



## การออกแบบ RFID Tag สำหรับติดแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.)



นายอศวี แสนโชติ รหัสนักศึกษา B5219650  
นายพีรพงษ์ เจริญสันติสุข รหัสนักศึกษา B5220182  
นายอำพล ทองเพชร รหัสนักศึกษา B5223992

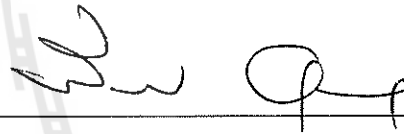
รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม โทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2546  
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2555

## การออกแบบ RFID Tag สำหรับติดแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์

คณะกรรมการสอบโครงการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระลอกนอก)  
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)  
กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม)  
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รายวิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2555

โครงการงาน	การออกแบบ RFID Tag สำหรับติดแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.)	
โดย	1. นายอัสวี แสนโชติ	รหัสนักศึกษา B5219650
	2. นายพีรพงษ์ เจริญสันติสุข	รหัสนักศึกษา B5220182
	3. นายอำพล ทองเพชร	รหัสนักศึกษา B5223992
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ปิยาภรณ์ กระจงนอก	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ภาคการศึกษา	3/2555	

### บทคัดย่อ

#### (Abstract)

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบแท็กอาร์เอฟไอดี (RFID Tag) ในย่านความถี่ 920-925 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นมาตรฐานในย่านความถี่ UHF RFID ของประเทศไทย โดยมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนของสายอากาศ และส่วนของไอซีชิป ขั้นตอนการออกแบบจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009 ในการจำลองผล และศึกษาการแผ่รังสีของสายอากาศ และอิมพีแดนซ์ของไอซีชิป (IC Chip) เพื่อให้พลังงานที่ถูกส่งจากไอซีชิปไปสายอากาศมีค่าสูงสุด โดยโครงการนี้จะออกแบบสายอากาศที่มีขนาด 10x100 มิลลิเมตร เพื่อให้เหมาะสมกับการติดบนแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.)

## กิตติกรรมประกาศ

### (Acknowledgement)

โครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปิยาภรณ์ กระจงนอก ผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิดเริ่มแรกของการออกแบบสายอากาศสำหรับแท็ก (Tag) ที่ความถี่ 920-925 เมกะเฮิร์ตซ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวคิด การดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน ชี้แนะข้อบกพร่อง ตลอดจนช่วยฝึกฝน และให้การสนับสนุนแก่คณะผู้จัดทำให้มีความสามารถในการทำโครงการ ตลอดจนเสนอผลงานให้เป็นที่รู้จักและยอมรับได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด รวมทั้งพี่บัณฑิตศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก วิศวกรรมโทรคมนาคม และเพื่อนนักศึกษาด้านสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ได้กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศแก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นายอัศวิน แสนโชติ  
นายพีรพงษ์ เจริญสันติสุข  
นายอำพล ทองเพชร

## สารบัญ

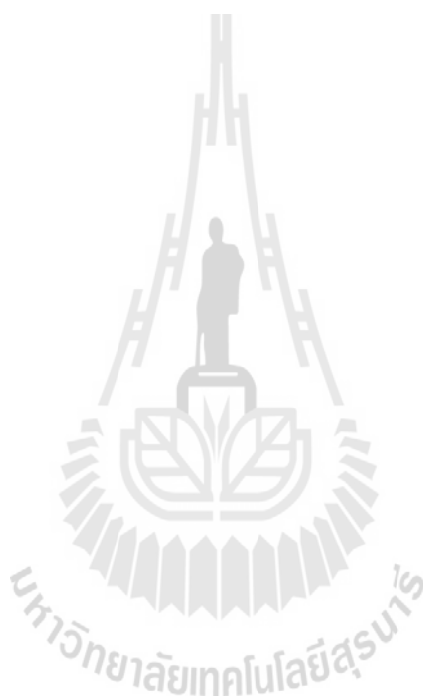
	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตงาน	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>6</b>
2.1 กล่าวนำ	6
2.2 ระบบ RFID ย่านความถี่ UHF	7
2.2.1 โครงสร้างของระบบ RFID	7
2.2.2 ความถี่ (Frequency)	12
2.2.3 สายอากาศ (Antenna)	15
2.3 การแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation)	16
2.3.1 การส่งผ่านอากาศว่าง (Free space Transmission)	16
2.3.2 การดูดซับ (Absorption)	16
2.3.3 การสะท้อน (Reflection)	17
2.3.4 การเลี้ยวเบน และการหักเห (Diffraction and Refraction)	18
2.3.5 โพลาริเซชัน (Polarization)	19
2.4 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ (Fundamental Antenna Parameters)	21
2.4.1 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern)	21
2.4.2 บริเวณสนาม (Field Regions)	22

## สารบัญ (ต่อ)

2.4.3 ความต้านทานขาเข้า (Input Impedance)	24
2.4.4 ความต้านทานการแผ่คลื่น (Radiation Resistance)	25
2.4.5 อัตราขยาย และสภาพเจาะจงทิศทาง (Gain and Directivity)	25
2.4.6 ประสิทธิภาพ (Efficiency)	27
2.4.7 แบนด์วิดท์ (Bandwidth) และค่า Q	27
2.5 สรุป	28
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองแบบ</b>	29
3.1 กล่าวนำ	29
3.2 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ	29
3.2.1 เครื่องอ่าน (Reader)	29
3.2.2 ไอซีชิป (IC Chip)	29
3.2.3 ความถี่ (Frequency)	30
3.2.4 ขนาดของแท็ก (Tag Size)	30
3.3 วงจรไฟฟ้าสมมูล (Electrical Equivalent Circuits)	30
3.4 การแมตช์ (Matching)	30
3.5 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient)	33
3.6 การออกแบบแท็ก (Label Antenna Design)	34
3.7 การออกแบบสายอากาศ (Antenna Design)	36
3.7.1 สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna)	37
3.7.2 ผลการจำลอง RFID Tag โดยใช้สายอากาศไดโพล	45
3.8 สรุป	50
<b>บทที่ 4 การสร้างชิ้นงานและการทดสอบชิ้นงาน</b>	51
4.1 กล่าวนำ	51
4.2 การสร้างชิ้นงาน	51
4.3 การวัดผล	55
4.4 สรุป	59

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 บทสรุปของโครงการ	60
5.1 กล่าวสรุป	60
5.2 ปัญหา และแนวทางในการแก้ไขปัญหา	61
5.3 ข้อเสนอแนะ	62
5.4 แนวทางการพัฒนาต่อไป	62
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	64
ประวัติผู้เขียน	68



## สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบบาร์โค้ด (รูปด้านซ้ายมือ) และระบบ RFID (รูปด้านขวามือ)	1
รูปที่ 1.2 การชำระภาษีโดยระบบ RFID	3
รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของระบบ RFID	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader)	7
รูปที่ 2.3 เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบต่างๆ	8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของแท็ก (Tag)	9
รูปที่ 2.5 Passive Tag	11
รูปที่ 2.6 Active Tag	12
รูปที่ 2.7 Tag แบบ Inductive Coupling	15
รูปที่ 2.8 Tag แบบ Microwave Coupling	15
รูปที่ 2.9 การสะท้อน (Reflection)	18
รูปที่ 2.10 การเลี้ยวเบน (Diffraction)	18
รูปที่ 2.11 โพลารไรซ์แบบ เชิงเส้น วงกลม และวงรี	19
รูปที่ 2.12 สนามไฟฟ้าโพลารไรซ์แบบวงกลม	20
รูปที่ 2.13 Polarization Mismatch	21
รูปที่ 2.14 แบบรูปการแผ่กำลังงาน (Radiation Pattern)	22
รูปที่ 2.15 สนามบริเวณรอบสายอากาศ	23
รูปที่ 2.16 Definition of Effective Isotropic Radiated Power	26
รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลแบบอนุกรม	30
รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลไฟฟ้าของการส่งผ่าน	33
รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลที่เพิ่มไอซีจีป	34
รูปที่ 3.4 โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009	36
รูปที่ 3.5 สายอากาศไดโพลที่ปรับค่าความยาว L1	37
รูปที่ 3.6 ค่า Resistance ของสายอากาศที่ปรับความยาว L1 ตั้งแต่ 0-20 มิลลิเมตร	37
รูปที่ 3.7 ค่า Reactance ของสายอากาศที่ปรับความยาว L1 ตั้งแต่ 0-20 มิลลิเมตร	38
รูปที่ 3.8 สายอากาศไดโพลที่ปรับค่าความยาว L2	38



## สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.9 ค่า Resistance ของสายอากาศที่ปรับความยาว L2 ตั้งแต่ 10-30 มิลลิเมตร	39
รูปที่ 3.10 ค่า Reactance ของสายอากาศที่ปรับความยาว L2 ตั้งแต่ 10-30 มิลลิเมตร	39
รูปที่ 3.11 สายอากาศไดโพลที่ปรับค่าความกว้าง Wa	40
รูปที่ 3.12 ค่า Resistance ของสายอากาศที่ปรับความกว้าง Wa ตั้งแต่ 4-8 มิลลิเมตร	40
รูปที่ 3.13 ค่า Reactance ของสายอากาศที่ปรับความกว้าง Wa ตั้งแต่ 4-8 มิลลิเมตร	41
รูปที่ 3.14 สายอากาศไดโพลที่แมตซ์แบบสตัด์ โดยปรับค่าความยาว L3	41
รูปที่ 3.15 ค่า Resistance ของสายอากาศที่แมตซ์แบบสตัด์ โดยปรับความยาว L3 ตั้งแต่ 24-28 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 3.16 ค่า Reactance ของสายอากาศที่แมตซ์แบบสตัด์ โดยปรับความยาว L3 ตั้งแต่ 24-28 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 3.17 สายอากาศไดโพลที่แมตซ์อิมพีแดนซ์แล้ว	43
รูปที่ 3.18 ส่วนจริงของสายอากาศไดโพลที่แมตซ์อิมพีแดนซ์แล้ว	43
รูปที่ 3.19 ส่วนจินตภาพของสายอากาศไดโพลที่แมตซ์อิมพีแดนซ์แล้ว	44
รูปที่ 3.20 ขนาดของสายอากาศไดโพล	44
รูปที่ 3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของ RFID Tag ที่ความถี่ 922 เมกะเฮิรตซ์	47
รูปที่ 3.22 ส่วนจริงของ RFID Tag จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศกับไอซีชิป	47
รูปที่ 3.23 ส่วนจินตภาพของ RFID Tag จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่างสายอากาศกับไอซีชิป	48
รูปที่ 3.24 Smith chart ของ RFID Tag จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่างสายอากาศกับไอซีชิป	48
รูปที่ 3.25 ค่า S <sub>1,1</sub> ของ RFID Tag จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศกับไอซีชิป	49
รูปที่ 3.26 ระยะเวลาอ่านของ RFID Tag	49
รูปที่ 4.1 ซึ่่งงานจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009	50
รูปที่ 4.2 โปรแกรม CORELDRAW 9	51
รูปที่ 4.3 สายอากาศไดโพลโดยใช้โปรแกรม CORELDRAW 9	51
รูปที่ 4.4 สติ๊กเกอร์ของสายอากาศไดโพล	52

## สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 4.5 แผ่น FR-4 ที่ติดสติกเกอร์ของสายอากาศไดโพล	52
รูปที่ 4.6 ก่องใส่น้ำยาคัดแผ่นปริน	52
รูปที่ 4.7 ชิ้นงาน RFID Tag ต้นแบบ	53
รูปที่ 4.8 ชิ้นงาน RFID Tag ต้นแบบที่ติด IC Chip	53
รูปที่ 4.9 Chamber Room	54
รูปที่ 4.10 การติดตั้งอุปกรณ์ชุด RFID Reader และ Notebook	55
รูปที่ 4.11 โปรแกรมอ่านค่า RFID Tag	55
รูปที่ 4.12 การวัดระยะการอ่านข้อมูลระหว่าง RFID Tag กับ RFID Reader	56
รูปที่ 4.13 การวัดระยะการอ่านข้อมูลในการใช้งานจริง	57



## สารบัญตาราง

รายการ	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินงาน	5
ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะ และการใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ	13
ตารางที่ 2.2 การจัดสรรคลื่นความถี่ย่าน UHF สำหรับ RFID ในประเทศต่างๆ	14
ตารางที่ 3.1 ขนาดของสายอากาศไดโพล	45
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดระยะทางการอ่านข้อมูลในห้อง Chamber	58
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดระยะทางการอ่านข้อมูลในการใช้งานจริง	58
ตารางที่ 5.1 ปัญหาที่พบ และสาเหตุของปัญหา รวมทั้งวิธีการแก้ไขปัญหา	59



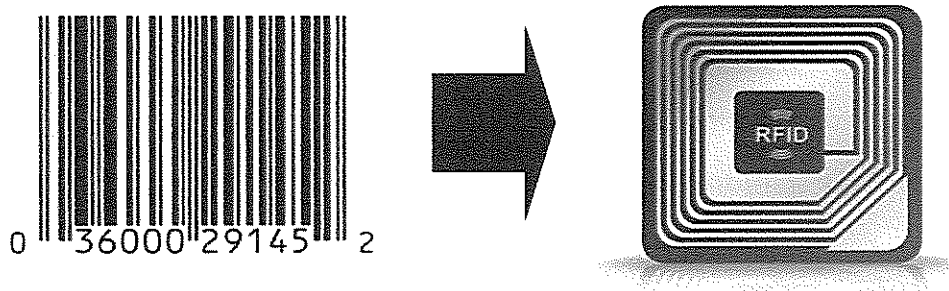
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบจลลาคที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 โดยที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน

ซึ่งในปัจจุบัน RFID มีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจ ติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใดๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้นๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลกไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (Contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อน ทำงานโดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่าน และเขียนข้อมูล ตัวอย่างการนำ RFID ไปใช้งาน เช่น ทดแทนระบบบาร์โค้ด โดยที่ระบบ RFID มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบบาร์โค้ดดังนี้



รูปที่ 1.1 ระบบบาร์โค้ด (รูปด้านซ้ายมือ) และระบบ RFID (รูปด้านขวามือ)

1. มีความละเอียด และสามารถบรรจุข้อมูลได้มากกว่า ซึ่งทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสินค้าแต่ละชิ้น แม้จะเป็น SKU (Stock Keeping Unit – ชนิดสินค้า) เดียวกันก็ตาม
2. ความเร็วในการอ่านข้อมูลจากแถบ RFID เร็วกว่าการอ่านข้อมูลจากแถบบาร์โค้ดหลายสิบเท่า
3. สามารถอ่านข้อมูลแถบ RFID ได้หลายๆ ชิ้นพร้อมกัน
4. สามารถส่งข้อมูลไปเครื่องรับได้โดยไม่จำเป็นต้องนำไปจ่อในมุมที่เหมาะสม อย่างการใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Non-Line of Sight)
5. ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยเทคโนโลยี RFID นั้นจะอยู่ที่ประมาณ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยระบบบาร์โค้ดอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์
6. สามารถเขียนทับข้อมูลได้ จึงทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งจะลดต้นทุนของการผลิตป้ายสินค้า ซึ่งคิดเป็นประมาณ 5% ของรายรับของบริษัท
7. สามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้น จากการอ่านข้อมูลซ้ำที่อาจเกิดขึ้นจากระบบบาร์โค้ด
8. ความเสียหายของป้ายชื่อ (Tag) น้อยกว่า เนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดไว้ภายนอกบรรจุภัณฑ์
9. ระบบความปลอดภัยสูงกว่า ยากต่อการปลอมแปลงและลอกเลียนแบบ
10. ทนทานต่อความเปียกชื้น แร่งสนั้สะเทือน การกระทบกระแทก

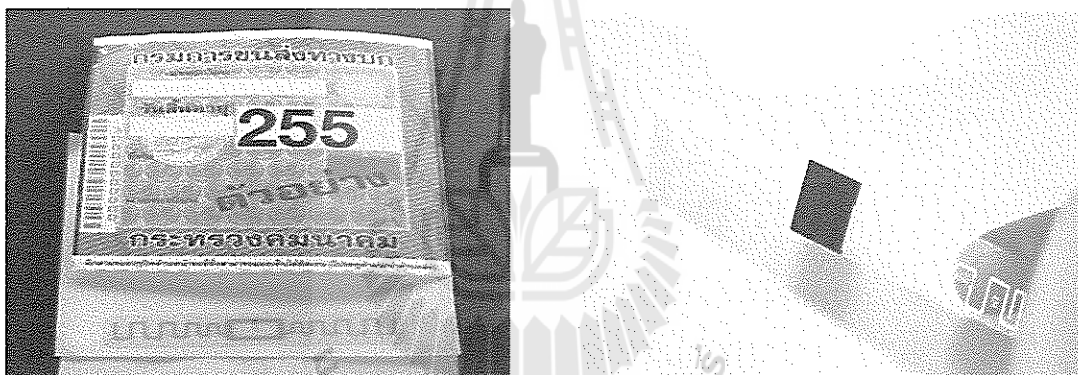
สำหรับตัวอย่างอื่นๆ ในการใช้ประโยชน์ เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ และรถจักรยานยนต์ที่เติบโตขึ้นเป็นอย่างมากนั้น ทำให้จำนวนรถยนต์บนท้องถนนมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการจราจรขนส่งทางบก เช่น การรอเข้าคิวจ่ายเงินบนทางด่วน เมื่อเราติด RFID Tag บนแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.) แล้วจะทำให้คนขับไม่ต้องจ่ายเงินสด โดยระบบจะหักเงินในบัญชีธนาคาร ซึ่งเป็นการประหยัดเวลา หรือการนำรถเข้าที่จอดรถตามห้างสรรพสินค้า เมื่อติด RFID Tag จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงาน ลดปัญหาในการรอคิว และสามารถจัดสรรพื้นที่จอดรถให้เพียงพอต่อจำนวนรถ อีกทั้งยังง่ายต่อการจัดเก็บสถิติข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

และในปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศมีความก้าวหน้า มีการนำไอทีรูปแบบใหม่ไปปรับใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ จนก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศที่ไม่หยุดยั้ง เทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีแห่งอนาคตที่กำลังได้รับความสนใจอยู่ในเวลานี้ และเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้ขับเคลื่อนพาหนะ ตลอดจนการพัฒนากระบวนการขนส่งในภาพรวมของประเทศ กรมการขนส่งทางบกจึงได้พัฒนาเครื่องหมาย

การเสียบทึบประจําปีรูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นการชำระภาษีโดยระบบ RFID จะได้รับเครื่องหมาย 2 ส่วน ประกอบด้วย

1. SMART TAG คือ เครื่องหมายการเสียบทึบประจําปีรูปแบบใหม่ ที่มีส่วนประกอบของ RFID Chip สำหรับติดที่กระจกหน้าของยานพาหนะ หรือจุดที่มองเห็นได้ชัดเจน

2. SMART PASS คือ RFID ที่ติดตั้งบริเวณไฟหน้ายานพาหนะ เพื่อให้การจับเก็บข้อมูลครบถ้วนที่สุด โดยเทคโนโลยีระบบ RFID จะมี Transceiver ซึ่งเป็นเครื่องอ่าน (Reader) ที่ได้เชื่อมต่อกับระบบคลื่นวิทยุ มีทั้งการรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ การแปลงสัญญาณวิทยุเป็นข้อมูลและทำการส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อถอดรหัสเครื่องหมายการเสียบทึบประจําปีที่ติดอยู่บริเวณกระจกยานพาหนะ และในอนาคตเมื่อมีการพัฒนาเต็มรูปแบบจะสามารถนำข้อมูลไปอ้างอิงใช้เชื่อมโยงระหว่างหน่วยงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้การทํางานมีความสะดวก รวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำมากยิ่งขึ้น



(ก) SMART TAG

(ข) SMART PASS

รูปที่ 1.2 การชำระภาษีโดยระบบ RFID

โครงการนี้จึงได้จัดทำ RFID Tag ใช้สำหรับติดแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.) ขึ้นมา โดยทำการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับอิมพีแดนซ์ของไอซีชิป (IC Chip) โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009 เพื่อจำลองผลในย่านความถี่ 920-925 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อให้แท็กข้อมูล (RFID Tag) สามารถใช้งานร่วมกับตัวอ่านข้อมูล (RFID Reader) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อแมตซ์อิมพีแดนซ์สายอากาศ และ ไอซีชิป (IC Chip) เมื่อมีแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.) อยู่ด้านหน้า แล้วทำให้ RFID Tag ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อเพิ่มระยะการอ่านข้อมูลระหว่างตัวอ่านข้อมูล (RFID Reader) กับแท็กข้อมูล (RFID Tag)
3. เพื่อออกแบบสายอากาศ RFID Tag ที่มีขนาด 10x100 มิลลิเมตร ให้สามารถใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.3 ขอบเขตงาน

1. ศึกษาและพัฒนา RFID Tag สำหรับติดแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.) ในย่าน ความถี่ 920-925 เมกะเฮิร์ตซ์
2. จำลองแบบ RFID Tag โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009
3. สร้างอุปกรณ์ต้นแบบ
4. วัด และทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเกี่ยวกับขอบเขตของโครงการที่จะทำ
2. ศึกษาข้อมูล และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ
3. ศึกษาทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID
4. ศึกษาการใช้งาน โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009
5. ออกแบบสายอากาศ RFID Tag
6. สร้างชิ้นงานต้นแบบ
7. ทดสอบอุปกรณ์ และปรับปรุงแก้ไข
8. สรุปผลการทดลอง เขียนรายงานโครงการและนำเสนอโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินงาน

