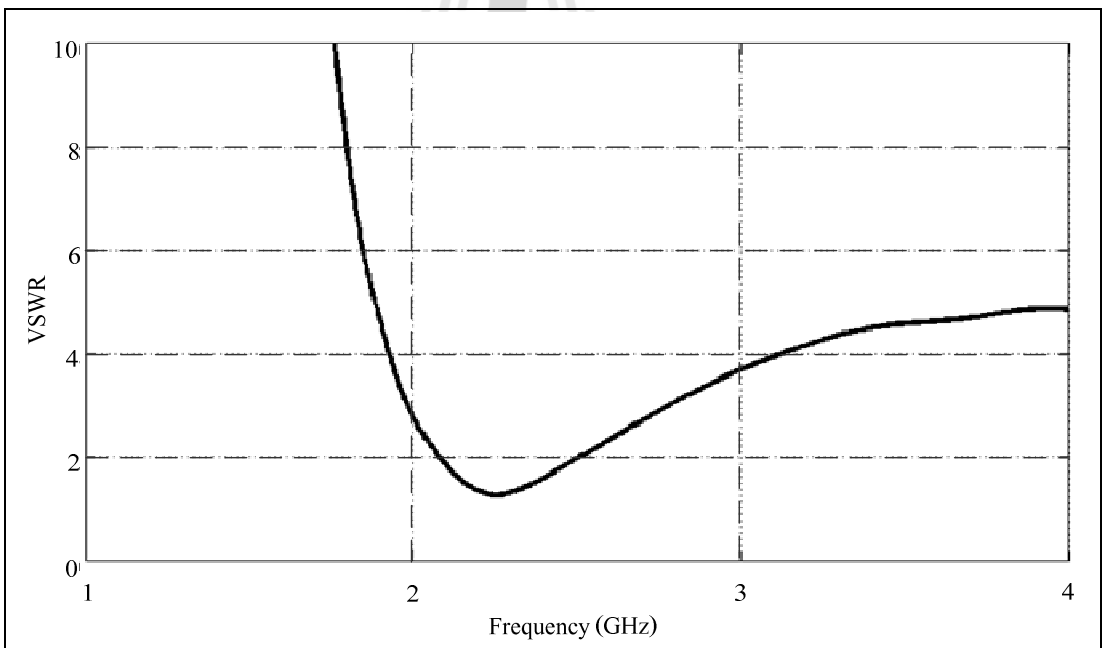


(ค) ด้านข้าง

รูปที่ 4.5 แบบจำลองสายอากาศสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำคลื่นแบบ (ต่อ)

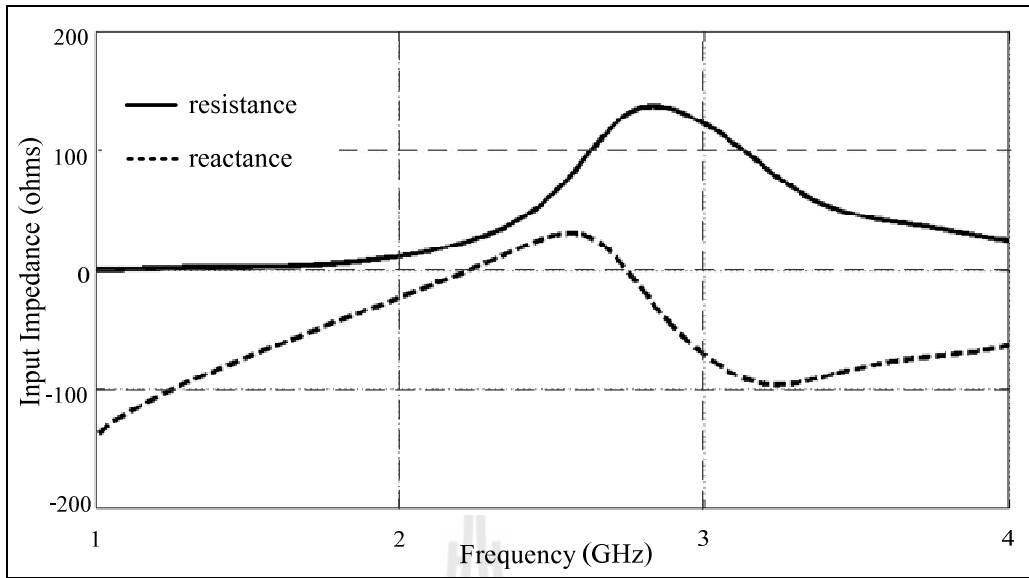


(ก) การสูญเสียย้อนกลับ

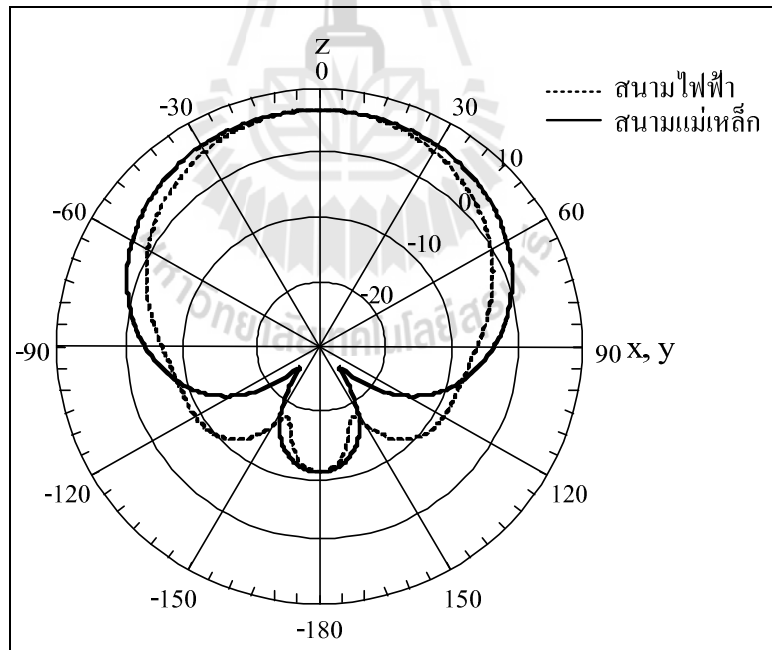


(ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

รูปที่ 4.6 ผลการจำลองสายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นตัวนำ

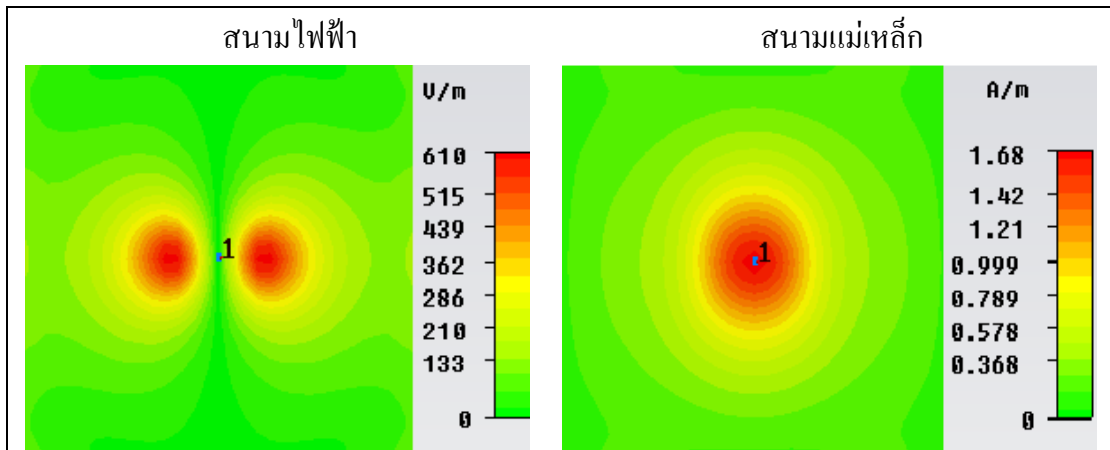


(ค) อิมพีแดนซ์ด้านเข้า



(ง) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.6 ผลการจำลองสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ
ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 (ต่อ)



รูปที่ 4.7 สนามระยะใกล้บนแผ่นตัวนำเมื่อ $h = 0.25 \lambda$

จากการจำลองสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำสามารถนำมาพิจารณาสนามระยะใกล้ (near-field) ที่เกิดบริเวณผิวด้านบนของแผ่นตัวนำ ในรูปของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อระยะ h เท่ากับ 0.25λ ดังรูปที่ 4.6 พบว่าค่าของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสูงสุด คือ 610 V/m และ 1.68 A/m ตามลำดับ

4.3 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้างของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งและสายอากาศสตริปไดโพลบนแผ่นตัวนำ ด้วยการจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 พบว่าสายอากาศสตริปไดโพลโค้งมีข้อดีคือ สามารถแผ่กระจายกำลังงานได้เป็นบริเวณที่กว้างกว่าสายอากาศไดโพลชนิดเส้นตรงเนื่องจากความโค้งของสายอากาศ ส่งผลให้มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระบบสนามไฟฟ้าคือเท่ากับ 90 องศา แต่มีข้อเสียคือ อัตราขยายต่ำ จึงนำสายอากาศชนิดนี้มาวางบนแผ่นตัวนำพบว่าสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ มีข้อดีคืออัตราขยายเพียงพอสำหรับตัวอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีเท่ากับ 7.3 dB มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่กว้างเพียงพอ และครอบคลุมความถี่ปฏิบัติการตั้งแต่ 2.23 GHz ถึง 2.85 GHz เพื่อใช้เป็นสายอากาศของตัวอ่านและบันทึกข้อมูลในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับเก็บค่าผ่านทางควอนตัมที่กำลังเป็นที่น่าจับตามองในปัจจุบัน

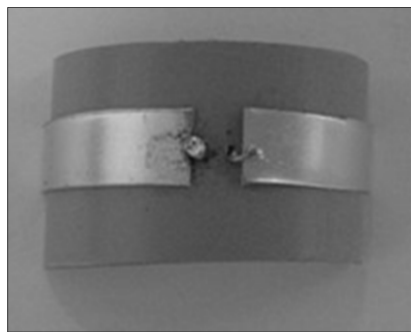
บทที่ 5

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

จากทฤษฎีและหลักการทั้งหมด ตลอดจนการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นตัวนำดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 และ 4 ดังนั้นในบทที่ 5 นี้จะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศสตริปไดโพล โค้งบนแผ่นตัวนำคั่นแบบขึ้น จากนั้นทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงาน ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง และอัตราขยาย โดยในการวัดทดสอบคุณลักษณะข้างต้น จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) รุ่น HP8720C สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