กิจกรรม	พ.ศ. 2555-2556				
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษา หาข้อมูล RFID Tag ที่ใช้สำหรับติดบนแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์	↔				
2. ศึกษาการใช้งานและจำลองแบบชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009		↔			
3. สร้างชิ้นงานต้นแบบ			↔		
4. ทดสอบการทำงานของชิ้นงาน และตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาด				↔	
5. จัดทำรูปเล่มรายงาน และสื่อที่ใช้ในการนำเสนอ พร้อมทั้งเตรียมตัวนำเสนอชิ้นงาน					↔

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และไอซีชิป (IC Chip) เมื่อมีแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.) อยู่ด้านหน้า แล้วทำให้ RFID Tag ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. มีความรู้เกี่ยวกับโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009
3. เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ในการศึกษา ค้นคว้า และอ้างอิงของผู้ที่สนใจ

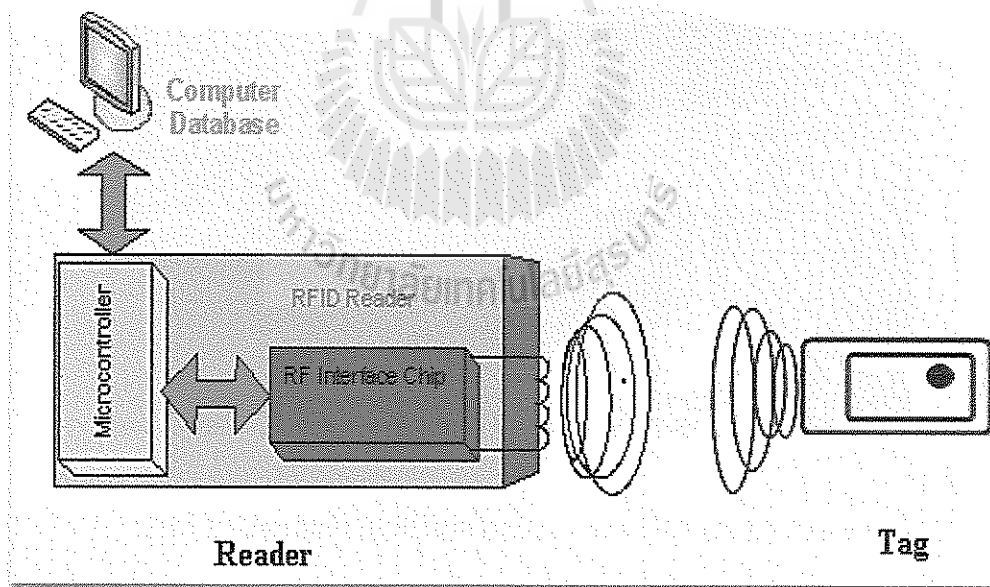


## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

ระบบ RFID มีส่วนประกอบหลักๆ อยู่สองส่วน คือ ส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) และ ส่วนของแท็ก (Tag) โดยแท็กจะเป็นอุปกรณ์ Passive ซึ่งไม่มีแหล่งพลังงานในตัวเองในการส่งข้อมูล จะอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่านเพื่อให้ตนเองมีพลังงานในการส่งข้อมูลกลับไปให้เครื่องอ่าน ในส่วนของแท็กจะประกอบด้วย สายอากาศ และ IC Chip ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ทั้งแบบอ่านได้อย่างเดียว หรือแบบอ่านและเขียนทับได้ ในส่วนเครื่องอ่านประกอบด้วย สายอากาศและส่วนประมวลผล อุปกรณ์ทั้งสองสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ในระยะไม่เกิน 10 เมตร โดยโครงงานนี้จะออกแบบสายอากาศสำหรับแท็กในย่านความถี่ UHF เท่านั้น ในการส่งข้อมูลระหว่างแท็กชนิดนี้กับเครื่องอ่าน เครื่องอ่านจะเป็นส่วนที่เริ่มส่งข้อมูลก่อน เมื่อแท็กได้รับข้อมูลจากเครื่องอ่าน ก็จะส่งข้อมูลกลับไป Passive Tag ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของระบบ RFID

## 2.2 ระบบ RFID ย่านความถี่ UHF

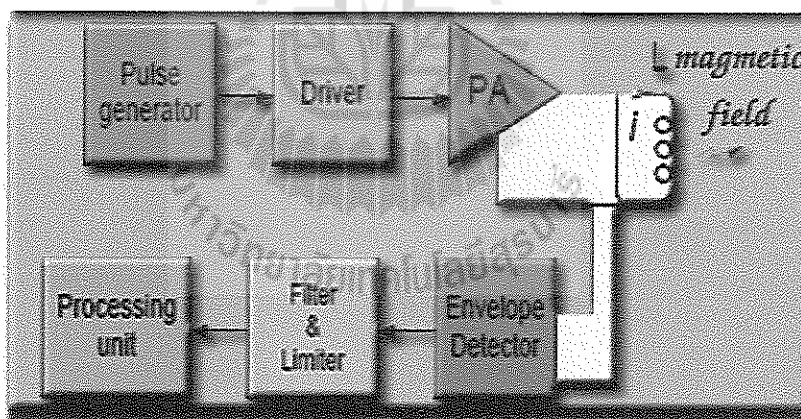
### 2.2.1 โครงสร้างของระบบ RFID

#### เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่าน คือ การเชื่อมต่อ เพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย สายอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณ ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล ซึ่งมักจะเป็นวงจรจำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยภายในเครื่องอ่าน จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ดังนี้

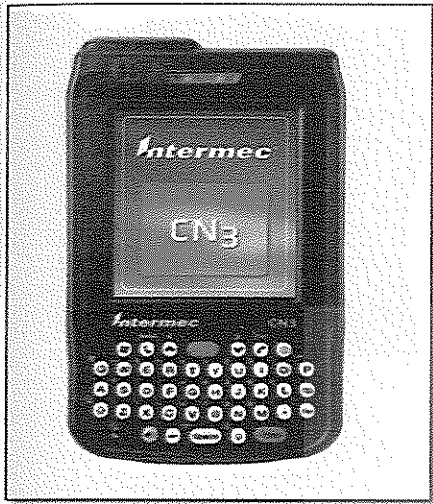
1. ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ (Transceiver)
2. ภาคสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier)
3. ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna)
4. วงจรจูนสัญญาณ (Tuner)
5. หน่วยประมวลผลข้อมูล (Processing Unit)



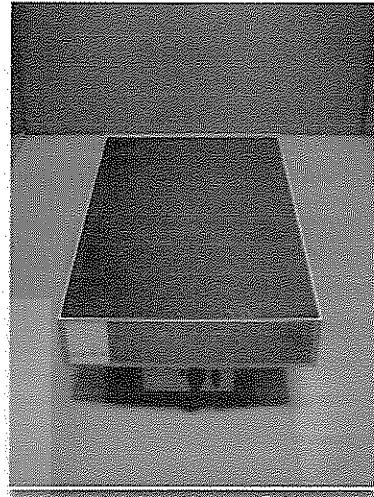
รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader)

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่าน มักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก หรือติดตั้งจนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate Size) เป็นต้น

ตัวอย่างเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบต่าง ๆ



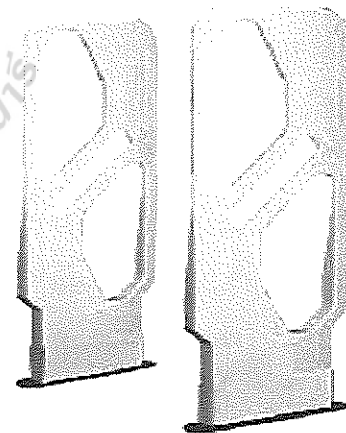
(ก) เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบพกพา



(ข) เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบติดผนัง



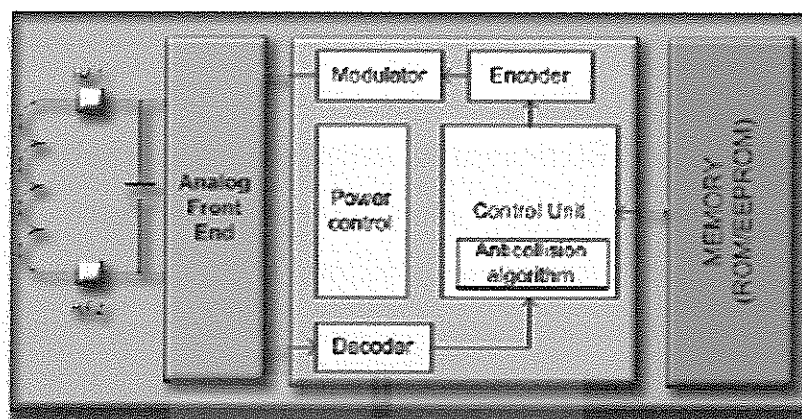
(ค) เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบอุโมงค์



(ง) เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบประตู

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบต่าง ๆ

## แท็ก (Tag)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของแท็ก (Tag)

โครงสร้างภายในแท็ก (Tag) จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. **ไอซีชิป (IC Chip)** ทำหน้าที่ เก็บข้อมูลของวัตถุในหน่วยความจำซึ่งในหน่วย ความจำนี้อาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านและเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะเก็บข้อมูลด้วยความปลอดภัย เช่น สิทธิในการเข้าออกประตู ส่วน RAM ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราว ในระหว่างที่แท็ก และเครื่องอ่านทำการติดต่อสื่อสารกันนอกจาก ROM และ RAM แล้ว ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการสื่อสารระหว่างแท็ก และเครื่องอ่าน และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้กับแท็ก

2. **สายอากาศ (Antenna)** สายอากาศ คือ ขดลวดขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้กับไอซีชิป (IC Chip) สายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมาเพื่อกระตุ้นให้แท็กอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถมีได้หลากหลายขนาด และรูปร่าง เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุที่จะนำแท็กไปติดตั้ง และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ สายอากาศจะถูกคิดไปโดยตรงกับ Transceiver (เครื่องส่ง-รับ) ให้เป็นอุปกรณ์ติดกัน

### ประเภทของแท็ก (Tag)

โดยทั่วไปแท็กอาจจะอยู่ในรูปแบบที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก ที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป แต่ไม่ว่าแท็กจะอยู่ในรูปแบบใดก็ตาม โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนของไอซีชิป และส่วนที่สอง คือ ขดลวด ซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับส่งสัญญาณ เราสามารถแบ่งประเภทของแท็กได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ แบบพาสซีฟ (Passive Tag) และแบบแอคทีฟ (Active Tag) และยังมีแบบ (Semi-Active/Semi-Passive) เป็นการผสมกัน เมื่อ Tag เข้ามาอยู่ในรัศมีของเครื่องอ่าน (ใช้กระแสไฟน้อยมาก) จะถูกกระตุ้นให้แบตเตอรี่ทำงาน ทำให้อ่านได้ไกลกว่า และทะลุทะลวงมากกว่าพาสซีฟ โดยแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามรูปแบบการนำไปใช้งาน ราคา โครงสร้างภายในและหลักการทำงาน ดังนี้

1. **Passive Tag** ไม่มีแหล่งพลังงาน หรือแบตเตอรี่ภายในแท็ก (Tag) เพราะการทำงานอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน (Reader) (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver

ข้อดี และข้อเสียของ Passive Tag

ข้อดี

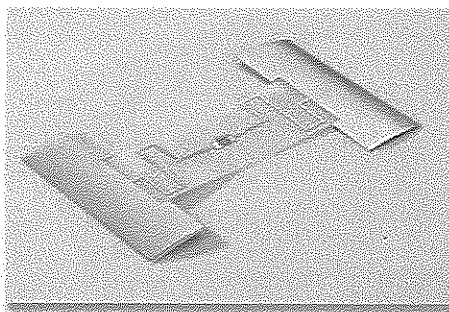
1. น้ำหนักเบา
2. แท็กมีขนาดเล็ก
3. ราคาถูก
4. อายุการใช้งานไม่จำกัด

ข้อเสีย

1. ระยะการรับส่งข้อมูลสั้น (ระยะไกลสุดประมาณ 2 เมตร)
2. หน่วยความจำมีขนาดเล็ก (ประมาณ 32 ถึง 128 บิต)
3. เครื่องอ่าน (Reader) ต้องมีกำลังส่งที่สูง
4. อาจเกิดข้อผิดพลาดหากทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวน

โครงสร้างภายในแท็กแบบ Passive Tag ประกอบด้วย

- 1) ส่วนการควบคุมการทำงานของภาครับส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front-End)
- 2) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital Control Unit)
- 3) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) อาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM



รูปที่ 2.5 Passive Tag

**2. Active Tag** ป้ายชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน โดยป้ายแบบนี้สามารถมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ การที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดจะไม่สามารถนำแท็กมาใช้งานได้อีก แต่สามารถออกแบบวงจรของแท็กให้ใช้กระแสไฟน้อยๆ ในการทำงานก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

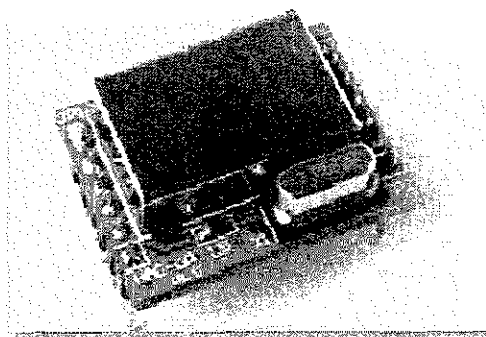
ข้อดี และข้อเสียของ Active Tag

- ข้อดี**
1. มีหน่วยความจำขนาดใหญ่ (ประมาณ 1 เมกะไบต์)
  2. ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (ระยะไกลสุด 6 เมตร)
  3. ทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี

- ข้อเสีย**
1. ราคาสูง
  2. แท็กมีขนาดใหญ่
  3. ระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด ตามอายุของแบตเตอรี่ประมาณ 3-7 ปี

ในปัจจุบันนิยมใช้แท็กแบบ Passive Tag มากกว่าแบบ Active Tag เนื่องจาก Passive Tag ได้เปรียบในเรื่องของ ราคา และอายุการใช้งาน นอกจากการแบ่งแท็กตามชนิดของแท็กแล้ว ยังสามารถแบ่งแท็กได้ตามประเภทรูปแบบในการใช้งานได้ 3 แบบ คือ

1. แบบที่สามารถอ่าน และเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read - Write)
2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น แต่สามารถอ่านได้อย่างอิสระ (Write - One, Read - Many : WORM)
3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read - Only)



รูปที่ 2.6 Active Tag

### 2.2.2 ความถี่ (Frequency)

ปัจจุบันย่านความถี่สำหรับการใช้งาน RFID ทั่วโลกจะอยู่ในย่านความถี่ ISM Band (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่หลายประเทศกำหนดไว้สอดคล้องกัน ในการอนุญาตให้ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ มี 4 ย่านความถี่ และสำหรับย่านความถี่ใน ISM Band ที่กำหนดให้ใช้สำหรับ RFID ทั้ง 4 ย่านความถี่ มีดังนี้

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz
- ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF) 13.56/27.125 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) 433/868/915 MHz
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) 2.45/5.8 GHz

การใช้งานในสองย่านความถี่แรก (LF และ HF) จะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (โดยทั่วไประบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำ มีระยะการอ่านประมาณ 10-20 เซนติเมตร และระบบ RFID ในย่านความถี่สูง มีระยะการอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ เป็นต้น

ส่วนระบบ RFID ในย่านความถี่สูงยิ่งนั้น จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (โดยทั่วไประบบ RFID ในย่านความถี่สูงยิ่ง มีระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการบนทางด่วน เป็นต้น และในปัจจุบันการวิจัย และพัฒนาระบบ RFID ในย่านความถี่ไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2.45 GHz และ 5 GHz ได้มีการดำเนินการสำหรับใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตร

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและการใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
<p>ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz</p> <p>ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ 125 kHz</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้</li> <li>- ต้นทุนไม่สูง</li> <li>- ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ</li> <li>- ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Access Control</li> <li>- บัสสัตว์</li> <li>- ระบบคงคลัง</li> <li>- รถยนต์</li> </ul>
<p>ย่านความถี่สูง 10-15 MHz</p> <p>ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ 13.56 MHz</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง</li> <li>- ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต</li> <li>- ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง</li> <li>- ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Access Control</li> <li>- สมาร์ทการ์ด</li> </ul>
<p>ย่านความถี่สูงยิ่ง 850-950 MHz และ ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.4-5.8 GHz</p> <p>ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 2.45 GHz</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระยะการรับส่งข้อมูล ใกล้ (10 เมตร)</li> <li>- ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง</li> <li>- ราคาแพง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- รถไฟ</li> <li>- ระบบเก็บค่าผ่านทาง</li> </ul>



ตารางที่ 2.2 การจัดสรรคลื่นความถี่ย่าน UHF สำหรับ RFID ในประเทศต่าง ๆ

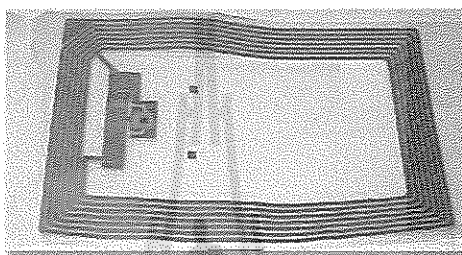
ประเทศ	ความถี่ (MHz)	ขีดจำกัดกำลังส่ง (EIRP)	ข้อบังคับ	หมายเหตุ
จีน (แผ่นดินใหญ่)	917 – 922	2W	ต้องขออนุญาตแบบชั่วคราว	กำหนดให้ใช้เป็นการชั่วคราว
ญี่ปุ่น	952 – 955	0.02W	ไม่ต้องขออนุญาต	เริ่มใช้ได้ ค.ศ. 2006
	952 – 954	4W	ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
เกาหลีใต้	908.5 – 914	4W	ไม่ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
	910 – 914	4W	ไม่ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
ไต้หวัน	922 – 928	1W	ไม่ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
สหภาพยุโรป	865 – 868	0.1W	For RFID Individual License, is not required	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
	865.6 - 867.6	2W	listen before talk (LBT)	
	867.6 – 868	0.5W	Shall be used preferably with the option of frequency agility	
	868 - 868.6	0.025W	For non-specific	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
	868.7 - 869.2	0.025W	Short range devices	
	869.4 - 869.65	0.5W	Individual license	
869.7 - 870	0.005W	Is not required		
สหรัฐอเมริกา	902 – 928	4W (e.i.r.p.)	For device using digital modulation Or spread spectrum Unlicensed	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
สิงคโปร์	866 – 869	0.5W	ไม่ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
	823 – 925	0.5W	ไม่ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
		2W	ต้องขออนุญาต	
มาเลเซีย	868.1	0.5W	ไม่ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
		0.2W	ต้องขออนุญาต	
	919 – 923	0.5W 2W	ไม่ต้องขออนุญาต ต้องขออนุญาต	
ฮ่องกง	865 – 868	0.1W	ไม่ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน
	865.6 - 868	0.5W		
	865.6 - 867.6	2W		
	920 – 925	4W (e.i.r.p.)		
ไทย	920 – 925	4W	ไม่ต้องขออนุญาต	ใช้ได้แล้วในปัจจุบัน

### 2.2.3 สายอากาศ (Antenna)

การออกแบบสายอากาศสำหรับ RFID Tag แบ่งได้ 2 แบบ คือ Inductive Coupling และ Microwave Coupling

#### Inductive Coupling (125 kHz –15 MHz)

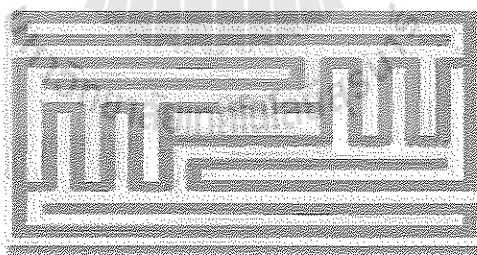
- สายอากาศมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับ  $\lambda$
- Coupling เฉพาะสนามแม่เหล็ก
- เป็นแท่งชนิดขดลวดระนาบ



รูปที่ 2.7 Tag แบบ Inductive Coupling

#### Microwave Coupling (868 MHz –5.8 GHz)

- เป็นสายอากาศไดโพลแบบปกติ
- ระบบแมตซ์ซึ่งทำให้ขนาดของสายอากาศเล็ก



รูปที่ 2.8 Tag แบบ Microwave Coupling

#### สายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น

สายอากาศไดโพลที่มีการจำกัดความยาวที่นิยมใช้กันมาก คือ สายอากาศไดโพลที่มีความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ใช้งาน ( $l = \lambda/2$ ) หรือที่เรียกว่า สายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (Half-Wavelength Dipole) ซึ่งสามารถคำนวณหาองค์ประกอบความเข้มของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากสายอากาศไดโพลความยาวนี้ได้ โดยแทนค่าความยาว

$$l = \lambda/2$$

## 2.3 การแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation)

### 2.3.1 การส่งผ่านอากาศว่าง (Free space Transmission)

ระบบการส่งผ่านอากาศว่างโดยทั่วไปประกอบด้วย ส่วนของสายส่ง สายอากาศภาคส่ง และสายอากาศภาครับ โดยพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณา ได้แก่ กำลังส่ง พารามิเตอร์ของสายอากาศ (อัตราขยายโวลตาไรซ์ และสัมประสิทธิ์การสะท้อน) ความยาวคลื่น และระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศภาครับ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จะพิจารณาตามหลักของ Friis Transmission Equation

$$P_R = P_T \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_T G_R \quad (2.1)$$

$P_T$ : กำลังงานส่ง (Transmitted Power)

$P_R$ : กำลังงานรับ (Received Power)

$R$ : ระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศภาครับ

$\lambda$ : ความยาวคลื่น (Wavelength)

$G_T$ : อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (Gain of the transmitting antenna)

$G_R$ : อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (Gain of the receiving antenna)

$G$ : วัดจากความสัมพันธ์ของสายอากาศแบบไอโซโทปิก [dBi]

### 2.3.2 การดูดซับ (Absorption)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่เกิดการดูดซับพลังงานเฉพาะการส่งผ่านสุญญากาศเท่านั้น ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดการสูญเสียกำลังงาน และกำลังงานเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบอื่น กระบวนการนี้เรียกว่า การลดทอน (Attenuation) การดูดซับกำหนดโดยส่วนจินตภาพของ Refractive Index  $n = \sqrt{\epsilon_r}$  ค่าสัมบูรณ์ของความเข้มสนามจะลดลง ตามส่วนของการเดินทางความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง  $x$  ใดๆ ขึ้นอยู่กับสองพารามิเตอร์ คือ ระยะทาง  $x$  ใดๆ จากแหล่งกำเนิด RF และคุณสมบัติของสื่อที่ใช้ในการส่งคลื่น การลดทอนของคลื่นสามารถคำนวณโดยอ้างอิงจากอัตราส่วนระหว่าง ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดกับความเข้มสนามไฟฟ้า ที่ตำแหน่ง  $x$  ใดๆ ที่เราสนใจ หลังจากทีคลื่นได้ถูกส่งผ่านทางสื่อการส่งแล้ว การลดทอนของคลื่นที่ขึ้นอยู่กับระยะทางกำหนด ดังสมการที่ 2.2

$$A[dB] = 20 \log \left[ \frac{E(0)}{E(x)} \right] \quad (2.2)$$

การสูญเสียในอากาศว่างที่ระยะ  $d$  ใดๆ คือ

$$a_0[dB] = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda} \quad (2.3)$$

วัสดุที่เป็นสารไดอิเล็กตริก (Dielectric) อย่างเช่น กระจกแข็ง กระจกแข็ง ไม้แห้ง พลาสติกแบบ Nonconductive จะไม่เกิดการดูดซับ และจะมีค่า Refractive Indices  $\epsilon_r \approx 2-4$  ในย่านความถี่ 900 เมกะเฮิร์ตซ์

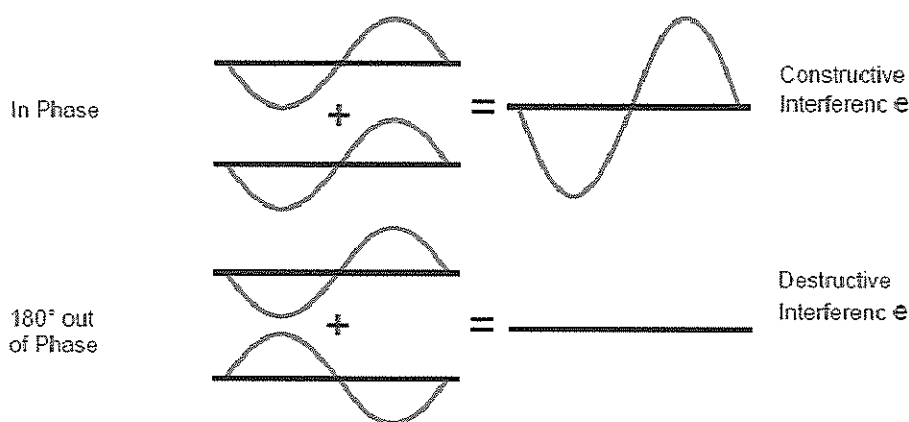
ส่วนโลหะ คลื่นจะสะท้อนกลับเมื่อตกกระทบผิวโลหะ ส่วนน้ำที่มี Dielectric Constant ประมาณ 80 จะสะท้อนคลื่นเกือบทั้งหมด สารไดอิเล็กตริกนั้นมักจะมีผลกระทบในย่านความถี่ UHF RFID และการส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นที่ระยะ Far Field ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า  $D$  ขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้า  $E$  และสภาพยอมการดูดซับไฟฟ้าของสื่อที่ใส่ส่ง ( $\epsilon$ ) ดังสมการที่ 2.4

$$D = \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad (2.4)$$

เมื่อ  $\epsilon_0$  คือ สภาพยอมของสุญญากาศ และ  $\epsilon_r$  คือ สภาพยอมในการให้ไฟฟ้าส่งผ่าน สามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุที่มีไดอิเล็กตริกสูงๆ เพื่อที่จะจัดการส่งผลกระทบ คือ คลื่นตกกระทบ และการดูดซับ เพื่อที่จะให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

### 2.3.3 การสะท้อน (Reflection)

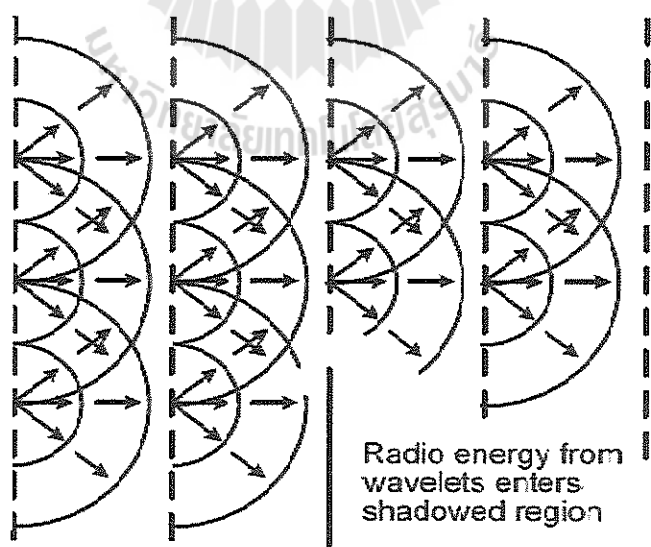
การสะท้อนแบบสมบูรณ์ เมื่อคลื่นเดินทางจะเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน และท่อนำคลื่น (Wave Guides) ถือเป็นตัวอย่างของอุปกรณ์ที่เกิดการสะท้อนแบบสมบูรณ์ โดยคลื่นหลายๆ เส้นทางจะเกิดการรวมกัน หรือการหักล้างกัน ซึ่งเหตุการณ์นี้เราไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในการออกแบบ RFID Tag ในย่าน UHF การสะท้อนคลื่นเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ การสะท้อนโดยตรงจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวปกติ และการสะท้อนแบบกระจายของคลื่นจะเกิดบริเวณพื้นผิวขรุขระ



รูปที่ 2.9 การสะท้อน (Reflection)

### 2.3.4 การเลี้ยวเบน และการหักเห (Diffraction and Refraction)

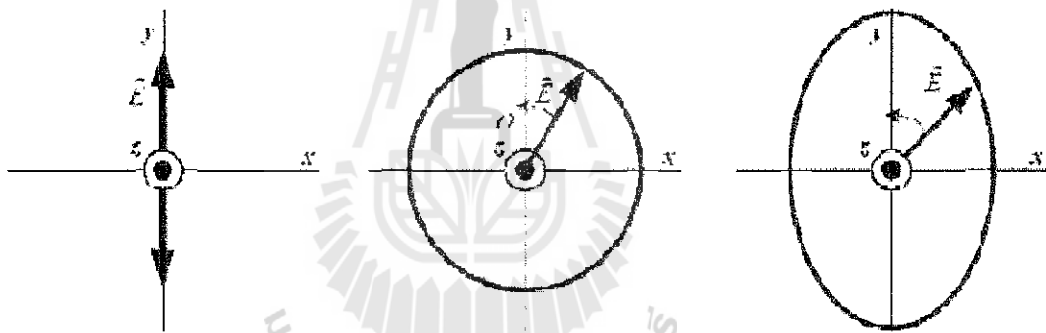
เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง จะเกิดการแพร่คลื่นที่มีความเร็วที่แตกต่างกัน และทำให้คลื่นเกิดการเปลี่ยนเส้นทาง การเปลี่ยนเส้นทางของคลื่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่สอง และเรียกเหตุการณ์นี้ว่า การหักเห (Refraction) สำหรับการเลี้ยวเบน (Diffraction) คือ การโค้งงอของคลื่นรอบๆ วัตถุ หรือการกระจายหลังจากการส่งคลื่นผ่านช่องว่าง



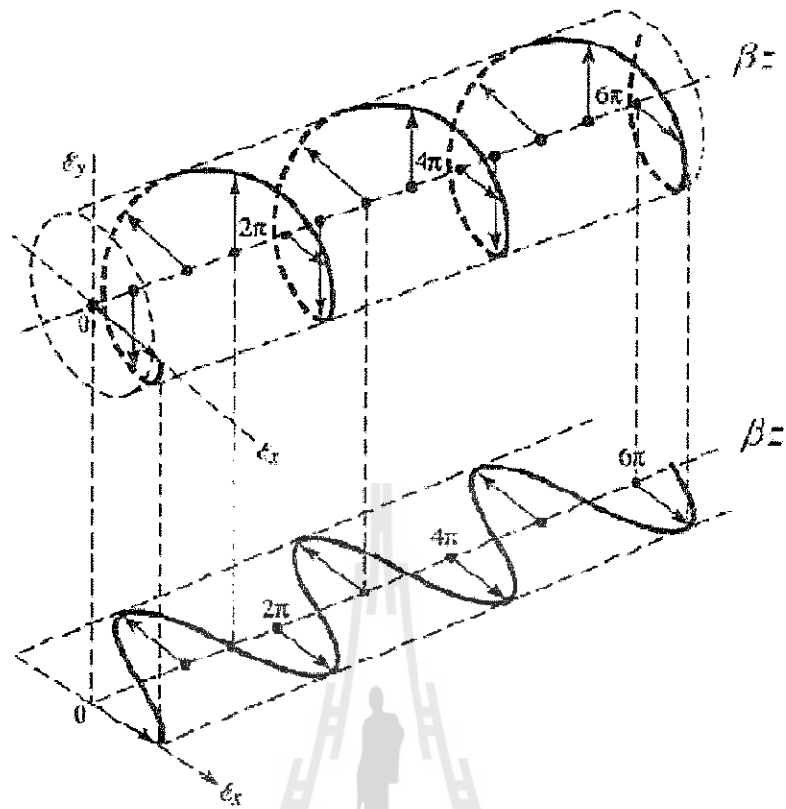
รูปที่ 2.10 การเลี้ยวเบน (Diffraction)

### 2.3.5 โพลาริเซชัน (Polarization)

สนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้พิจารณาโพลาริเซชัน โดยเราสามารถแบ่งโพลาริเซชันได้ 3 ชนิด คือ แบบเชิงเส้น วงกลม และวงรี สำหรับการโพลาริเซชันแบบวงรี (Elliptical Polarization) มีการเคลื่อนที่ของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเป็นแบบวงรี ในระนาบตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่น ส่วนโพลาริเซชันแบบวงกลมจะขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของโพลาริเซชันแบบวงกลม เรียกโพลาริเซชันแบบวนซ้าย หรือวนขวาเรียกตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) สำหรับโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับพื้นผิวของโลกแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ โพลาริเซชันแนวนอน (Horizontal Polarization) ซึ่งมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าขนานกับพื้นผิวของโลก และโพลาริเซชันแนวตั้ง (Vertical Polarization) ซึ่งจะมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าตั้งฉากกับพื้นผิวของโลก และโพลาริเซชันวงกลมหน้าคลื่นจะปรากฏการหมุนทุกๆ 90 องศา ระหว่างแกนตั้ง และแกนนอนจะทำให้ครบ 360 องศา ในทุกๆ หนึ่งคาบ โดยมีขนาดของสนามไฟฟ้าเท่ากัน










รูปที่ 2.11 โพลาริเซชันแบบ เชิงเส้น วงกลม และวงรี



รูปที่ 2.12 สนามไฟฟ้าโพลาไรซ์แบบวงกลม

กำลังงานการส่งผ่านขึ้นอยู่กับสายอากาศส่ง และสายอากาศรับ เมื่อสายอากาศมีโพลาไรเซชันเชิงเส้น (Horizontal and Vertical) ถ้าวางสายอากาศทั้งสองอยู่ในระนาบเดียวกัน และมีการสูญเสียกำลังงาน 0 dB แต่ถ้าสายอากาศตัวหนึ่งมีโพลาไรเซชันเชิงเส้น อีกตัวมีโพลาไรเซชันวงกลม จะเกิดการสูญเสียกำลังงาน 3 dB อย่างไรก็ตาม ถ้าแท็ก (Tag) ซึ่งมีโพลาไรเซชันเชิงเส้น (Linear Polarization Label Antenna) ส่งคลื่นตรงไปยังเครื่องอ่าน (Reader) ที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังงานจะทำให้เกิดการสูญเสียทั้งหมด (Loss is Infinite) ดังแสดงในรูปที่ 2.13

		Reader Antenna Polarisation		
		 circular	 vertical	 horizontal
Label Orientation	 vertical	3dB	0dB	$\infty$ dB
	 horizontal	3dB	$\infty$ dB	0dB
	 slant	3dB	3dB	3dB
	 parallel to antennabeam	$\infty$ dB	$\infty$ dB	$\infty$ dB

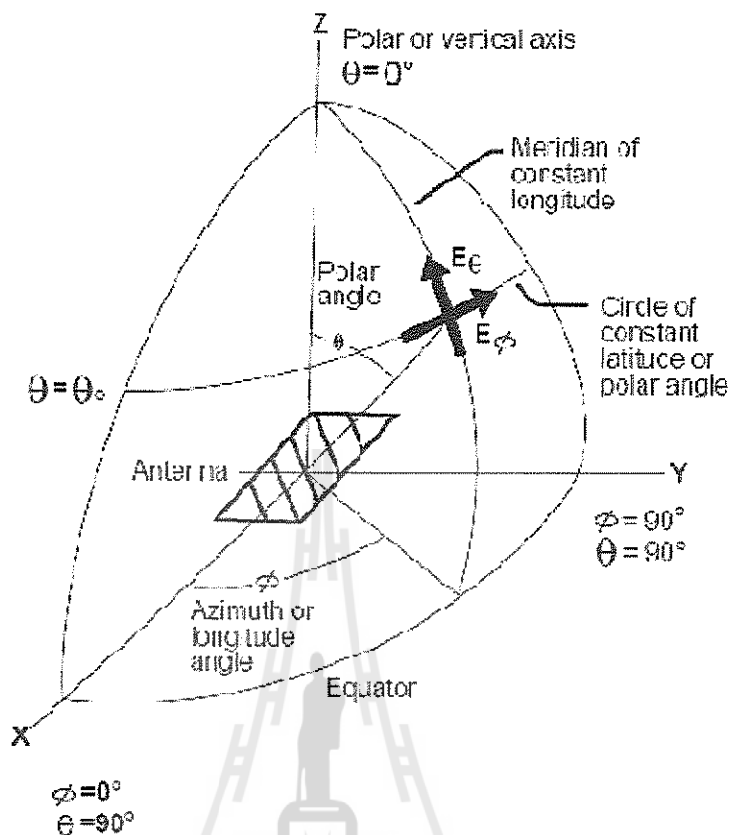
รูปที่ 2.13 Polarization Mismatch

## 2.4 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ (Fundamental Antenna Parameters)

### 2.4.1 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern)

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกำหนดโดย ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ (Mathematical Function) ของการแสดงรูปภาพของคุณสมบัติการแผ่คลื่นของสายอากาศ ในฟังก์ชันพื้นที่พิกัดคุณลักษณะเอาที่พู่ทของสายอากาศ สามารถอธิบายได้โดยแบบรูปการแผ่พลังงานซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์การกระจายแบบรูปการแผ่พลังงาน ในฟังก์ชันทิศทางในอากาศแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีการแสดงให้เห็นเป็น 3 ระนาบ สองระนาบที่สำคัญ คือ ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ระนาบแรก คือ แบบรูปการแผ่พลังงานของสนาม ไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด ระนาบต่อมา คือ ส่วนที่เป็นสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงสุด และระนาบนี้จะเป็นระนาบที่เป็นค่าเฉลี่ยทิศทางสูงสุด

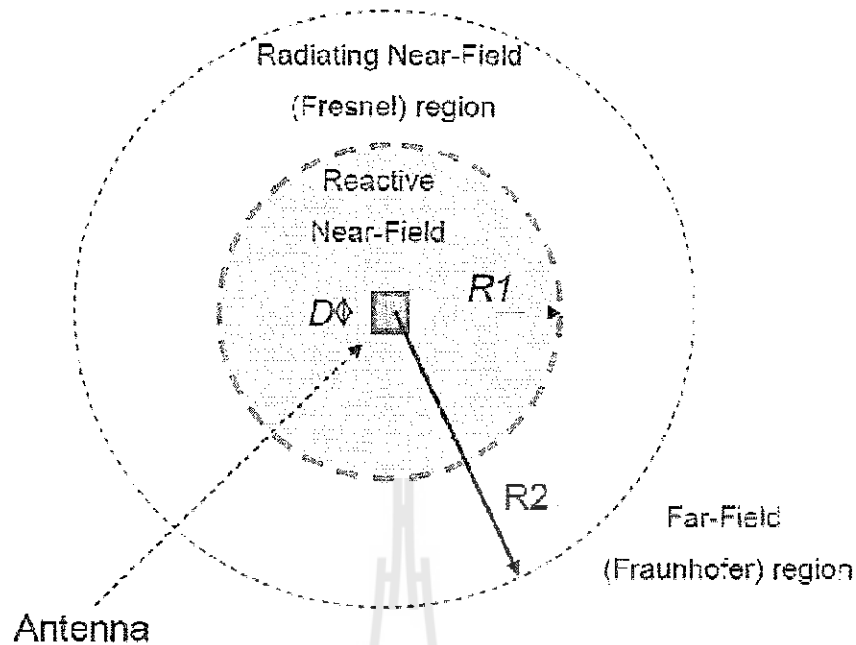




รูปที่ 2.14 แบบรูปการแผ่กำลังงาน (Radiation Pattern)

#### 2.4.2 บริเวณสนาม (Field Regions)

พื้นที่ว่างหรืออวกาศว่างที่อยู่ล้อมรอบสายอากาศ ในขณะที่มีการแผ่พลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ คือ Reactive Near-Field Region, Radiating Near Field (Fresnel Region) และ Far Field Region (Fraunhofer Region) โดยพิจารณาจากระยะทางที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งบริเวณรอยต่อหรือขอบเขตของแต่ละบริเวณนั้น ไม่ได้มีผลในเรื่องความแตกต่างของพฤติกรรมของสนามดังกล่าวเท่าใดนัก ขึ้นอยู่กับการออกแบบรูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศ โดยที่  $D$  คือ ส่วนที่กว้างที่สุดของสายอากาศ และ  $R$  คือ ระยะทางของบริเวณต่างๆ



รูปที่ 2.15 สนามบริเวณรอบสายอากาศ

### 1. สนามระยะใกล้รีแอคทีฟ (Reactive Near Field Region)

บริเวณสนามใกล้รีแอคทีฟ คือ บริเวณโดยรอบและอยู่ใกล้สายอากาศมากที่สุด โดยสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะเป็นสนามที่เกิดจากค่ารีแอคแตนซ์ หรือกำลังที่เป็นจำนวนจินตภาพเป็นส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นสายอากาศแบบใดก็ตาม เราจะสมมุติให้บริเวณที่อยู่ล้อมรอบสายอากาศนั้นๆ มีรูปร่างเป็นวงกลม โดยมีสายอากาศเป็นจุดศูนย์กลาง ซึ่งรัศมีของบริเวณสนามระยะใกล้รีแอคทีฟ (Reactive Near Field Region) กำหนดให้มีค่าดังสมการ (2.5)

$$R_1 \leq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.5)$$

โดยที่ R คือ ระยะทางของการแผ่กระจายคลื่น

D คือ ขนาดด้านที่กว้างหรือยาวที่สุดของสายอากาศ

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของสนามที่แผ่พลังงานออกมาจากสายอากาศ ซึ่งสมการนี้เหมาะสำหรับใช้กับสายอากาศชนิดเส้นลวด และสายอากาศชนิดช่องเปิดเท่านั้น