5.1 วิธีการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งคั่นแบบ

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จนได้ขนาดของสายอากาศตามที่ต้องการสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 แสดงรูปสายอากาศสตริปไดโพล โค้งคั่นแบบ โดยสายอากาศสตริปไดโพล โค้งสร้างจากการนำแผ่นโลหะมาทำการตัดโค้ง จากนั้นวางบนท่อพีวีซีรูปทรงครึ่งวงกลม แล้วแบ่งครึ่งตรงกลางของแผ่นโลหะเพื่อทำการป้อนสัญญาณเข้าด้วยหัวต่อชนิด SMA 50 โอห์ม



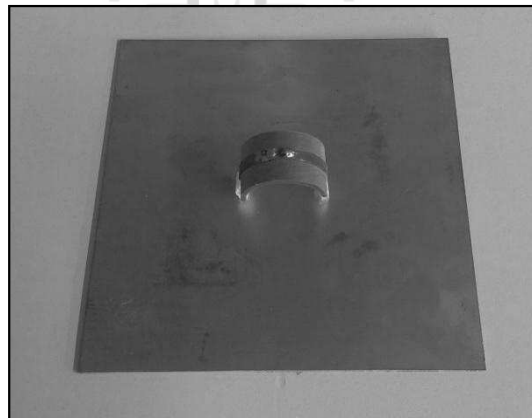
รูปที่ 5.1 สายอากาศสตริปไดโพล โค้งคั่นแบบ

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งคั่นแบบ

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางไฟฟ้า (λ)	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 2.45 GHz (mm)
L	0.4	48.98
a	0.137	16.8
w_1	0.08	10
w_2	0.24	30

5.2 วิธีการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

สายอากาศสายอากาศสตริปไดโพลโค้งจะถูกนำมาวางบนแผ่นตัวนำด้วยระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศและแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า หรือ h เท่ากับ 0.25λ แสดงดังรูปที่ 5.2 เป็นสายอากาศที่ช่วยให้มีลำคลื่นกว้างสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการกว้างขึ้นและยังสามารถสะท้อนคลื่นให้ไปยังทิศทางที่ให้บริการซึ่งจะมีผลทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น

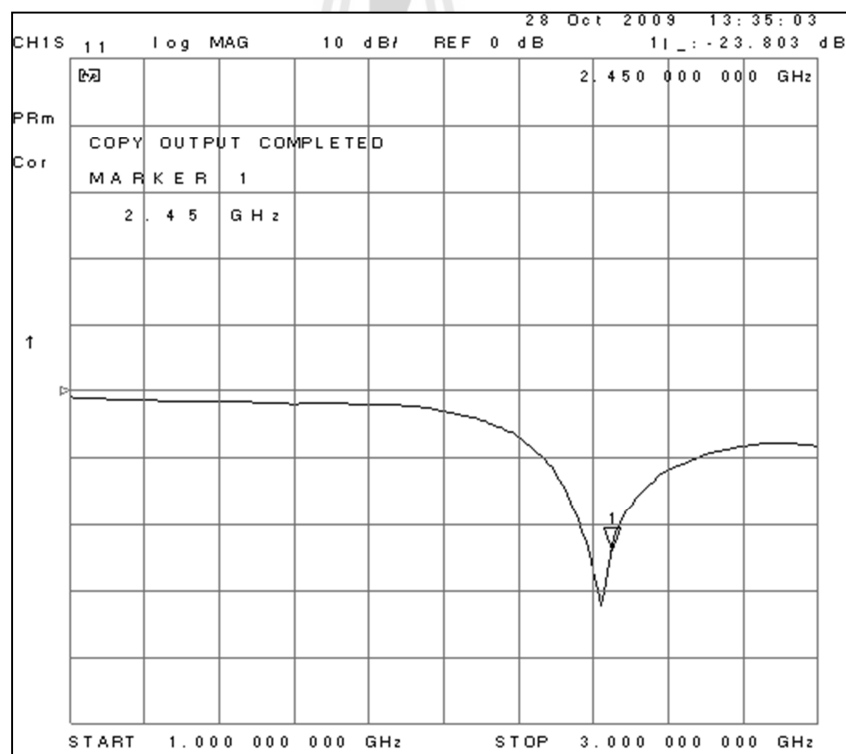


รูปที่ 5.2 สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำคั่นแบบที่สร้างขึ้น