## 2. สนามระยะใกล้เฟรสเนล (Radiating Near Field Region หรือ Fresnel)

บริเวณสนามระยะใกล้ที่มีการแผ่กระจายจะเป็นบริเวณที่อยู่ตรงกลาง ระหว่างบริเวณสนามระยะใกล้รีแอกทีฟ และบริเวณสนามระยะไกล บางครั้งอาจเรียกว่าบริเวณเฟรสเนล (Fresnel Region) โดยสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีการแผ่กระจายกำลังงานที่เป็นส่วนของจำนวนจริงเป็นส่วนใหญ่ แต่การแผ่กระจายของสนามเชิงมุม (Angular Field) ยังคงขึ้นอยู่กับระยะทางที่ห่างออกไปจากสายอากาศด้วย ในการกำหนดพื้นที่บริเวณนี้จะกำหนดให้ระยะทางดังกล่าวเท่ากับหรือมากกว่าหนึ่ง ( $\beta r \geq 1$ ) ซึ่งสายอากาศทุกชนิดจะถูกสมมุติให้มีบริเวณเฟรสเนลเป็นพื้นที่ที่อยู่ระหว่างวงกลมสองวงที่มีรัศมี หรือระยะทางต่างกัน คำนวณโดยใช้สมการที่ (2.6)

$$0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R_2 \leq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.6)$$

## 3. สนามระยะไกล (Far Field Region)

สำหรับบริเวณสนามระยะไกลนั้น จะเป็นบริเวณที่อยู่ในพื้นที่วงกลมวงนอกสุดที่ถัดออกไปจากบริเวณเฟรสเนล บางครั้งเรียกว่าบริเวณฟรานโฮเฟอร์ (Fraunhofer Region) การพิจารณาสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้ จะกำหนดให้เทอมของระยะทาง ( $1/r$ ) มีค่ามากกว่าหนึ่งมากๆ ( $\beta r \gg 1$ ) ค่าตอบของสนามที่ได้จะไม่มียังองค์ประกอบของสนามเชิงมุม เนื่องจากในเงื่อนไขของสนามระยะไกลนี้ องค์ประกอบของสนามเชิงมุมดังกล่าว จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสายอากาศไปยังจุดสังเกตใดๆ ทั้งสิ้น องค์ประกอบของสนามที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นตัดขวางกับทิศทางการเดินทาง (Transverse Electromagnetic Wave ; TEM Wave) ทำให้สามารถนำมาพล็อตเพื่อหาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ที่เกิดขึ้นจริงจากสายอากาศใดๆ ที่ต้องการได้ โดยระยะของสนามระยะไกลของสายอากาศทุกชนิดจะถูกกำหนดโดยสมการ (2.7)

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.7)$$

### 2.4.3 ความต้านทานขาเข้า (Input Impedance)

ความต้านทานขาเข้า คือ พารามิเตอร์ที่อธิบายถึงพฤติกรรมในส่วนของวงจร โดยปกติแล้วในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำคัญๆ ที่ทำการแมตช์ความต้านทานขาเข้า ( $Z_{antenna}$ ) เพื่อที่จะให้แก่วัดความต้านทานแหล่งจ่าย ในส่วนของคุณสมบัติของ RFID โดยปกติแล้วความ

ต้านทานของไอซีชิป ( $Z_{chip}$ ) ที่จะส่งกำลังงานสูงสุดจากแหล่งจ่ายไปยังสายอากาศ จะต้องเป็นสังยุคของจำนวนเชิงซ้อนของไอซีชิป

ในทางปฏิบัติแล้ว การแมตช์ที่ดีกำลังงานที่สะท้อนกลับต้องมีค่าน้อยๆ ในการเชื่อมต่อระหว่างไอซีชิปกับสายอากาศ การสะท้อนกลับจะมีผลอย่างมากในการถ่ายโอนกำลังงานสูงสุดในการใช้ UHF RFID จะมีกำลังงานที่น้อยมากในการออกแบบ ดังนั้นการแมตช์จึงมีความสำคัญอย่างมากในการที่จะทำให้ RFID Tag มีระยะเวลาอ่านที่ดี

#### 2.4.4 ความต้านทานการแผ่คลื่น (Radiation Resistance)

ความต้านทานการแผ่คลื่นของสายอากาศจะเท่ากับความต้านทานที่หายไป เหมือนกับผลรวมของกำลังงานการแผ่คลื่น เมื่อกระแสของความต้านทานนี้เท่ากับกระแสที่เข้ามาในสายอากาศความต้านทานรวมของสายอากาศ ( $R_{antenna}$ ) สามารถแยกออกเป็นวงจรสองส่วนที่อนุกรมกันในความต้านทานที่แตกต่างกัน

$$R_{antenna} = R_{rad} + R_{loss} \quad (2.8)$$

ซึ่ง  $R_{rad}$  คือ ความต้านทานการแผ่คลื่น และ  $R_{loss}$  คือ ความต้านทานที่สูญเสียไปเนื่องจาก Non-Perfect Conductor's และวัสดุที่ใช้ทำ Substrate

$$R_{loss} = R_{loss,con} + R_{loss,sub} \quad (2.9)$$

#### 2.4.5 อัตราขยาย และสภาพเจาะจงทิศทาง (Gain and Directivity)

อัตราส่วนระหว่างความเข้มของการแผ่คลื่นในทิศทาง  $d$  ใดๆ เทียบกับค่าเฉลี่ยการแผ่คลื่นในทุกๆ ทิศทาง คือ อัตราขยายของสายอากาศในทิศทางนั้นๆ อัตราขยายในทิศทางใดๆ คือ อัตราที่สายอากาศจะแผ่กำลังงานสูงสุดไปในทิศทางนั้นๆ เรียกว่า สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ และสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การแผ่คลื่น คือ อัตราขยายของสายอากาศใดๆ ในทิศทางที่ความหนาแน่นกำลังงานการแผ่คลื่นสูงสุดแผ่ไป เราจะได้รับกำลังงาน  $G$  เท่าของกำลังงานที่เราได้รับจากสายอากาศไอโซโทรปิก อัตราขยายของสายอากาศสามารถกำหนดโดย การที่เราสนใจการแผ่คลื่นในหลักการที่ว่าทิศทางการแผ่คลื่นเทียบกับ แหล่งกำเนิดไอโซโทรปิก กำหนดโดย

$$Gain = 4\pi r^2 \left( \frac{S}{P_{in}} \right) \quad (2.10)$$

ความหนาแน่นกำลังงานที่สนามระยะไกล  $S$  คำนวณได้จากสมการ (2.11)

$$S = \frac{P_m \cdot \text{Gain}}{4\pi d^2} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (2.11)$$

$P_m$  คือ กำลังงานเฉลี่ยของสายอากาศในหน่วย วัตต์ (w)

Gain คือ อัตราขยายที่ต้องคำนวณ

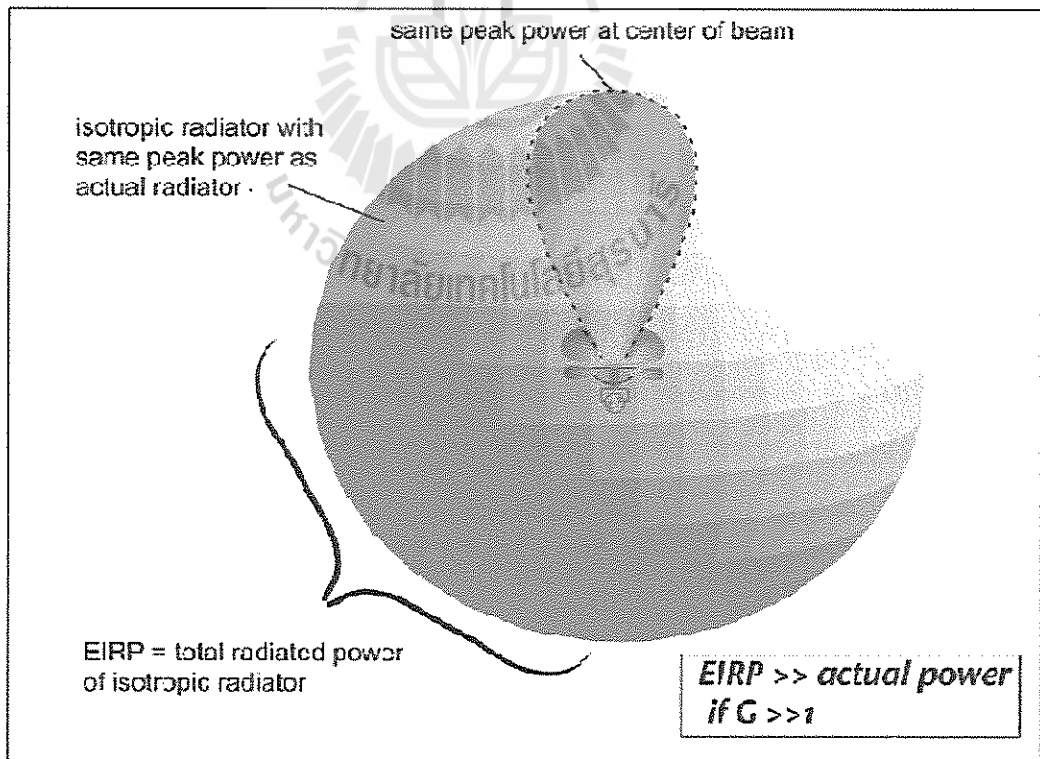
$d$  คือ ระยะทางจากสายอากาศ

โดยทั่วไปเราสามารถหาอัตราขยายได้อีกจากความสัมพันธ์ของ Directivity กับ ประสิทธิภาพของสายอากาศ ( $e$ )

$$G(\theta, \phi) = eD(\theta, \phi) \quad (2.12)$$

โดยที่  $D$  กำหนดโดย

$$D(\theta, \phi) = \frac{\text{power radiated in a fixed direction}(\theta, \phi)}{\text{total power radiated by the antenna}} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.16 Definition of effective isotropic radiated power

#### 2.4.6 ประสิทธิภาพ (Efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศ คำนึงถึงผลกระทบของการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียทางด้านขาเข้า หรือภายในโครงสร้างของสายอากาศ ประสิทธิภาพ คือ อัตราร้อยละของกำลังงานที่ถูกส่งไปในสายอากาศจริง ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการดูดซับหรือการสะท้อน สำหรับสายอากาศในอุดมคติคือ สายอากาศที่ไม่เกิดการสูญเสีย อัตราขยายจะเท่ากับกำลังงานที่ถูกส่งมา หลักการนี้สามารถกำหนดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ (การไม่แมตช์ระหว่างไอซีซีกับสายอากาศ) หรือการเหนี่ยวนำ และการสูญเสียไดอิเล็กตริก

#### 2.4.7 แบนด์วิดท์ (Bandwidth) และค่า Q

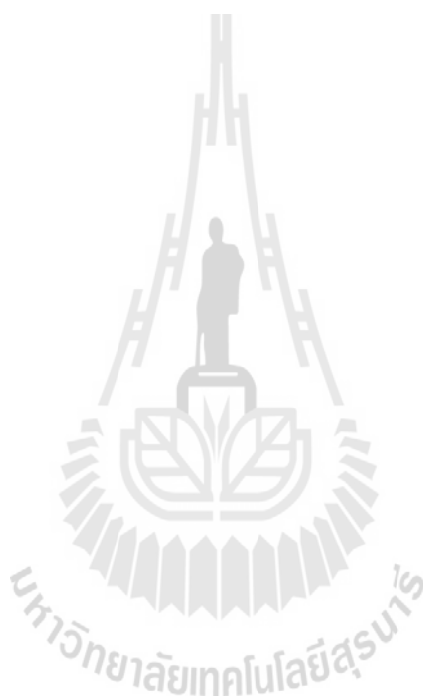
แบนด์วิดท์สามารถกำหนดความกว้างของความถี่ทั้งสองข้าง จากความถี่กลาง (ตัวอย่างเช่น ความถี่ Resonance ของสายอากาศไดโพล) ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศ เช่น ความต้านทานขาเข้า (Input Impedance) แบบรูปการแผ่กำลังงาน ความกว้างลำคลื่น (Beam Width) โพลาริเซชัน (Polarization) ระดับโหลบข้าง (Side Lobe Level) ทิศทางลำคลื่น (Beam Direction) ประสิทธิภาพการแผ่คลื่น (Radiation Efficiency) ภายในสามารถยอมรับได้ ที่ความถี่กลางสายอากาศจะทำหน้าที่เก็บพลังงาน (ความจุไฟฟ้า) แล้วเปลี่ยนเป็นกระแส (ด้วยการเหนี่ยวนำหรือ Inductance) และแผ่กำลังงานออกไปในอากาศเป็นตัวต้านทาน (Resistance) ดังนั้น จะเขียนวงจร RLC โดยการกำหนดวงจรซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายอากาศสำหรับสายอากาศไดโพลที่สั้นเปรียบเทียบกับ ความยาวคลื่นจะเป็นเหมือนการรวมแบบอนุกรมของตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ กับค่าความต้านทานบางตัว โดยทั่วไปแล้วค่าความเหนี่ยวนำและความจุจะขึ้นกับความยาวไดโพล และ Bandwidth จะเป็นส่วนกลับของ Q Factor ซึ่งสามารถหาอัตราส่วนของผลรวม Resistance กับ Reactance สำหรับวงจรอนุกรมทุกๆ ไป Q มีค่าประมาณสองเท่าของการขยายแรงดัน ดังนั้น การขยายแรงดันจะต้องมีการแลกเปลี่ยนกับค่าของ Bandwidth สำหรับสายอากาศที่มีความต้านทานมากๆ (นั่นคือ ค่าของการเหนี่ยวนำมาก และ ค่าของตัวเก็บประจุน้อยๆ) และค่าความต้านทานน้อยๆ สามารถปรับให้แมตช์กับความถี่ของแท่งได้ด้วยการถ่ายโอนกำลังงานสูงสุด และการเพิ่มแรงดันแต่คุณสมบัติจะลดลงเมื่อใช้กับความถี่อื่นๆ สายอากาศที่มีความต้านทานน้อยๆ จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าในความถี่อื่นๆ

$$BW \approx \frac{1}{Q}$$

(2.14)

## 2.5 สรุป

ในการทำโครงการการออกแบบสายอากาศสำหรับแท็ก มีการนำหลักการของสายอากาศไดโพลมาประยุกต์ใช้ ซึ่งก่อนการออกแบบและทำชิ้นงานจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีพื้นฐานในเรื่องที่ได้กล่าวมา เช่น ความเข้าใจเรื่องของสายอากาศไดโพล การแพร่กระจายของคลื่น โพลาริเซชัน พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ แบบรูปการแผ่พลังงาน การทำการแมตช์ และสัมประสิทธิ์การสะท้อนให้มีความเข้าใจเป็นอย่างดี เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของโครงการ



## บทที่ 3

### การออกแบบและการจำลองแบบ

#### 3.1 กล่าวนำ

การออกแบบสายอากาศ RFID Tag นั้น เป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแมตช์กับอิมพีแดนซ์ของไอซีชิป (IC Chip) และตรงกับย่านความถี่ที่ตัวเครื่องอ่าน (Reader) สามารถอ่านได้ และให้ได้ระยะทางการอ่านค่าตามที่ต้องการ โดยในการออกแบบใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009 ในการออกแบบชิ้นงาน

#### 3.2 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ

##### 3.2.1 เครื่องอ่าน (Reader)

หน้าที่สำคัญของเครื่องอ่านข้อมูล คือ การรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กแล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรเลอร์อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรเลอร์นั้น จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดียังต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่งก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับ หรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด โดยเครื่องอ่านที่นำมาใช้งาน คือ RFID Fixed Reader MR6134A เป็นเครื่องอ่านที่ทำงานในช่วงย่านความถี่ UHF แสดงในภาคผนวก

##### 3.2.2 ไอซีชิป (IC Chip)

หน้าที่ไอซีชิป คือ เก็บข้อมูลของวัตถุในหน่วยความจำ ซึ่งในหน่วยความจำนี้อาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านและเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะเก็บข้อมูลด้วยความปลอดภัย เช่น สิทธิในการเข้าออกประตู ส่วน RAM ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่ Tag และ Reader ทำการติดต่อสื่อสารกัน ส่วนไอซีชิปที่นำมาใช้งาน คือ UCODE G2XL เป็นไอซีชิปที่ทำงานในช่วงย่านความถี่ UHF มีอิมพีแดนซ์คือ  $21.3 - j191.7 \Omega$  แสดงในภาคผนวก



### 3.2.3 ความถี่ (Frequency)

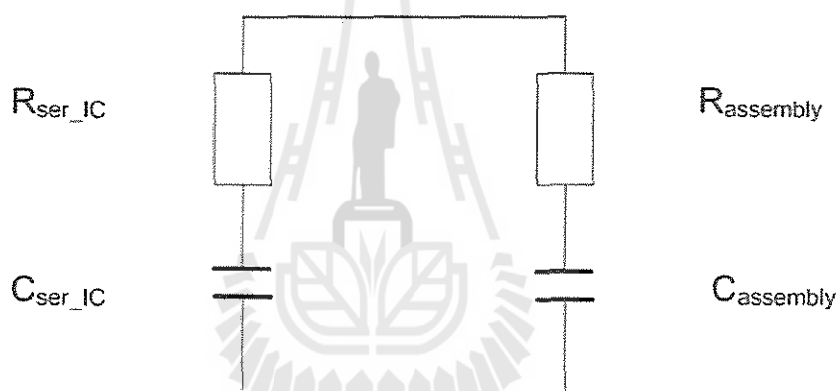
ความถี่ที่ใช้งาน คือ ความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) ที่เป็นมาตรฐานของประเทศไทย คือ ความถี่ 920 - 925 เมกะเฮิร์ตซ์

### 3.2.4 ขนาดของแท็ก (Tag Size)

ขนาดของแท็กที่ต้องการ คือ 10x100 มิลลิเมตร

### 3.3 วงจรไฟฟ้าสมมูล (Electrical Equivalent Circuits)

สำหรับการออกแบบสายอากาศ UHF เป็นสิ่งที่จำเป็นในการตรวจสอบความต้านทานส่วนต่างๆ ของระบบ หมายถึง การประกอบกันระหว่าง ไอซีชิปและแท็ก



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลแบบอนุกรม

### 3.4 การแมตช์ (Matching)

ความต้านทานขาเข้า คือ พารามิเตอร์ที่อธิบายถึงพฤติกรรมในส่วนของวงจร โดยปกติแล้วในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญมาก ที่การแมตช์ความต้านทานขาเข้า ( $Z_{Antenna}$ ) เพื่อที่จะป้อนพลังงานให้แก่ความต้านทานแหล่งจ่าย ในส่วนของคุณสมบัติของ RFID โดยปกติแล้วความต้านทานของไอซีชิป ( $Z_{Chip}$ ) ที่จะส่งกำลังงานสูงสุดจากแหล่งจ่ายไปยังสายอากาศจะต้องเป็นสังยุคของจำนวนเชิงซ้อนของไอซีชิป

$$P_{Tag,Chip} = \left[ 1 - \left| \frac{Z_{Antenna} - Z_{Chip}^*}{Z_{Antenna} + Z_{Chip}} \right|^2 \right] P_{Tag,Antenna}$$

$$\frac{P_{Tag,Chip}}{P_{Tag,Antenna}} = \left[ 1 - \left| \frac{Z_{Antenna} - Z_{Chip}^*}{Z_{Antenna} + Z_{Chip}} \right|^2 \right]$$

กำหนดให้ กำลังงานของไอซีชิปเท่ากับกำลังงานของสายอากาศ เนื่องจาก RFID Tag ยังไม่ได้รับกำลังงาน จะได้ว่า

$$1 = 1 - \left| \frac{Z_{Antenna} - Z_{Chip}^*}{Z_{Antenna} + Z_{Chip}} \right|^2$$

$$\frac{Z_{Antenna} - Z_{Chip}^*}{Z_{Antenna} + Z_{Chip}} = 0$$

$$Z_{Antenna} - Z_{Chip}^* = 0$$

$$Z_{Antenna} = Z_{Chip}^* \quad (3.1)$$

ในส่วนของความต้านทานส่วนจริง จะเป็นดังนี้

$$R_{Antenna} = R_{Chip} \quad (3.2)$$

และส่วนจินตภาพ จะได้ดังนี้

$$X_{Antenna} = -X_{Chip} \quad (3.3)$$

สำหรับการออกแบบสายอากาศที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็น ที่จะต้องทำการแมตช์ส่วนจริง และการสังยุคส่วนจินตภาพ ในส่วนของความต้านทานแหล่งกำเนิด หลักการนี้คำนึงถึงความต้านทานของไอซีชิป และความต้านทานรวมของแท็ก ถ้าเราสมมุติว่าความต้านทานตัวประกอบสังยุคแมตช์ระหว่างสายอากาศกับไอซีชิปสายอากาศ จะได้รับกำลังงานสูงสุด ดังสมการ

$$P_{Antenna, \max} = \frac{|V_{Antenna}|^2}{4 R_{Antenna}} \quad (3.4)$$

$V_{Antenna}$  คือ แรงดันที่กำเนิดโดยแท็กที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$R_{Antenna}$  คือ ความต้านทานของแท็ก

การที่จะหาค่าพลังงานของแท็กที่จุดใดๆ ได้ดังสมการ

$$P_{Tag} = A_{Tag} \cdot S \quad (3.5)$$

$A_{Tag}$  คือ พื้นที่ที่รับได้ของสายอากาศตามสเปกของเครื่องอ่าน (Reader)

$S$  คือ ความหนาแน่นกำลังงาน

$$A_{Tag} = \frac{\lambda_0^2}{4\pi} \cdot G_{Tag} \quad (3.6)$$

$\lambda_0$  คือ ความยาวคลื่น

$G_{Tag}$  คือ อัตราขยายของแท็ก

$$S = \frac{P_{Reader} \cdot G_{Reader}}{4\pi \cdot D^2} \quad (3.7)$$

$P_{Reader}$  คือ กำลังงานของเครื่องอ่าน

$G_{Reader}$  คือ อัตราขยายสายอากาศของเครื่องอ่าน

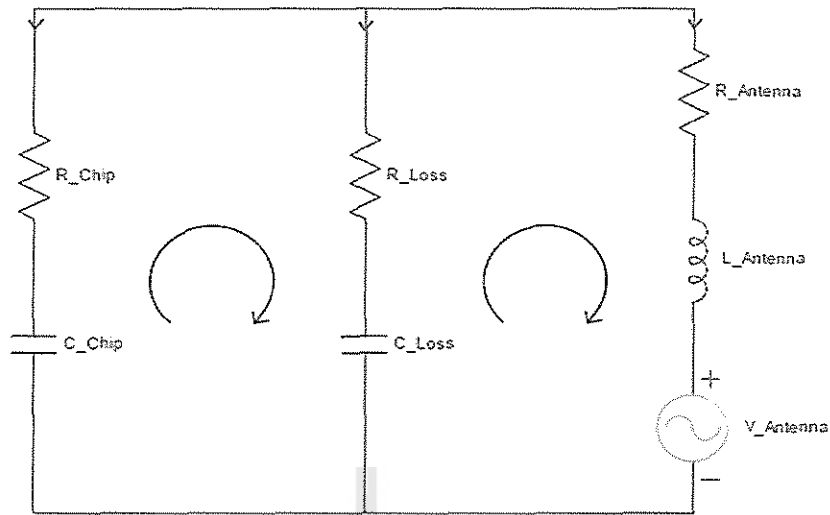
$D$  คือ ระยะทางสูงสุดระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน

การหาค่าพลังงานรวมที่แท็กได้รับประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

$$P_{Tot} = P_{Chip} + P_{Loss} + P_{Antenna} \quad (3.8)$$

ประสิทธิภาพของไอซีชิป หาได้จาก

$$\eta_{Chip} = \frac{P_{Chip}}{P_{Tot}} = \frac{P_{Chip}}{P_{Chip} + P_{Loss} + P_{Antenna}} \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลไฟฟ้าของการส่งผ่าน

### 3.5 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient)

การเกิดสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยเฉพาะในความถี่สูงๆ อย่างเช่น ความถี่ย่าน UHF การไม่แมตช์ระหว่างแหล่งกำเนิดกับโหลดถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $\Gamma$ ) พื้นฐานของทฤษฎีสายนำสัญญาณสัมประสิทธิ์การสะท้อน กำหนดโดยอัตราส่วนระหว่างคลื่นสะท้อนกับคลื่นตกกระทบ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นตัวที่จะใช้วัดคุณภาพการแมตช์ระหว่างแหล่งกำเนิดกับความต้านทานของโหลดคั้งสมการ

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (3.10)$$

$Z$  คือ ความต้านทานที่ได้จากการวัด

$Z_0$  คือ Normalizing Impedance

โดยส่วนมาก ส่วนจินตภาพของ  $Z_0$  มักจะมีค่าเป็นศูนย์ และส่วนจริงจะถูกกำหนดไว้

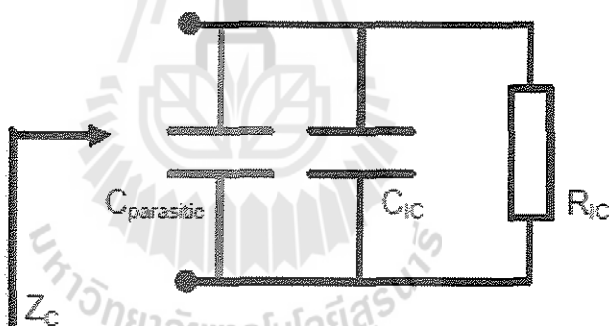
$$\Gamma = \frac{Z - R_0}{Z + R_0} \quad (3.11)$$

### 3.6 การออกแบบแท็ก (Label Antenna Design)

การออกแบบสายอากาศ คือ จุดที่สำคัญในระบบ UHF RFID ดังได้อธิบายไว้ในส่วนก่อนๆ การแผ่กำลังงานของคลื่นจากสายอากาศของเครื่องอ่านถึงไอซีชิป ในการทำงานจะทำให้การส่งกำลังงานสูงสุดความต้านทานของสายอากาศ ( $Z_{Antenna}$ ) จะต้องมีค่าความต้านทานสังยุคของจำนวนเชิงซ้อนของความต้านทานของไอซีชิป ( $Z_{Chip}$ )

$$Z_{Antenna} = Z_{Chip}^* \quad (3.12)$$

สายอากาศ คือ ส่วนที่เชื่อมต่อกับไอซีชิปโดยตรง โดยทั่วไปได้นำเสนอ High Capacitive ความต้านทานขาเข้าเป็นกระบวนการทางกลโดยตรงที่เชื่อมไอซีชิปถึงสายอากาศ แนะนำเพิ่มเติมโดยตัวเก็บประจุร่วมระหว่างไอซีชิปและสายอากาศ ตัวเก็บประจุร่วมเนื่องมาจากกระบวนการรวมกันเราจะนึกถึงการขนานกันของไอซีชิปจึงรวมไอซีชิปเป็นตัวเก็บประจุ ในกรณีที่ไอซีชิปเป็นแบบขนาน



รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลที่เพิ่มไอซีชิป

โดยคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการรวมกัน ความต้านทานใหม่ที่เกิดขึ้นจากการรวมของไอซีชิปได้จากการคำนวณ หรือจากการวัดกำหนดให้เป็น  $Z_{Chip}$  การแมตช์ที่ติระหว่างสายอากาศกับไอซีชิปจะเป็นไป ดังสมการ (3.12)

วิธีการเพื่อที่จะแมตช์ให้ดีที่สุดระหว่างสายอากาศกับไอซีชิป เพื่อที่จะลดกำลังงานสัมประสิทธิ์การสะท้อน  $|S^2|$  เป็นไป ดังสมการ

$$|S^2| = \left| \frac{Z_{Antenna} - Z_{Chip}^*}{Z_{Antenna} + Z_{Chip}} \right| \quad (3.13)$$

เมื่อรู้พารามิเตอร์สายอากาศของแท็ก จากสมการที่ (2.1) แล้วสามารถคำนวณหาระยะทางระหว่างแท็กและเครื่องอ่านได้จาก สมการที่ (3.14)

$$P_{Tag} = P_{Reader} \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_{Reader} G_{Tag} \quad ; \text{สมการที่ (2.1)}$$

$$\frac{P_{Tag}}{P_{Reader}} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \cdot G_{Reader} G_{Tag}$$

$$\left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 = \frac{P_{Tag}}{P_{Reader} \cdot G_{Reader} G_{Tag}}$$

$$\frac{\lambda}{4\pi R} = \sqrt{\frac{P_{Tag}}{P_{Reader} \cdot G_{Reader} G_{Tag}}}$$

$$\frac{4\pi R}{\lambda} = \sqrt{\frac{P_{Reader} \cdot G_{Reader} G_{Tag}}{P_{Tag}}}$$

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{Reader} \cdot G_{Reader} G_{Tag}}{P_{Tag}}} \quad (3.14)$$

จากสมการ (3.14) เมื่อเรากำหนดถึงการสูญเสียเนื่องจากการ Mismatch และการวางแผนวโปลาไรซ์ของสายอากาศเครื่องอ่าน กับแท็กข้อมูลที่ไม่ตรงกัน สามารถประยุกต์หาระยะทางในการส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน ได้ดังสมการที่ (3.15)

$$P_{Tag} = EIRP \cdot G_{Tag} \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \cdot \eta \cdot p$$

$$\left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 = \frac{P_{Tag}}{EIRP \cdot G_{Tag} \cdot \eta \cdot p}$$

$$\frac{4\pi R}{\lambda} = \sqrt{\frac{EIRP \cdot G_{Tag} \cdot \eta \cdot p}{P_{Tag}}}$$

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{EIRP \cdot G_{Tag} \cdot \eta \cdot p}{P_{Tag}}} \quad (3.15)$$

เมื่อให้

$EIRP$  = Transmitted RF Power

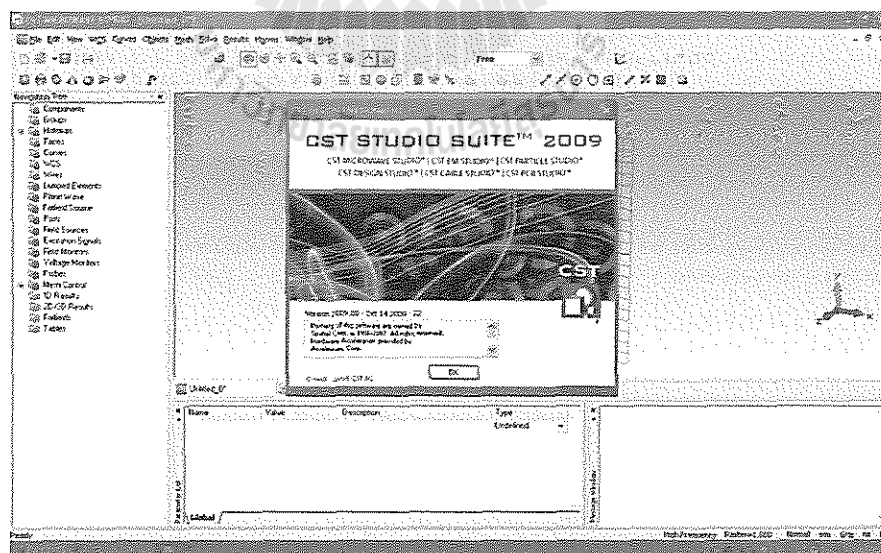
$EIRP = G_{Reader} \cdot P_{Reader} = 4 \text{ W}$

$\eta$  คือ การสูญเสียเนื่องจากการ Mismatch = -3 dB

$p$  คือ การวางแนวโพลาริซชันของสายอากาศเครื่องอ่านกับแท็กข้อมูลที่ไม่ตรงกันทำให้เกิดการสูญเสีย = -3 dB

### 3.7 การออกแบบสายอากาศ (Antenna Design)

สายอากาศที่นำมาใช้ทำสายอากาศของแท็ก คือ สายอากาศไดโพลโดยใช้แผ่น FR-4 ออกแบบที่ความถี่ 922 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งาน โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009 ในการออกแบบ



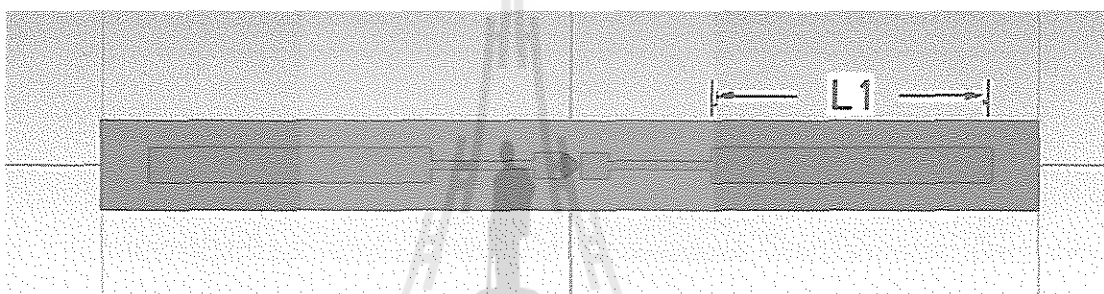
รูปที่ 3.4 โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009

### 3.7.1 สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna)

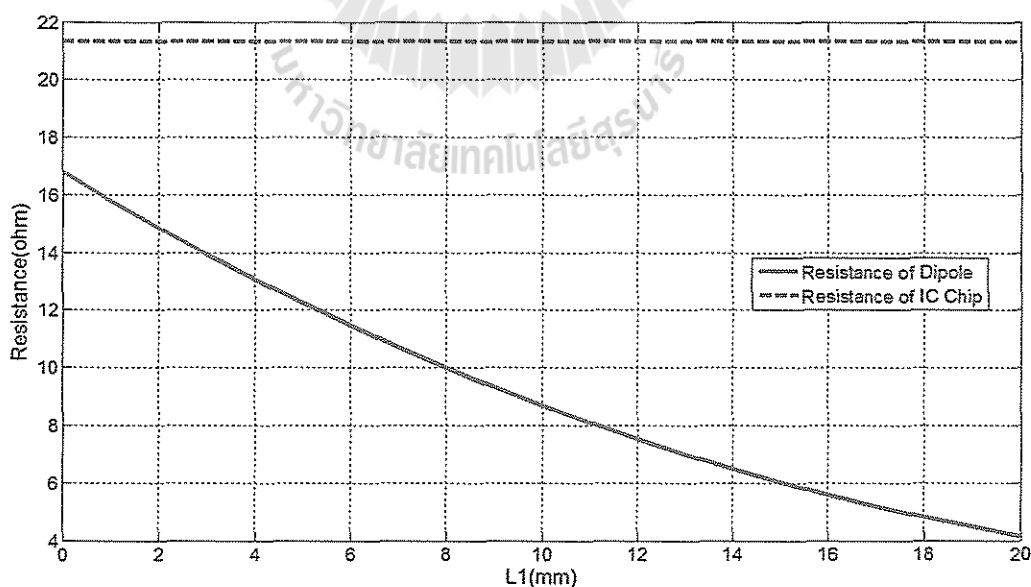
การออกแบบเริ่มจาก กำหนดขนาดของชิ้นงานให้มีขนาด 10x100 มิลลิเมตร เพื่อให้ติดบนแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.) ได้อย่างเหมาะสม แล้วทำการออกแบบสายอากาศให้ได้ อิมพีแดนซ์เท่ากับ  $21.3 + j191.7 \Omega$  ซึ่งจะตรงข้ามกับอิมพีแดนซ์ของไอซีชิป คือ  $21.3 - j191.7 \Omega$  เพื่อให้อิมพีแดนซ์สายอากาศแมตช์กับ ไอซีชิป

#### 3.7.1.1 ศึกษาผลกระทบเนื่องจากความยาว L1

จากขนาดที่กำหนดให้ทำการปรับค่าความยาว L1 ตั้งแต่ 0-20 มิลลิเมตร เพื่อหาอิมพีแดนซ์ที่เราต้องการ คือ  $21.3 + j191.7 \Omega$  โดยใส่ Discrete ports ที่มีอิมพีแดนซ์  $50 \Omega$

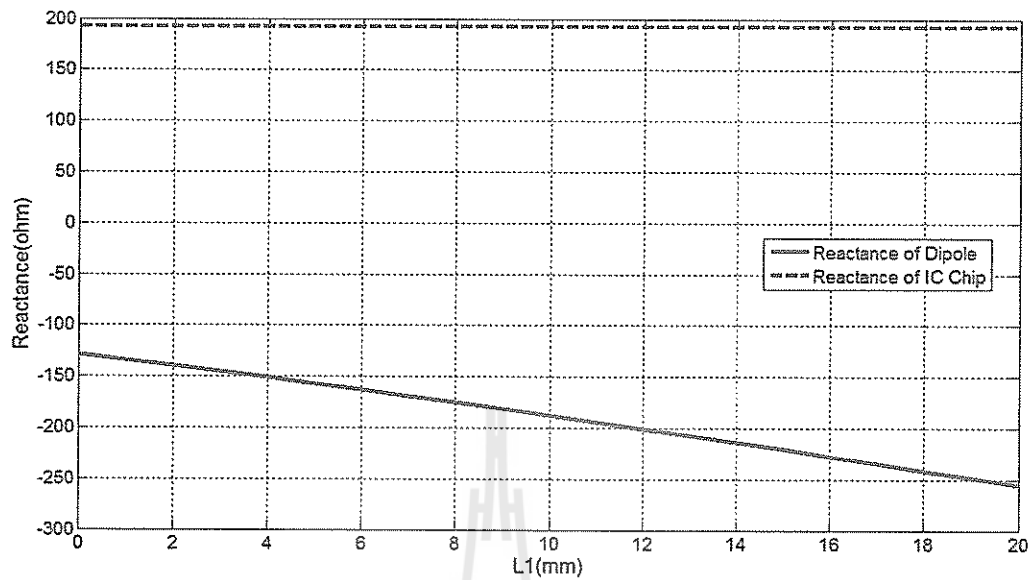


รูปที่ 3.5 สายอากาศไดโพลที่ปรับค่าความยาว L1



รูปที่ 3.6 ค่า Resistance ของสายอากาศที่ปรับความยาว L1 ตั้งแต่ 0-20 มิลลิเมตร



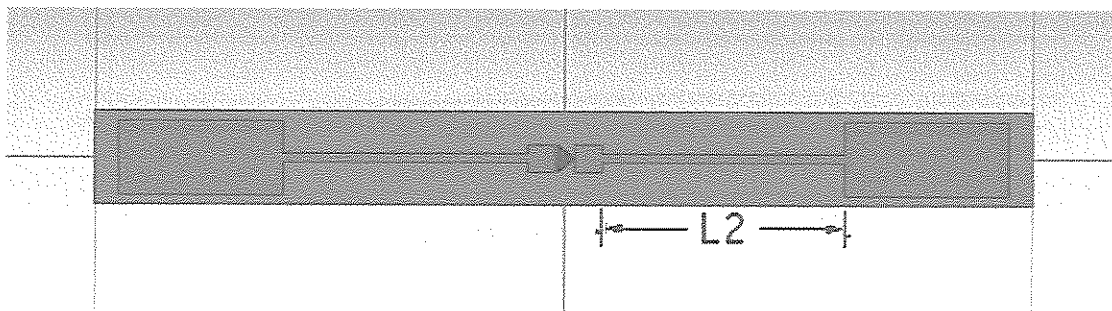


รูปที่ 3.7 ค่า Reactance ของสายอากาศที่ปรับความยาว L1 ตั้งแต่ 0-20 มิลลิเมตร

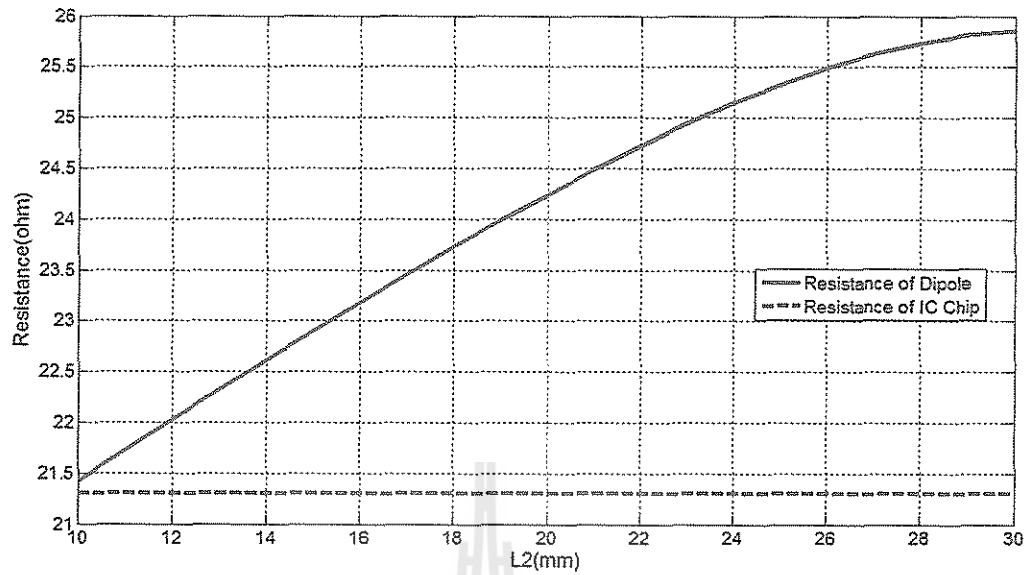
จากกราฟรูปที่ 3.6 และ 3.7 จะเห็นได้ว่าค่า Resistance มีแนวโน้มลดลง เมื่อความยาวเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันได้ค่า Reactance ที่มีค่าติดลบ (-) ทำให้กราฟทั้งสองยังไม่เข้าใกล้  $21.3 \Omega$  และ  $191.7 \Omega$  ตามลำดับ