5.3 ผลการวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับและความกว้างแถบ

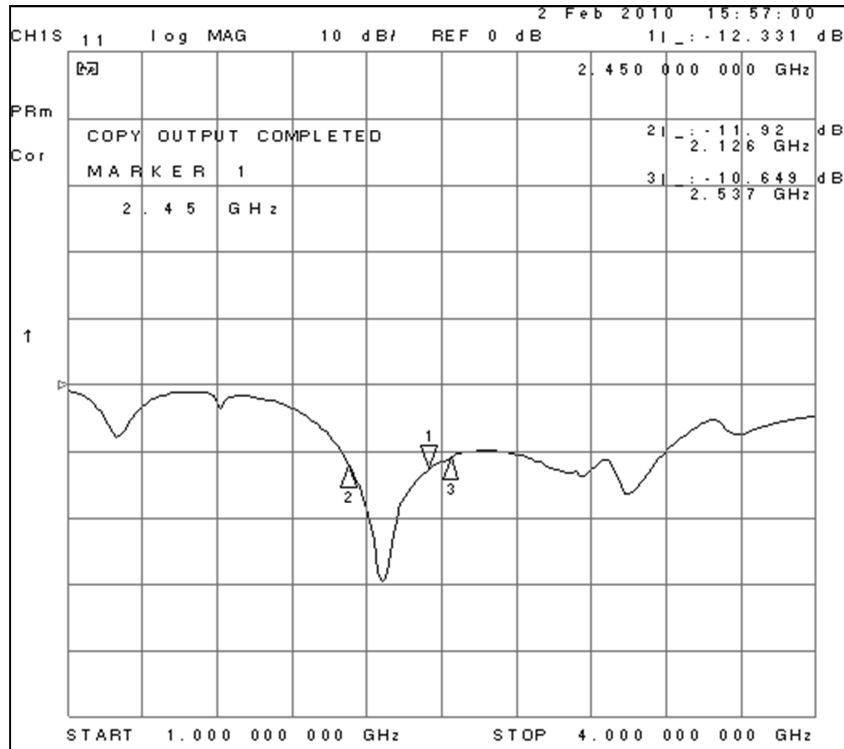
สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (reflection coefficient) หรือในรูปพารามิเตอร์ S_{11} และอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR) ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ S_{11} หมายถึงการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้า (port1) ของสายอากาศ ซึ่งขนาดของ S_{11} อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์ (negative infinity dB) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าไม่แมตซ์อย่างสมบูรณ์ดีที่สุด (รังสรรค์ วงศ์สรณ์ และ ชวงค์พงศ์เจริญพาณิชย์, ม. ป. ป) ในงานประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB แสดงว่ามีการแมตซ์ที่ดี

จากรูปที่ 5.3 แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง ต้นแบบในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปสังเกตได้ว่าสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.35 GHz ถึง 2.65 GHz



รูปที่ 5.3 ผลการวัดทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

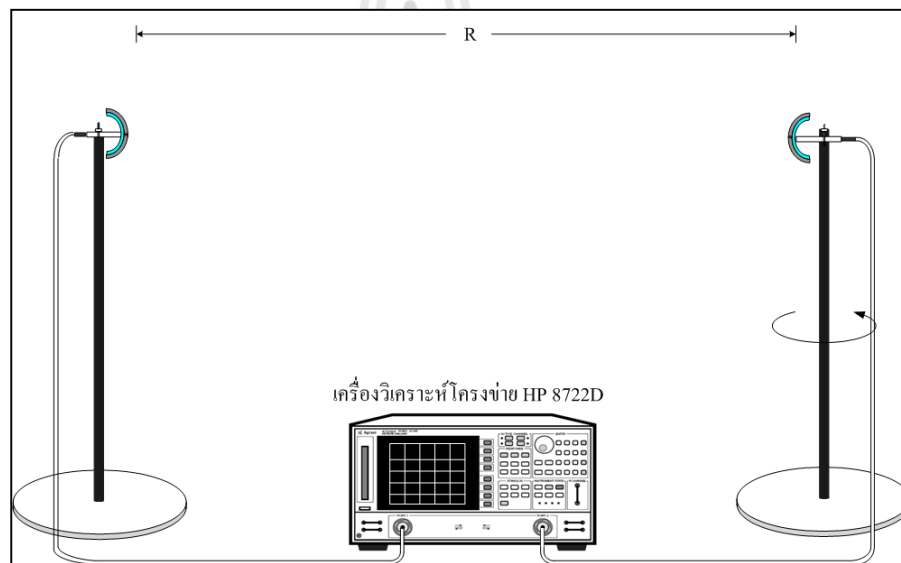
จากรูปที่ 5.4 แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำตันแบบในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปสังเกตได้ว่าสายอากาศสตริปไดโพลโค้งตันแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.12 GHz ถึง 2.53 GHz ซึ่งไม่สามารถครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการได้



รูปที่ 5.4 ผลการวัดทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

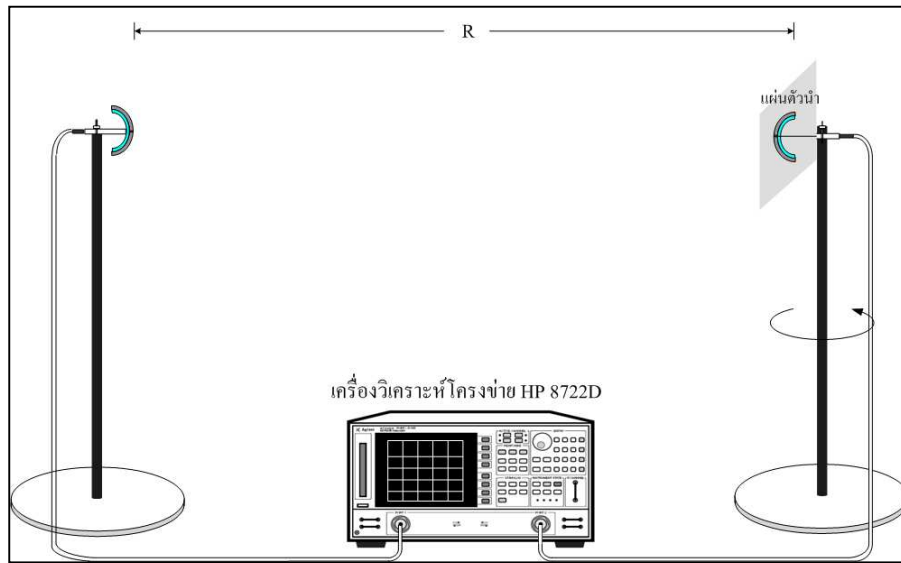
5.4 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

การวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2/\lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศอ้างอิงโดยการทดสอบนี้กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่ 2.45 GHz ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 เมตร และ D คือขนาดความยาวของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 เมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 2.35 GHz ถึง 2.65 GHz มาเป็นสายอากาศอ้างอิงทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง โดยที่สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ และสายอากาศไดโพลโค้งบนแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า นำมาทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับ แสดงดังรูปที่ 5.5(ก) แล (ข) ตามลำดับ ซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนเพื่อรับคลื่นจากมุม 0 องศา จนถึงมุม 360 องศา



(ก) สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

รูปที่ 5.5 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

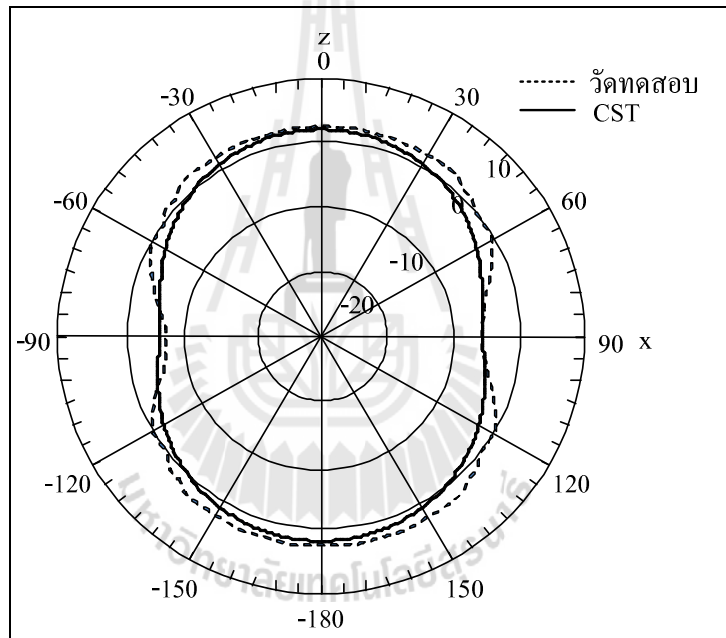


(ข) สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

รูปที่ 5.5 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน (ต่อ)

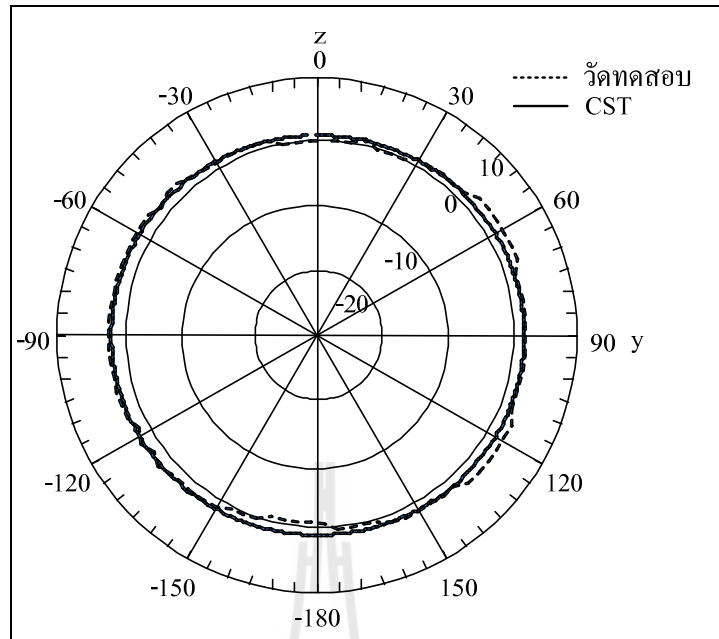
5.4.1 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

จากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.6(ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และผลจากการวัดทดสอบจะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ปราศจากแผ่นสะท้อนในระนาบสนามแม่เหล็กจะเป็นแบบรอบทิศทาง แต่ในระนาบสนามไฟฟ้าแบบรูปการแผ่พลังงานจะแตกต่างจากสายอากาศไดโพลเส้นตรง ที่ความกว้างลำคลื่นที่กว้างขึ้น



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมCST Microwave Studio 2009 และการวัดทดสอบ