### 3.7.1.2 ศึกษาผลกระทบเนื่องจากความยาว L2

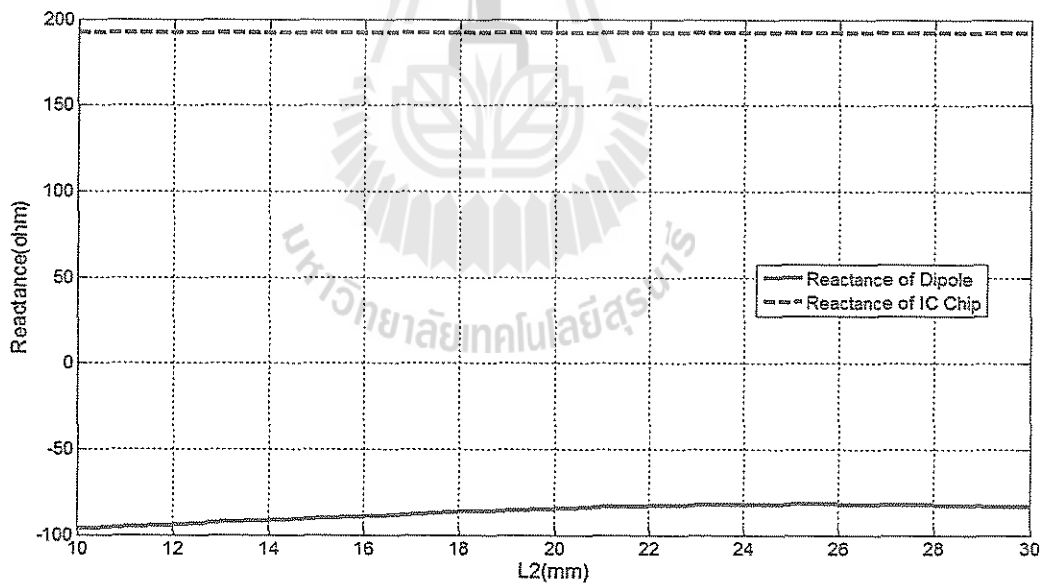
จากการปรับค่าความยาว L1 พบว่า อิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังไม่เข้าใกล้  $21.3 - j191.7 \Omega$  จึงทำการปรับค่าความยาว L2 ตั้งแต่ 10-30 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 สายอากาศไดโพลที่ปรับค่าความยาว L2



รูปที่ 3.9 ค่า Resistance ของสายอากาศที่ปรับความยาว L2 ตั้งแต่ 10-30 มิลลิเมตร

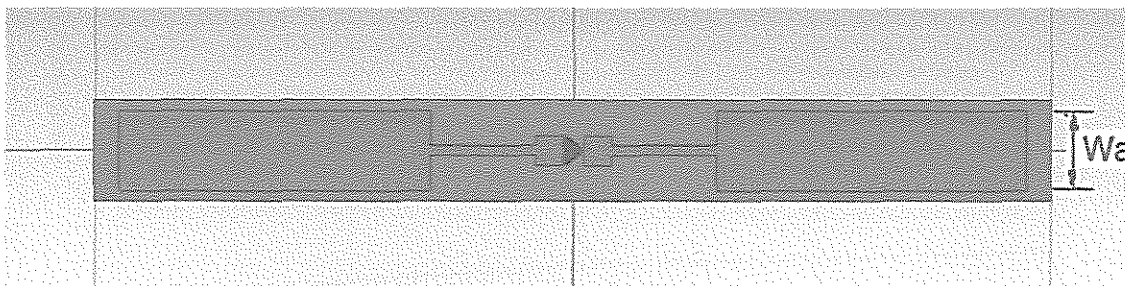


รูปที่ 3.10 ค่า Reactance ของสายอากาศที่ปรับความยาว L2 ตั้งแต่ 10-30 มิลลิเมตร

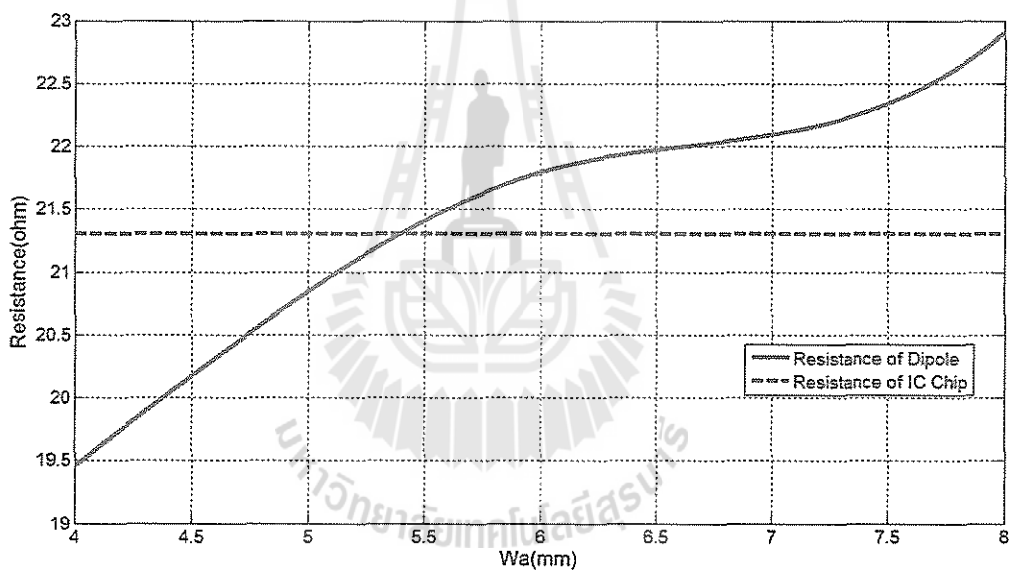
จากกราฟรูปที่ 3.9 และ 3.10 จะเห็นว่า ค่า Resistance มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และได้ค่า Reactance มีค่าติดลบ (-) ซึ่งทำให้กราฟทั้งสองยังไม่เข้าใกล้  $21.3 \Omega$  และ  $191.7 \Omega$  ตามลำดับ

### 3.7.1.3 ศึกษาผลกระทบเนื่องจากความกว้าง $W_a$

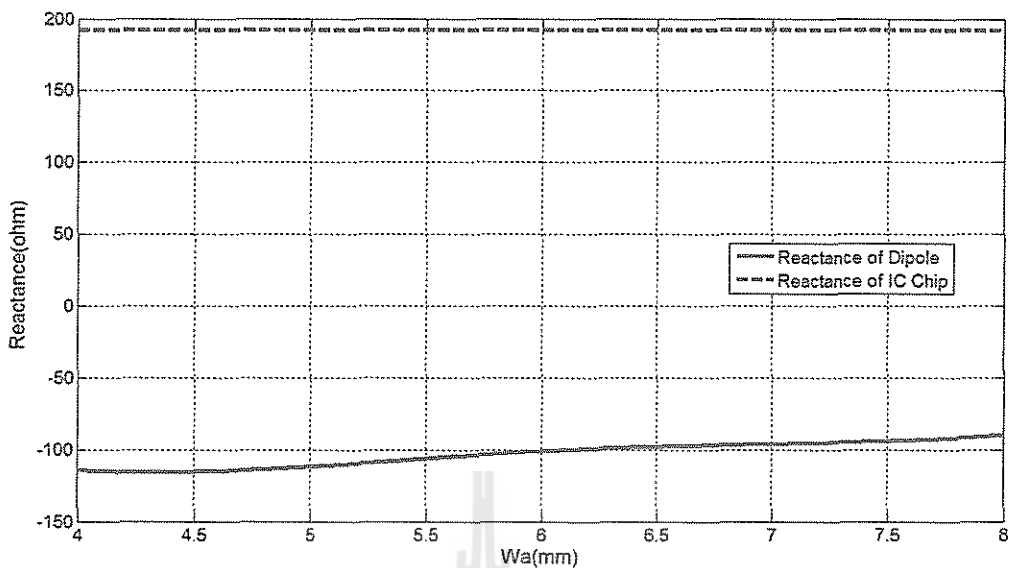
จากการปรับค่าความยาว  $L_2$  พบว่า ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังไม่เข้าใกล้  $21.3 - j191.7 \Omega$  จึงทำการปรับค่าความกว้าง  $W_a$  ตั้งแต่ 4-8 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.11 สายอากาศไดโพลที่ปรับค่าความกว้าง  $W_a$



รูปที่ 3.12 ค่า Resistance ของสายอากาศที่ปรับความกว้าง  $W_a$  ตั้งแต่ 4-8 มิลลิเมตร

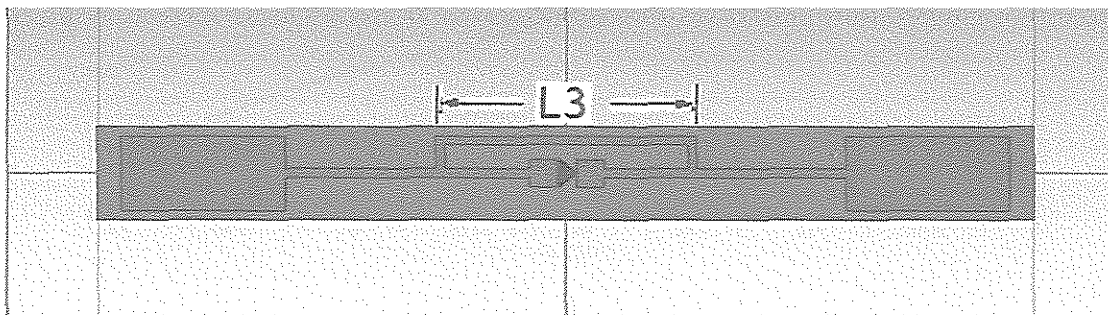


รูปที่ 3.13 ค่า Reactance ของสายอากาศที่ปรับความกว้าง  $W_a$  ตั้งแต่ 4-8 มิลลิเมตร

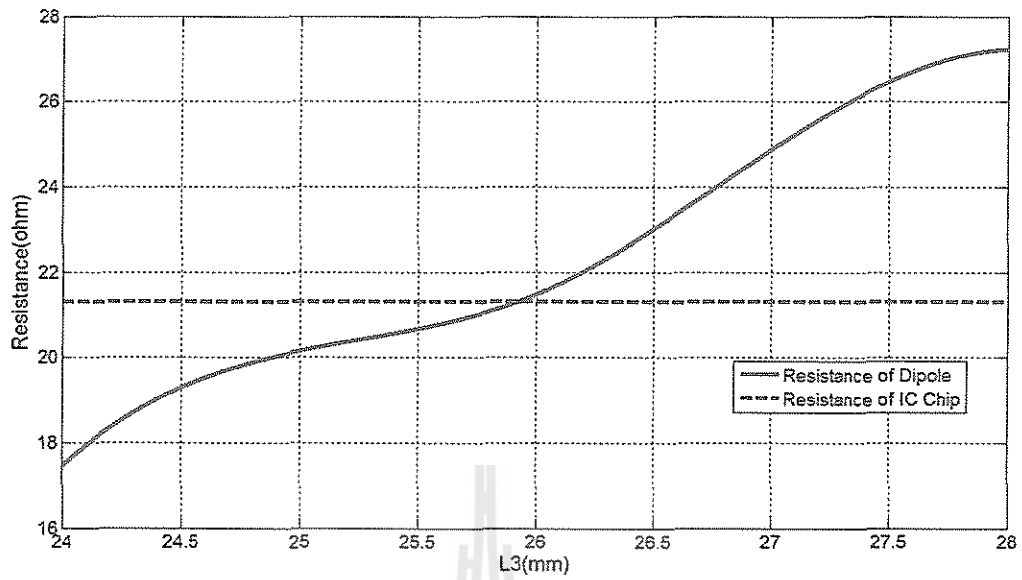
จากกราฟรูปที่ 3.12 และ 3.13 จะเห็นว่า กราฟ Resistance เข้าใกล้  $21.3 \Omega$  ที่ความกว้าง  $W_a$  ประมาณ 5.3 - 5.5 มิลลิเมตร และได้กราฟ Reactance มีค่าติดลบ (-) ซึ่งกราฟยังไม่เข้าใกล้  $191.7 \Omega$

### 3.7.1.4 ศึกษาผลกระทบเนื่องจากการแมตซ์สตาบโดยปรับค่าความยาว $L_3$

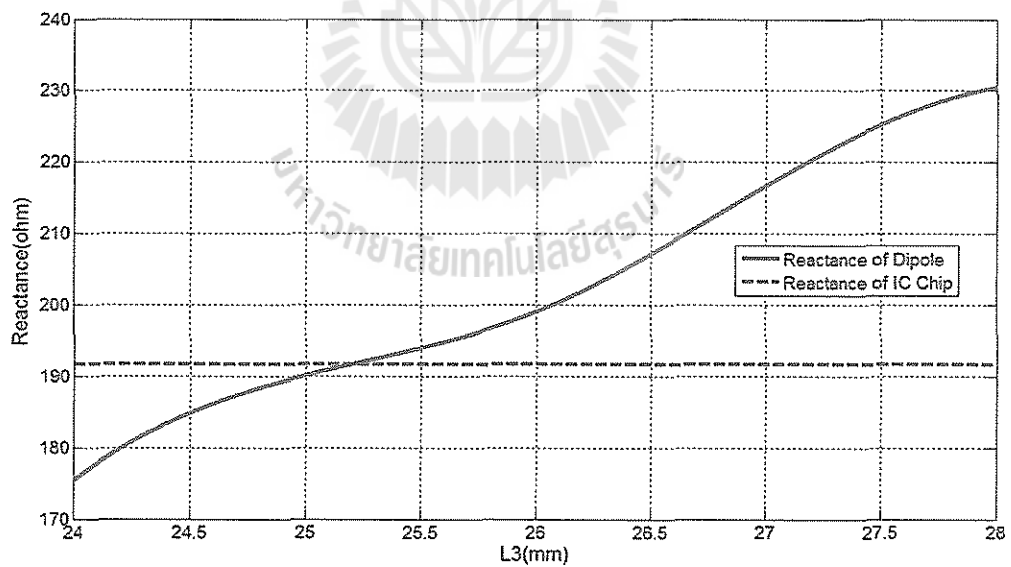
จากการปรับค่าความกว้าง  $W_a$  พบว่า อิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังไม่เข้าใกล้  $21.3 - 191.7 \Omega$  จึงทำการแมตซ์แบบ Parallel Short Circuit Stab โดยปรับค่าความยาว  $L_3$  ตั้งแต่ 24-28 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.14 สายอากาศไดโพลที่แมตซ์แบบสตาบโดยปรับค่าความยาว  $L_3$



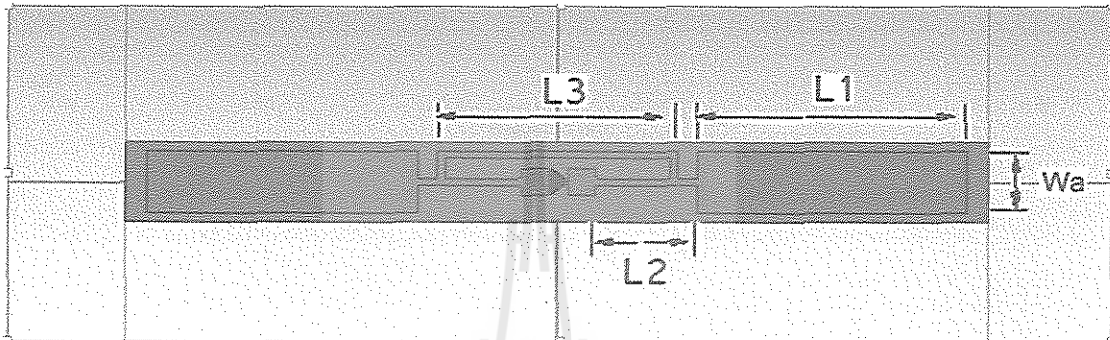
รูปที่ 3.15 ค่า Resistance ของสายอากาศที่แมตซ์แบบสตัด์ โดยปรับความยาว L3  
ตั้งแต่ 24-28 มิลลิเมตร



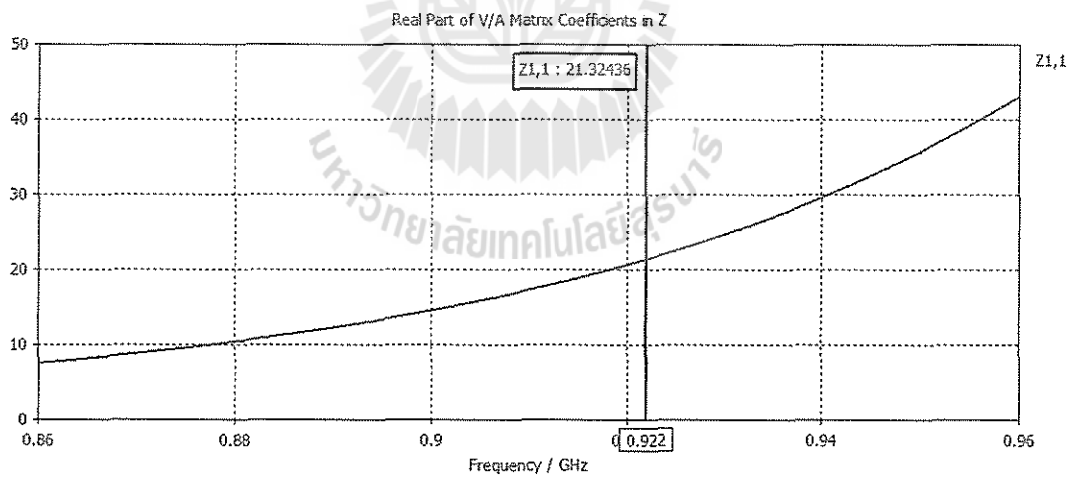
รูปที่ 3.16 ค่า Reactance ของสายอากาศที่แมตซ์แบบสตัด์ โดยปรับความยาว L3  
ตั้งแต่ 24-28 มิลลิเมตร

จากกราฟรูปที่ 3.15 และ 3.16 พบว่า กราฟ Resistance เข้าใกล้  $21.3 \Omega$  ที่ความยาว L3 ประมาณ 25.5-26 มิลลิเมตร และกราฟ Reactance เข้าใกล้  $191.7 \Omega$  ที่ความยาว L3 ประมาณ 25-25.5 มิลลิเมตร ตามที่เราต้องการ

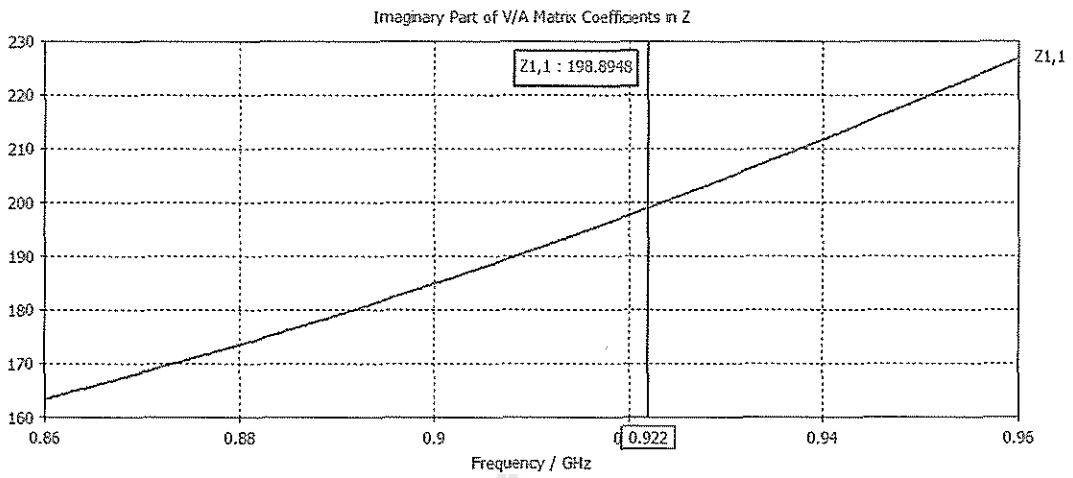
จากการศึกษาผลกระทบที่มีผลต่อการออกแบบสายอากาศดังกล่าว จะได้ว่ารูปของสายอากาศที่ทำการแมตซ์อิมพีแดนซ์แล้ว ดังรูปที่ 3.17



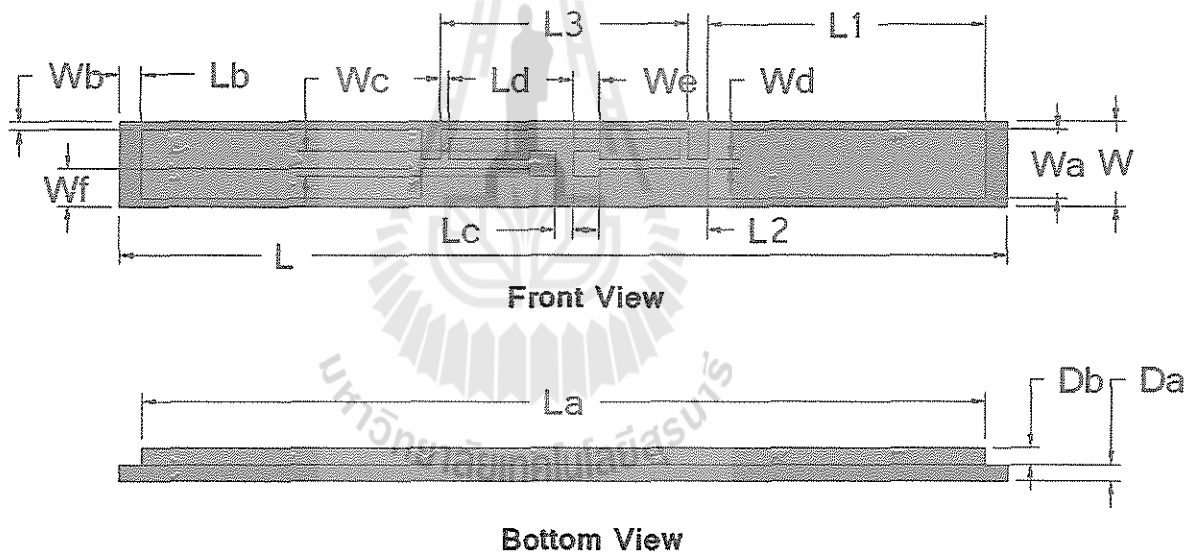
รูปที่ 3.17 สายอากาศไดโพลที่แมตซ์อิมพีแดนซ์แล้ว