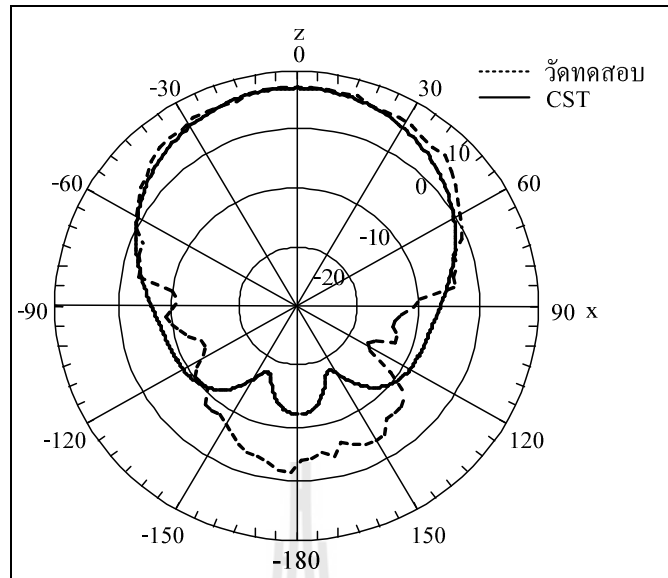


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

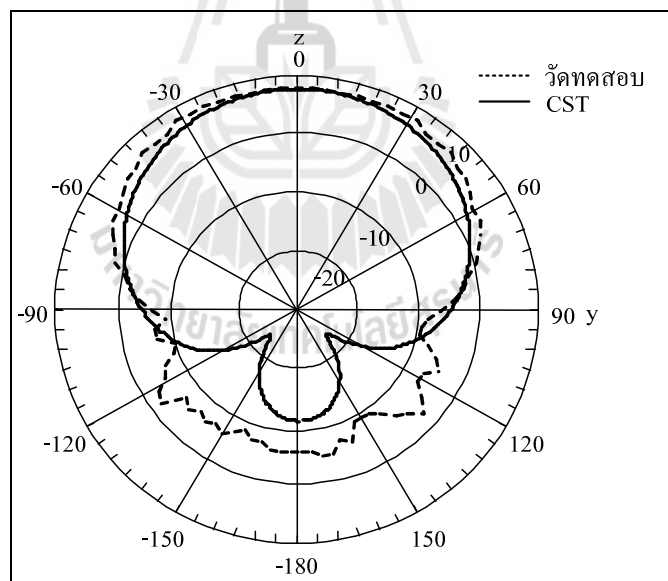
รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และการวัดทดสอบ (ต่อ)

5.4.2 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

จากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และผลจากการวัดทดสอบซึ่งแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นแบบเจาะจงทิศทางในทั้งสองระนาบ



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง บนแผ่นตัวนำที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และการวัดทดสอบ

จากผลการวัดทดสอบจะได้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ จากการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลจากการจำลอง ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 5.2

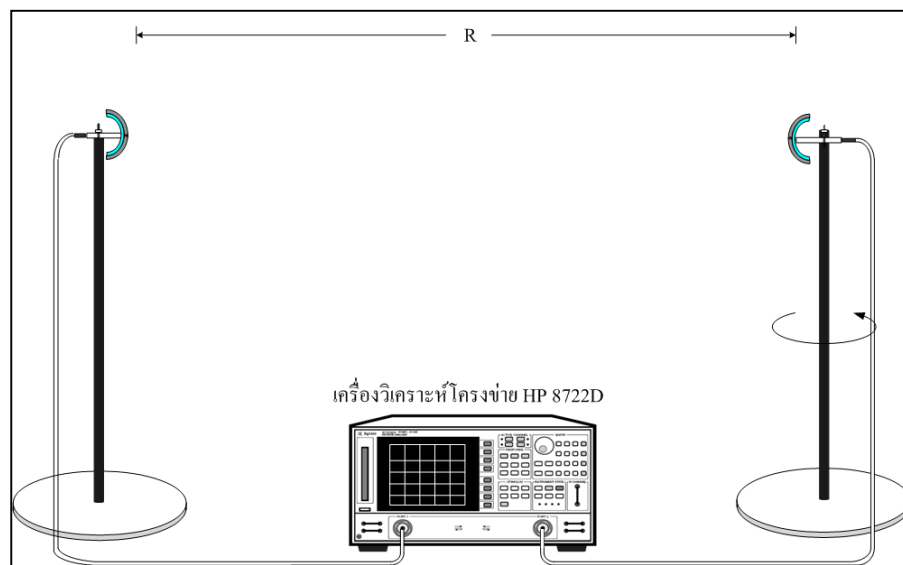
ตารางที่ 5.2 ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

สายอากาศ	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (องศา)			
	CST		วัดทดสอบ	
	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก
สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง	95.3	-	96	-
สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ	59.2	69.9	60	70



5.5 ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย

สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าในขั้นตอนแรกได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง เพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ปราศจากแผ่นสะท้อน แสดงดังรูปที่ 5.8 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สายอากาศสองตัว (two-antenna method) ที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวหนึ่งที่ใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับ



รูปที่ 5.8 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

จากนั้นใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง โดยสมการการส่งผ่านของฟรีสที่นำมาใช้เท่ากับ

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (5.1)$$

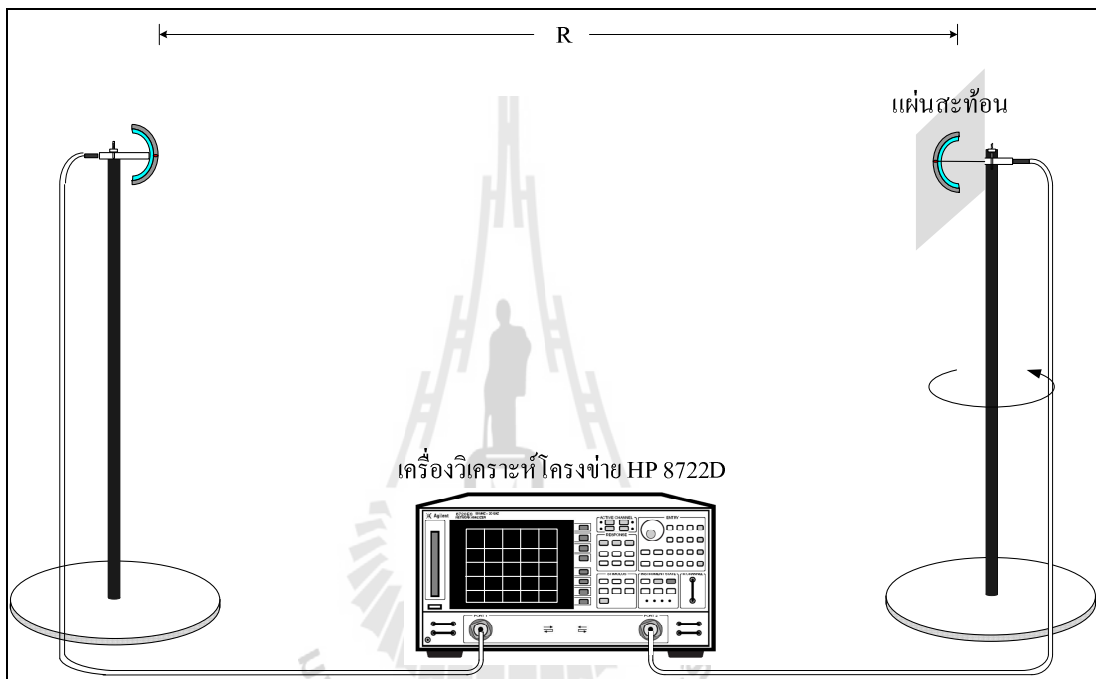
$$G_{dB} = \left(\frac{P_{r,dB} - P_{t,dB} + Loss}{2} \right) \quad (5.2)$$

$$G_{dB} = \left(\frac{P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)}{2} \right) \quad (5.3)$$

$$G_{r_{dB}} = P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} - G_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (5.4)$$

โดยที่	P_t	คือ	กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศส่ง
	P_r	คือ	กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศรับ
	G_{dB}	คือ	อัตราขยายรวมของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เมื่อสายอากาศทั้งสองตัวมีลักษณะเหมือนกัน
	G_t	คือ	อัตราขยายของสายอากาศส่ง
	G_r	คือ	อัตราขยายของสายอากาศรับ
	R	คือ	ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (1 เมตร)
เมื่อ	$P_r - P_t$	คือ	ค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน

ในขั้นตอนต่อมาได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่น โดยกำหนดให้สายอากาศสตริปไดโพลโค้งเป็นสายอากาศภาคส่งและสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำเป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายวัดกำลังไฟฟ้าที่รับได้โดยกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 1 เมตร มีกำลังด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่งเท่ากับ -10 dB ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นสะท้อน

ผลการวัดทดสอบอัตราขยายสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

จากสมการ (5.3) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งได้ดังนี้

$$G_{r_{dB}} = G_{t_{dB}} = \left(\frac{(-36.825 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (1)}{3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9} \right)}{2} \right) = 1.7 \text{ dB}$$

ผลการวัดทดสอบอัตราขยายสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

จากสมการ (5.4) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำได้ดังนี้

$$G_{r_{dB}} = (-31.245 \text{ dB}) - (1.7 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (1)}{3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9} \right) = 7.28 \text{ dB}$$

จากผลการคำนวณจะได้อัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ จากการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

สายอากาศ	อัตราขยาย (dB)	
สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง	1.5	1.7
สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ	7.3	7.28

5.6 สรุป

ในบทนี้แสดงการสร้าง และการวัดทดสอบคุณลักษณะคุณสมบัติของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ ทั้งนี้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบ และการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการวัดทดสอบได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกล ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก และอัตราขยาย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลบนแผ่นตัวนำค้นแบบในสนามระยะไกล รวมถึงอัตราขยายมีผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และจากการนำไปวัดทดสอบคล้ายคลึงกัน สำหรับผลบางส่วนที่แตกต่างกันซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองผล ตลอดจนผลที่เกิดจากการวัดทดสอบในสภาพจริง



บทที่ 6

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศสตริปไดโพลถูกนำมาติดตั้งวางในแนวระนาบบนท่อพีวีซีเพื่อเพิ่มความกว้างลำคลื่นของสายอากาศ และปรับแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทางด้วยการวางสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ ซึ่งสายอากาศจะมีลักษณะของการกระจายคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการ และสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้กว้างขึ้นในระนาบอซิมูท (azimuth) สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นสะท้อน ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาขนาดและโครงสร้างของสายอากาศสตริปไดโพลซึ่งวางบนแผ่นตัวนำเพื่อประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดี ในการเก็บค่าผ่านทางบนทางด่วนที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz

สำหรับการออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบในงานวิจัยนี้ ในเบื้องต้นได้ออกแบบหาสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบ โดยการปรับเปลี่ยนหาค่ารัศมีความโค้งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่มีความถี่ปฏิบัติการครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.4 GHz ถึง 2.58 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่สำหรับระบบเก็บค่าผ่านทางของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี จากนั้นนำสายอากาศสตริปไดโพลโค้งมาวางในแนวระนาบบนแผ่นตัวนำ เพื่อให้สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำมีรูปแบบการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง โดยมีระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งและพื้นผิวของแผ่นตัวนำที่เหมาะสมในการใช้เป็นแผ่นสะท้อน โดยทำหน้าที่สะท้อนกำลังงานที่มีทิศทางรอบตัว ให้มีทิศทางกลับไปยังด้านหน้า และมีเฟสตรงกัน จะส่งผลให้สายอากาศมีอัตราขยายสูง โดยได้เลือกใช้โปรแกรม CST MicrowaveStudio 2009 ในการออกแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ สำหรับรายละเอียดในการออกแบบและวิเคราะห์ทั้งหมดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 จากตารางที่ 6.1 เป็นการสรุปคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ ซึ่งเมื่อพิจารณาความกว้างแถบที่ได้จากความต้องการที่จะนำไปใช้งานด้านการสื่อสารแบบไร้สายของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีที่ตั้งเป้าหมายไว้แล้ว และอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และจากการวัดทดสอบมาเปรียบเทียบกันพบว่ามีความใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 6.1 คุณลักษณะสมบัติของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำแม่เหล็กไฟฟ้า
ต้นแบบ

คุณลักษณะของสายอากาศ	CST		วัดทดสอบ	
ความกว้างแถบ	(2.2GHz ถึง 2.5 GHz)		(2.12 GHzถึง 2.54 GHz)	
อัตราขยาย(dB)	7.3		7.28	
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (องศา)	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก
	59.2	69.9	60	70

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการใช้แผ่นตัวนำเป็นแผ่นสะท้อนของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง จึงเกิดคลื่นที่บริเวณขอบและด้านหลังของแผ่นสะท้อน ซึ่งเรียกว่าคลื่นผิว (surface wave) ส่งผลให้เกิดโหนดด้านหลังและสูญเสียกำลังงานบางส่วนไป แนวทางแก้ไขคือนำทฤษฎีของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามาสร้างเป็นแผ่นสะท้อนเพื่อลดการเกิดของคลื่นผิว

6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ ซึ่งเกิดปัญหาเกี่ยวกับคลื่นผิว สามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้โดยการวางสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ซึ่งสามารถระงับคลื่นผิวได้ และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำสามารถปรับไปใช้งานที่ความถี่ที่ต้องการได้ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งคือ รัศมีความโค้งและความยาวของสายอากาศ รวมถึงระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณและแผ่นตัวนำ

รายการอ้างอิง

- รังสรรค์ วงศ์สรรค์ และ ชวงค์พงศ์เจริญพาณิชย์(ม.ป.ป.). **คู่มือการทดลองพื้นฐานของสายอากาศ.**
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2552). **วิศวกรรมสายอากาศ.** สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- I-Fong,Chen., Chia-Mei,Peng., and Sheng-Chieh, Liang. (2005) **Single Layer Printed Monopole Antenna for Dual ISM-Band Operation.**IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Vol. 53, No. 2, pp. 1270-1273.
- Taguchi, M.,Egashira, S., Tanaka, K. (1991) **Sleep Antenna with Ground Wires.**IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Vol. 39, No.1, pp. 1-7.
- Jame, J.D., and Hall, P.S. (1989)**Handbook of Microstrip Antenna,** Vol.1, London.
- Sim, D.-U., Choi, J.-I. (2006)**A Compact Wideband Modified Planar Inverted F Antenna (PIFA) for 2.4/5-GHz WLAN Applications.**Antennas and Wireless Propagation Letters.Vol.5, No.1, pp. 391-394.
- Krishnan, L.-W, Li., and M.-S, Leong. (2005) **A V-Shaped Structure for Improving the Directional Properties of the Loop Antenna.**IEEE Transactions on Antenna and Propagation, vol.53. pp. 2114-2117.
- Dubost, G. (1981)**Flat Radiating Dipoles and Applications to Arrays.** RESEARCH STUDIES PRESS A DIVISION OF JOHN WILEY & SONS LTD. pp. 28-36.
- Thumvichit,A., Takano, T. (2006) **Ultra Low Profile Dipole Antenna with a Simplified Feeding Structure and a Parasitic Element.** IEICE Transaction Communications, vol.E89-B, No.2, pp. 576-580.
- Thumvichit, A., Takano, T. (2007) **Characteristics Verification of a Half-Wave Dipole Very Close to a Conducting Plane With Excellent Impedance Matching.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.55, No.1.

- Pimpol, S. and Wongsan, R.(2007) **Impedance Analysis of a Shorted-End Curved Dipole on Reflector Plane using Method of Moment.** The 2007 ECTI International Conference, Thailand, Vol. 2, pp. 667-670.
- Wongsan, R. (2009) **A wide-beam array antenna using shorted-end curved dipoles on a reflector plane.** WSEAS Trans. Commun, vol. 8, pp. 207–216.
- Wang, E., Zheng, J., and Liu, Y.(2009)**A Novel Dual-Band Patch Antenna for WLAN Commuications.** Progress In Electromagnetics Research C, Vol.6, 2009, pp. 93-102.
- Elkamchouchi, H., and Abu Nasr, M. (2004) **The S-Shaped Dipole Antenna.** 2004 4th International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceeding, 2004, pp. 19-22.
- Wang, E., Zheng, J., Lui, Y. (2009) **A Novel Dual-Band Patch Antenna for WLAN Communication.** Progress In Electromagnetic Research C, vol. 6, pp. 93–102.



ประวัติผู้เขียน

ปิยาภรณ์ กระจอดนอก เกิดเมื่อ 9 กันยายน 2517 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี 2540 และต่อมาได้ศึกษาระดับปริญญาโทต่อด้วยทุนส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษเป็นอาจารย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า(ไฟฟ้าสื่อสาร) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อปี 2550 ได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ เทคโนโลยีสายอากาศ