รูปที่ 3.18 ส่วนจริงของสายอากาศไดโพลที่แมตซ์อิมพีแดนซ์แล้ว



รูปที่ 3.19 ส่วนจินตภาพของสายอากาศไดโพลที่แมตซ์อิมพีแดนซ์แล้ว



รูปที่ 3.20 ขนาดของสายอากาศไดโพล

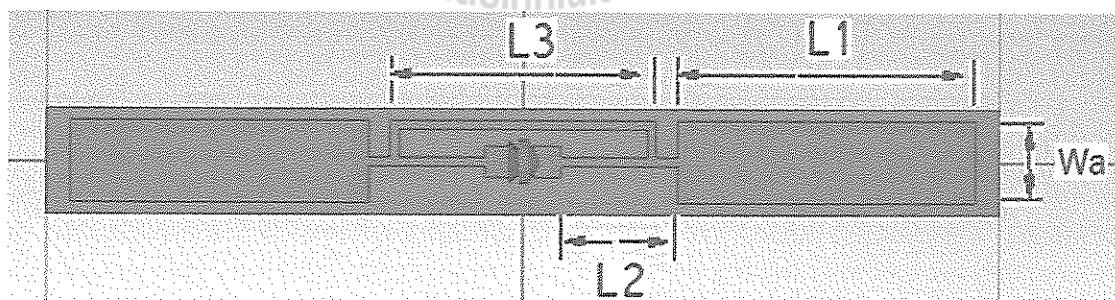
ตารางที่ 3.1 ขนาดของสายอากาศไดโพล

Parameters	Physical Size (mm)	Parameters	Physical Size (mm)
L	100	Wa	8
L1	31.1	Wb	1
L2	12.2	Wc	3
L3	28	Wd	1
La	95	We	3
Lb	2.5	Wf	4.5
Lc	2	Da	1.670
Ld	1	Db	0.035
W	10		

### 3.7.2 ผลการจำลอง RFID Tag โดยใช้สายอากาศไดโพล

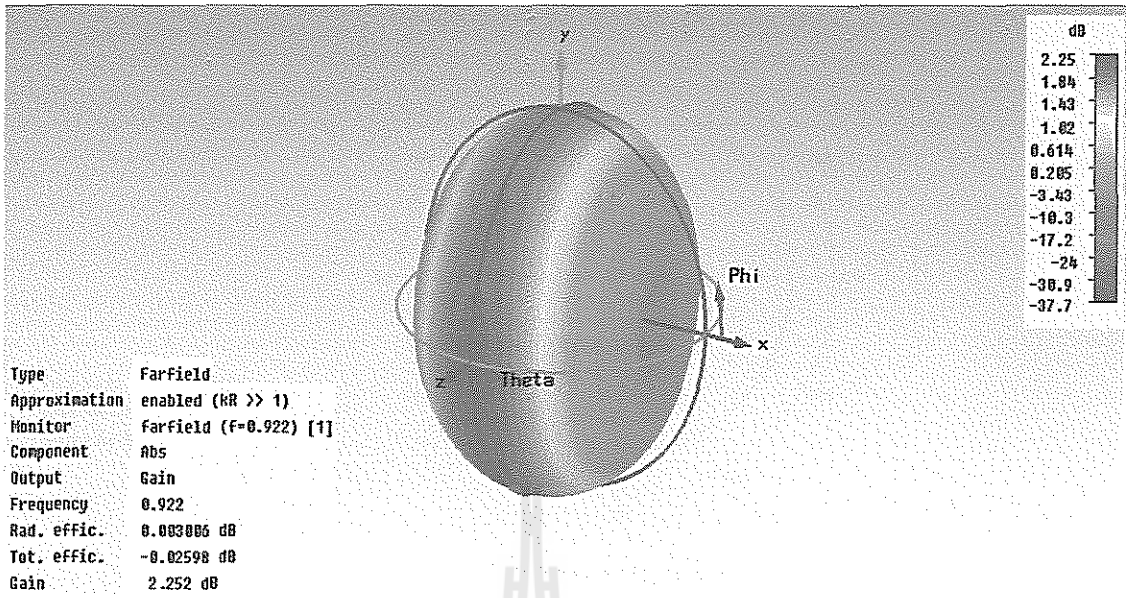
จากเดิมที่ใช้พอร์ต 50  $\Omega$  จะเปลี่ยนไปใช้ของไอซีชิปแทน ดังนั้นจึงต้องคำนวณอิมพีแดนซ์ของไอซีชิปไปเป็นค่า R และ L หรือ C จากอิมพีแดนซ์ของไอซีชิป คือ 21.3 - j191.7  $\Omega$  จะได้ R = 21.3  $\Omega$  และ หา C จากสมการ (3.16) จะได้ค่า  $C = 9 \times 10^{-13}$  F

$$C = \frac{1}{X\omega} \quad (3.16)$$

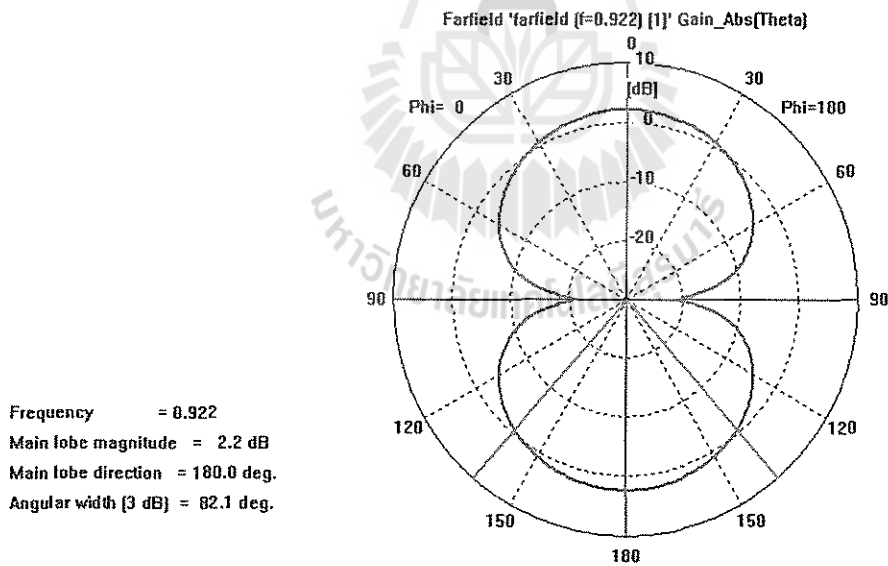


(ก) RFID Tag ที่ใส่อิมพีแดนซ์ของไอซีชิป

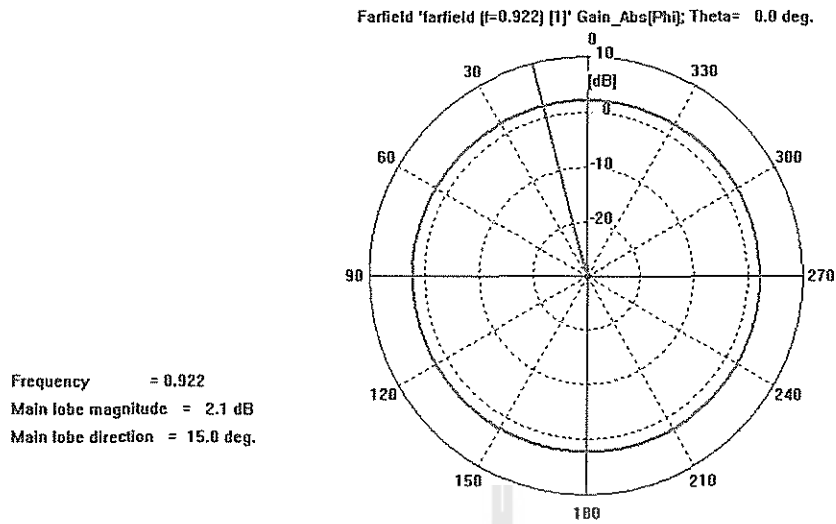




(จ) แบบรูปการแผ่พลังงาน



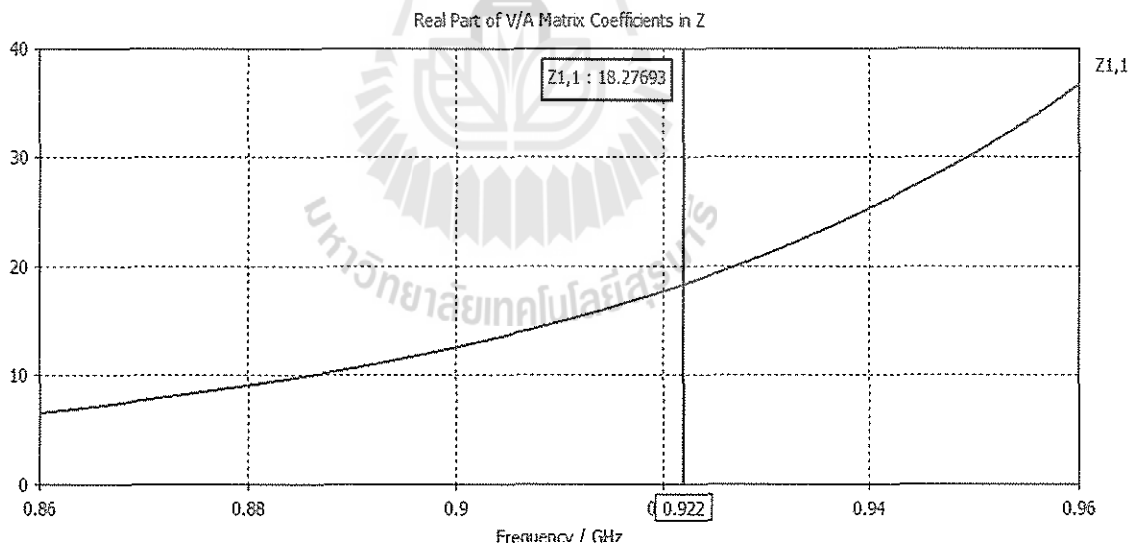
(ค) ระนาบสนามไฟฟ้า



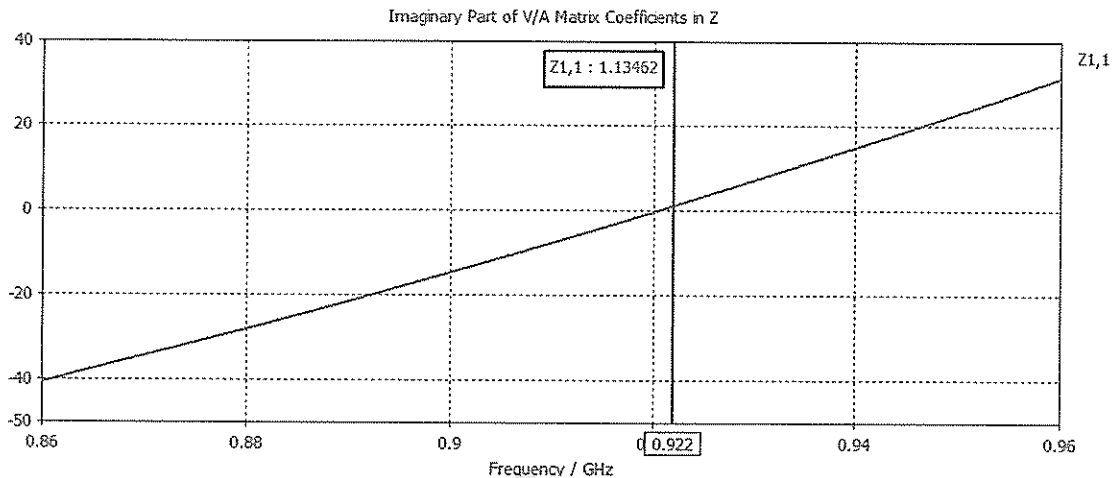
(ง) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของ RFID Tag ที่ความถี่ 922 เมกะเฮิรตซ์

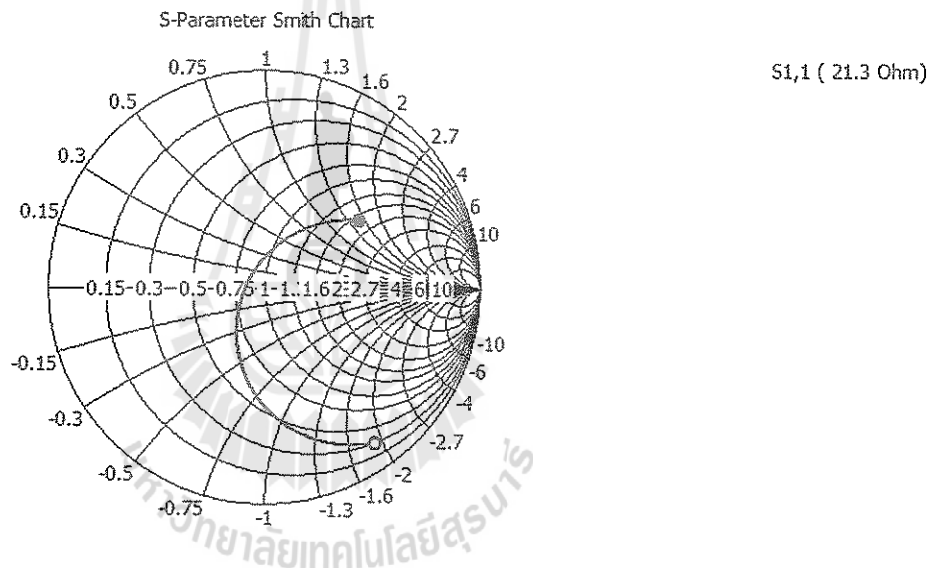
จากรูปที่ 3.21 จะเห็นว่า แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของ RFID Tag มีลักษณะสำคัญแบบรอบตัว ทำให้สะดวกในการนำไปใช้งาน



รูปที่ 3.22 ส่วนจริงของ RFID Tag จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศ กับ ไอซีชิป

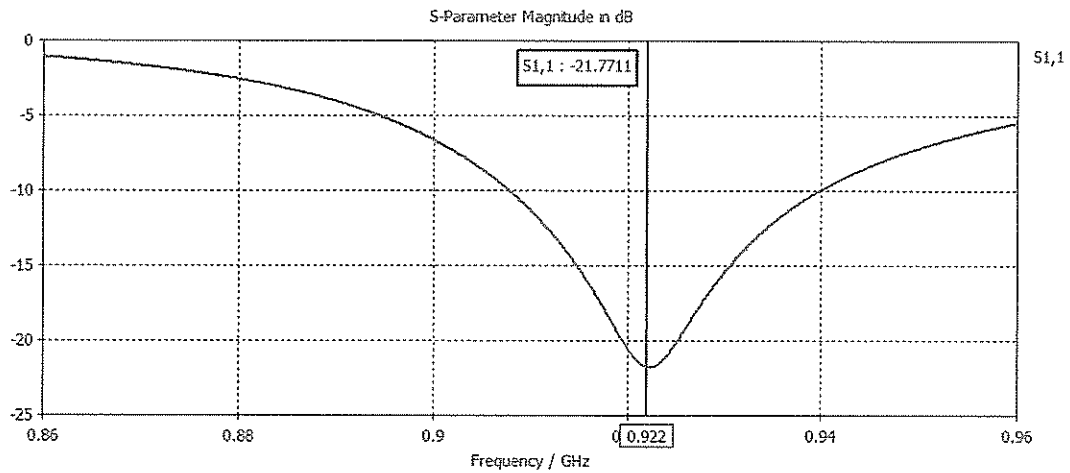


รูปที่ 3.23 ส่วนจินตภาพของ RFID Tag จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศ กับ ไอซีชิป

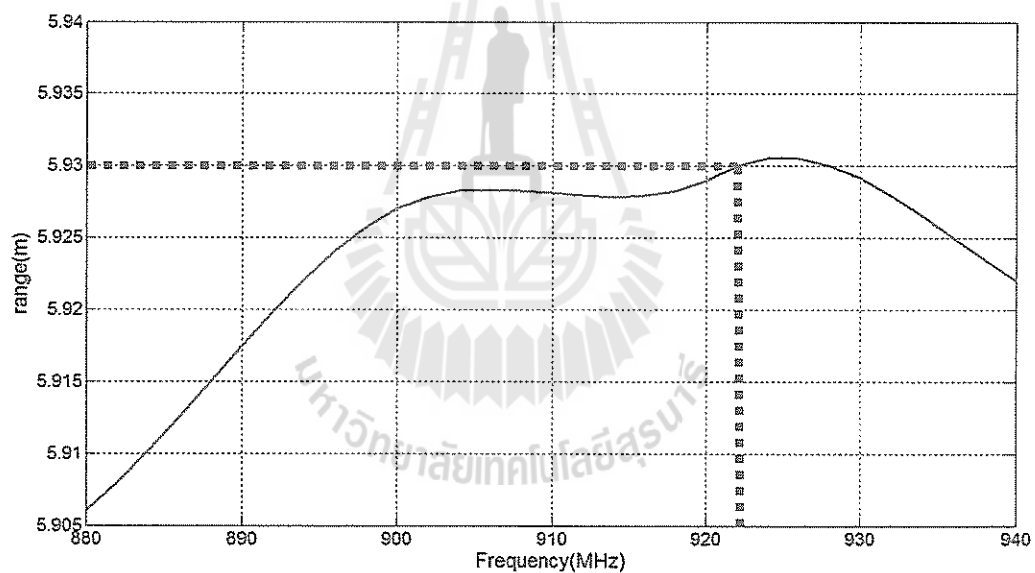


รูปที่ 3.24 Smith chart ของ RFID Tag จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศ กับ ไอซีชิป

จากรูปที่ 3.21 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของ RFID Tag ที่ได้จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศกับไอซีชิป ที่ความถี่ 922 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งได้อัตราขยาย (Gain) เท่ากับ 2.252 dB และส่วนจริงของสายอากาศที่ความถี่ 922 เมกะเฮิรตซ์ ได้ประมาณ 18  $\Omega$  ดังรูปที่ 3.22 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ และส่วนจินตภาพของสายอากาศที่ความถี่ 922 เมกะเฮิรตซ์ได้ประมาณ 1  $\Omega$  ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 0  $\Omega$  แสดงว่า สายอากาศแมตซ์กับไอซีชิปแล้ว ดังรูปที่ 3.25 ส่วน Smith chart ของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.25 ค่า S1,1 ของ RFID Tag จากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศ กับ ไอซีชิป



รูปที่ 3.26 ระยะการอ่านข้อมูลของ RFID Tag

จากรูปที่ 3.25 จะเห็นว่า ค่า S1,1 ของสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ประมาณ 910-940 เมกะเฮิร์ตซ์ สังเกตได้จากที่ช่วงความถี่ดังกล่าว มีค่ากำลังงานน้อยกว่า -10 dB ส่วนระยะการอ่านที่ความถี่ 922 เมกะเฮิร์ตซ์ สามารถอ่านได้ประมาณ 5.93 เมตร ดังรูปที่ 3.26 ซึ่งคำนวณมาจากสมการที่ 3.15

### 3.8 สรุป

จากการออกแบบสายอากาศ RFID Tag ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะได้ RFID Tag ที่มีขนาดเท่ากับ 10x10 มิลลิเมตร มีอัตราขยายเท่ากับ 2.252 dB ส่วนค่าจริงได้เท่ากับ 18  $\Omega$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ และส่วนจินตภาพได้ประมาณ 1  $\Omega$  ซึ่งค่าที่ได้ มีค่าเข้าใกล้ 0  $\Omega$  แล้ว ซึ่งแสดงว่าสายอากาศแมตซ์กับไอซีชิปแล้ว ส่วนค่า S1,1 ของสายอากาศ จะเห็นว่า สายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ประมาณ 910-940 เมกะเฮิร์ตซ์ สังเกตได้จากช่วงความถี่ดังกล่าว มีค่ากำลังงานน้อยกว่า -10 dB ส่วนระยะการอ่านที่ความถี่ 922 เมกะเฮิร์ตซ์ สามารถอ่านได้ประมาณ 5.93 เมตร (ค่าที่ได้จากทฤษฎี) ซึ่งจะนำผลที่ได้ไปเทียบกับผลการวัดจริงในบทต่อไป



## บทที่ 4

### การสร้างชิ้นงานและการทดสอบชิ้นงาน

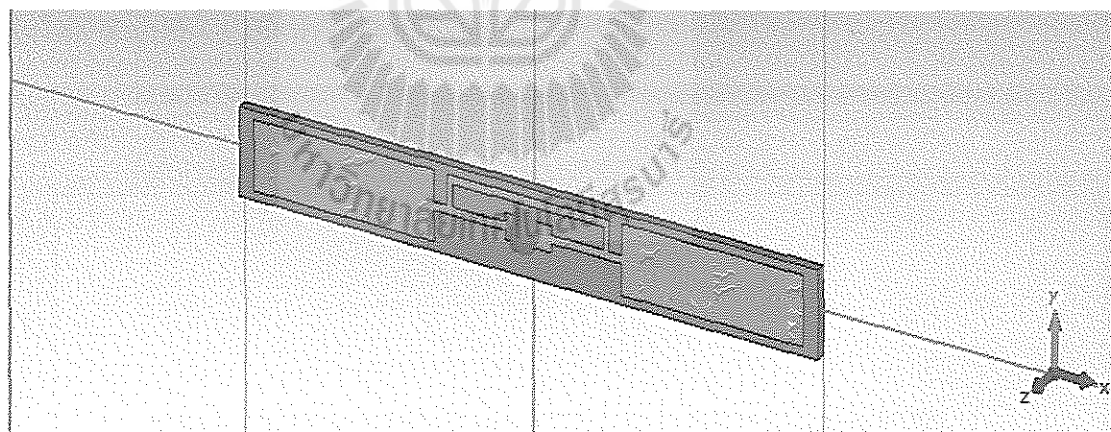
#### 4.1 กล่าวนำ

จากการศึกษา และทำความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานในบทที่ 2 และบทที่ 3 นั้น ทำให้สามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะนำไปทดสอบการใช้งานจริง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ

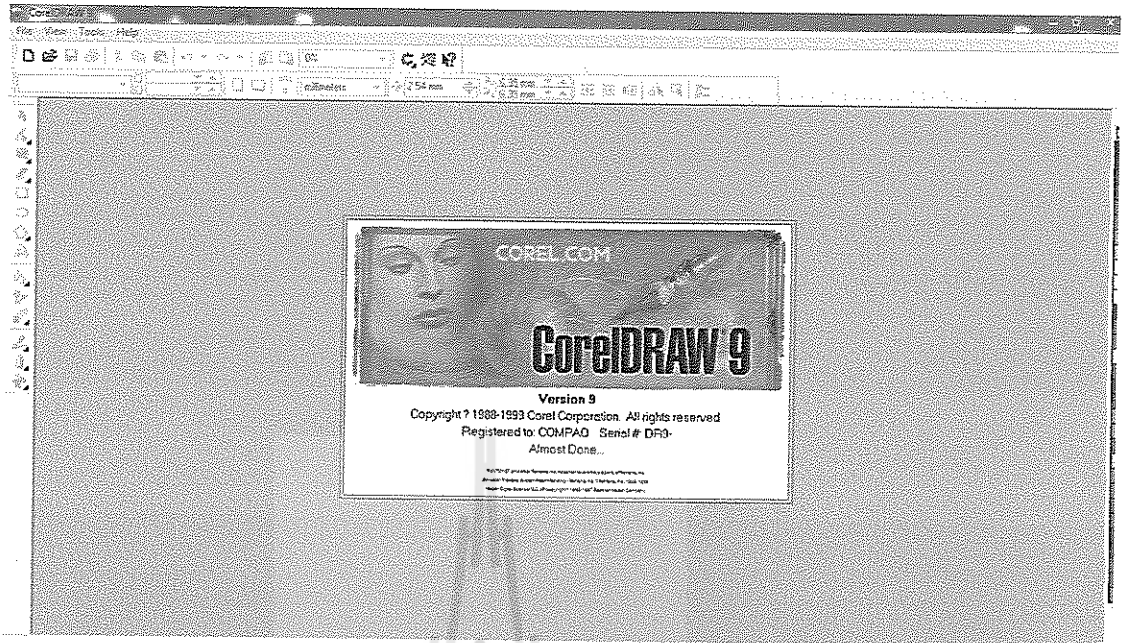
#### 4.2 การสร้างชิ้นงาน

เมื่อออกแบบ และจำลองแบบสายอากาศของ RFID Tag ในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009 เรียบร้อยแล้ว นำผลที่ได้มาสร้างชิ้นงานจริงตามขั้นตอน ดังนี้  
ขั้นตอนการสร้างและทดสอบชิ้นงาน

1. นำขนาดของสายอากาศได้โพลจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009 ดังรูปที่ 4.1 และไปออกแบบสายอากาศโดยใช้โปรแกรม CORELDRAW 9 ดังรูปที่ 4.2

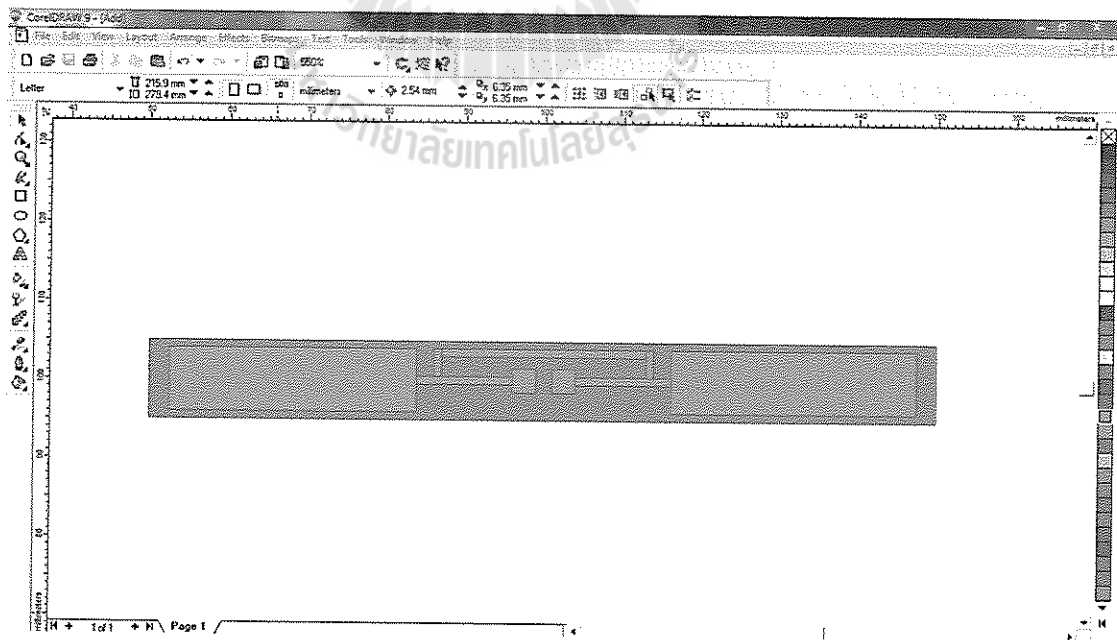


รูปที่ 4.1 ชิ้นงานจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2009



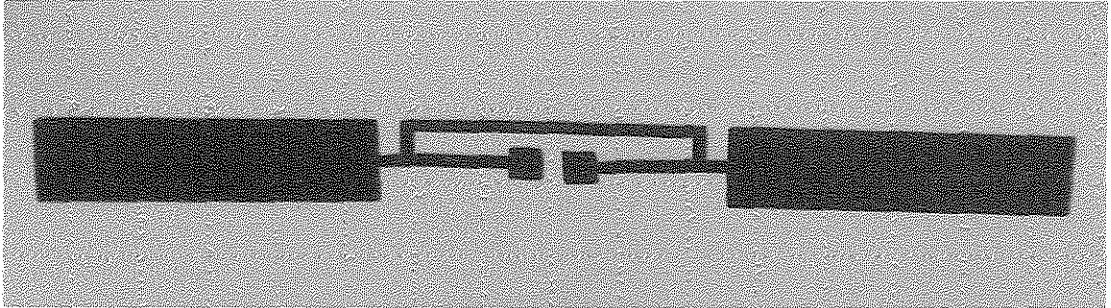
รูปที่ 4.2 โปรแกรม CORELDRAW 9

จากนั้นวาดขนาดต่างๆ ตามที่ออกแบบมา ลงโปรแกรม CORELDRAW 9 จะได้ขนาดสายอากาศโดโพล ดังรูปที่ 4.3 เพื่อนำไปตัดสตีกเกอร์

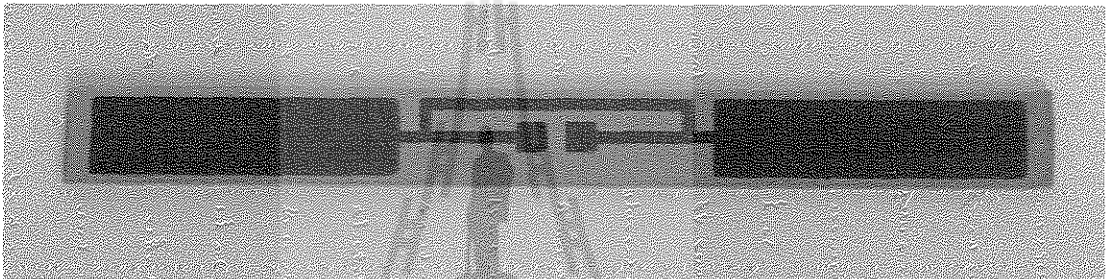


รูปที่ 4.3 สายอากาศโดยใช้โปรแกรม CORELDRAW 9

2. นำสติ๊กเกอร์ของสายอากาศไดโพลที่ได้ ดังรูปที่ 4.4 ไปติดบนแผ่น FR-4 ที่ตัดมาตามแบบ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 สติ๊กเกอร์ของสายอากาศไดโพล



รูปที่ 4.5 แผ่น FR-4 ที่ติดสติ๊กเกอร์ของสายอากาศไดโพล

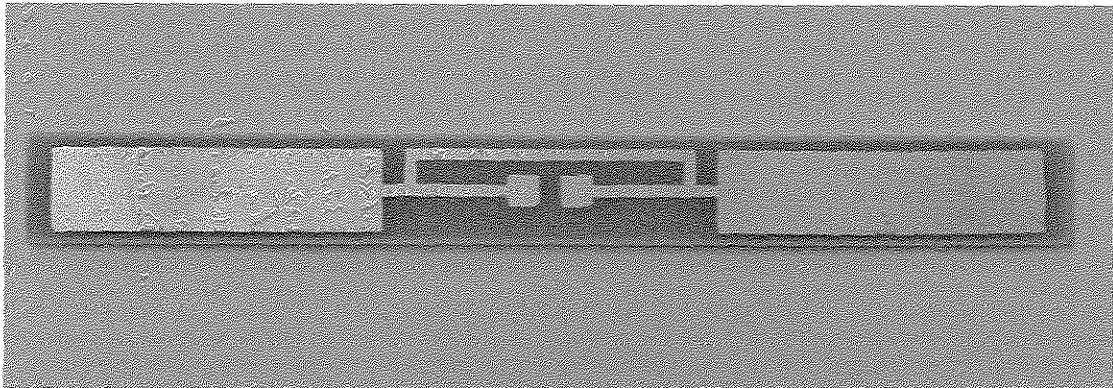
3. จากนั้นนำไปกักปรินให้เหลือลายที่ต้องการ โดยใช้น้ำยากัดแผ่นปริน ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ถังใส่น้ำยากัดแผ่นปริน



จะได้ชิ้นงาน RFID Tag ต้นแบบ ดังรูปที่ 4.7



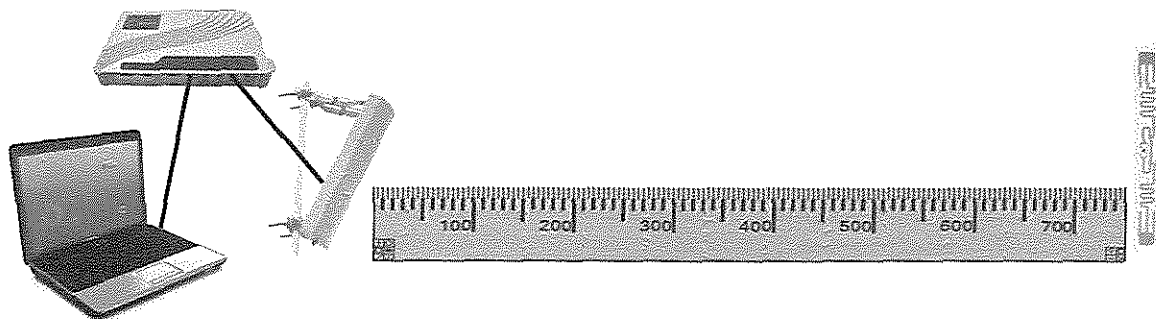
รูปที่ 4.7 ชิ้นงาน RFID Tag ต้นแบบ

4. นำ IC Chip มาติดบนชิ้นงาน RFID Tag ต้นแบบ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ชิ้นงาน RFID Tag ต้นแบบที่ติด IC Chip

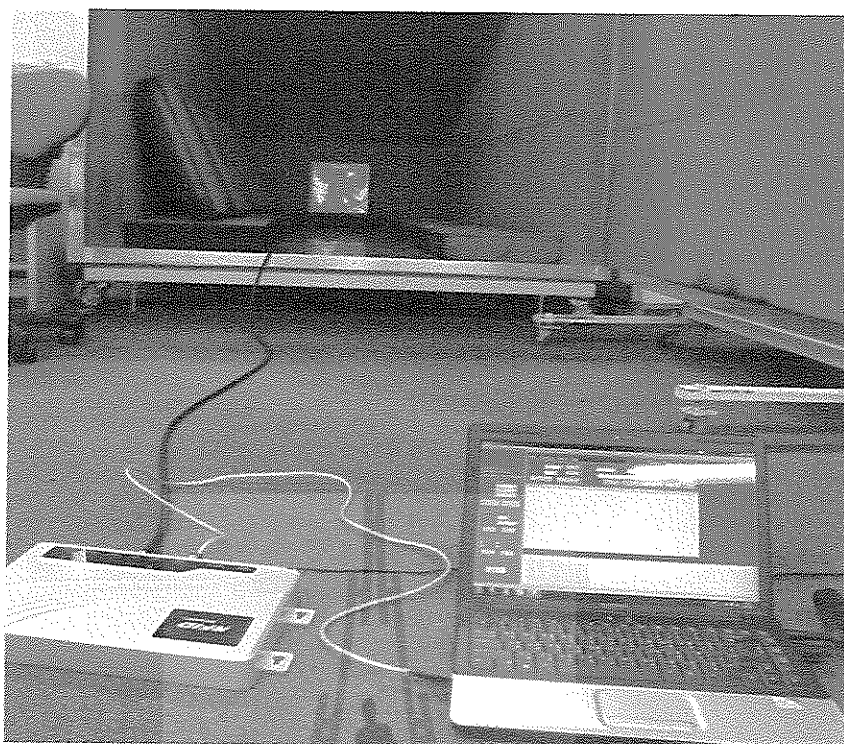
### 4.3 การวัดผล



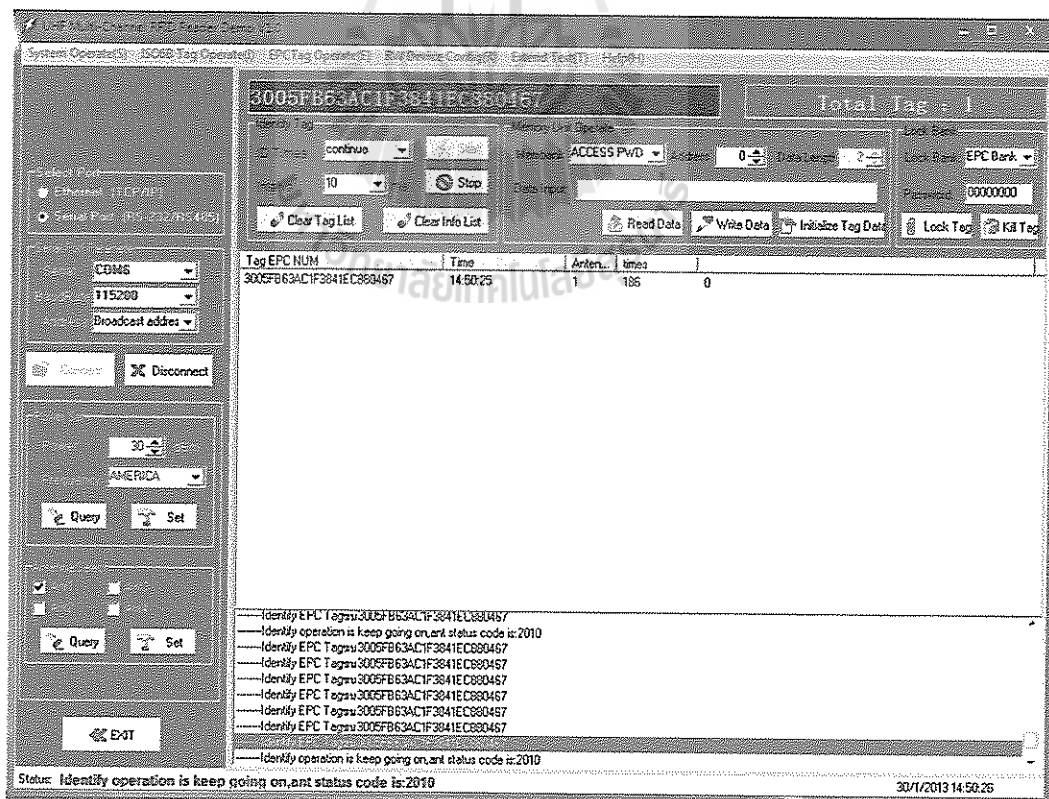
นำเอาชิ้นงาน RFID Tag คั้นแบบที่ติดไอซีชิปแล้ว มาวัดระยะเวลาการอ่านข้อมูลในห้องควบคุม ดังรูปที่ 4.9 โดยติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.10 ถ้าเครื่องอ่านสามารถอ่านได้จะแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ดังรูปที่ 4.11 หลังจากนั้นนำแท่งถอยออกจากสายอากาศของเครื่องอ่านจนกว่าเครื่องอ่านเริ่มอ่านไม่ได้ ดังรูปที่ 4.12 แล้วบันทึกระยะเวลาในการอ่านข้อมูล ซึ่งจะทำการวัด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.9 Chamber Room



รูปที่ 4.10 การติดตั้งอุปกรณ์ชุด RFID Reader และ Notebook



รูปที่ 4.11 โปรแกรมอ่านค่า RFID Tag





รูปที่ 4.12 การวัดระยะการอ่านข้อมูลระหว่าง RFID Tag กับ RFID Reader



รูปที่ 4.13 การวัดระยะการอ่านข้อมูลในการทำงานจริง

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดระยะทางการอ่านข้อมูลในห้อง Chamber

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน (cm.)
1	588
2	575
3	590
เฉลี่ย	584

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดระยะทางการอ่านข้อมูลในการใช้งานจริง

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน (cm.)
1	210
2	226
3	220
เฉลี่ย	218

$$R_{\max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{EIRP \cdot G_{Tag} \cdot \eta \cdot P}{P_{Tag}}} \quad (4.1)$$

เมื่อเราคำนวณตามสมการ (4.1) พบว่า ระยะทางของการอ่านข้อมูล เท่ากับ 5.93 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากทฤษฎี และเมื่อทำการวัดผลจริงในห้อง Chamber ได้ระยะทาง เท่ากับ 5.84 เมตร (ค่าเฉลี่ย จากตารางที่ 2.1) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าทั้งสองแล้วมีความใกล้เคียงกันมาก อีกทั้งในความเป็นจริงสามารถยอมรับได้

#### 4.4 สรุป

หลังจากที่สร้างชิ้นงาน RFID Tag ต้นแบบมาแล้ว นำไปวัดทดสอบในห้อง Chamber และนำไปใช้งานจริง พบว่า สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะประมาณ 5.84 เมตร และ 2.18 เมตร ตามลำดับ นับว่าค่าที่ได้ผ่านตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

## บทที่ 5

### บทสรุปของโครงการ

#### 5.1 กล่าวสรุป

เนื้อหาในบทนี้เป็นการกล่าวถึงบทสรุปของโครงการการออกแบบสายอากาศสำหรับ RFID Tag ย่านความถี่ 920-925 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาที่พบในขณะดำเนินงาน วิธีการแก้ไข ข้อเสนอแนะ และวิธีการพัฒนาโครงการต่อไป

โครงการการออกแบบสายอากาศสำหรับ RFID Tag ย่านความถี่ 920-925 เมกะเฮิรตซ์ มีส่วนประกอบหลัก คือ

1. เครื่องอ่าน เป็นส่วนตัวอ่านสัญญาณจากแท็ก
2. สายอากาศของเครื่องอ่าน เป็นส่วนของสายอากาศที่รับส่งสัญญาณกับแท็ก
3. ไอซีชิป เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลของวัตถุ
4. สายอากาศของแท็ก เป็นส่วนของสายอากาศที่รับส่งสัญญาณกับเครื่องอ่าน
5. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ที่ลงโปรแกรมอ่านแท็กเรียบร้อยแล้ว

สำหรับขั้นตอนการออกแบบสายอากาศสำหรับ RFID Tag เริ่มจากการกำหนดขนาดของชิ้นงานให้มีขนาด 10x10 มิลลิเมตร เพื่อให้ติดบนแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (ป้าย พ.ร.บ.) ได้อย่างเหมาะสม จากนั้นทำการออกแบบสายอากาศโดยการปรับค่าความยาว ให้ได้อิมพีแดนซ์เท่ากับ  $21.3 + j191.7 \Omega$  ซึ่งจะแมตช์กับอิมพีแดนซ์ของ ไอซีชิปที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $21.3 - j191.7 \Omega$  แต่การปรับค่าความยาวอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ  $21.3 + j191.7 \Omega$  ได้ เราจึงปรับค่าความกว้างของเส้นแต่ค่าที่ได้ยังไม่แมตช์กัน สุดท้ายได้ทำการแมตช์โดยใช้ สตัมป์แบบขนาน จึงได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ  $21.3 + j191.7 \Omega$  ซึ่งแมตช์กับอิมพีแดนซ์ของ ไอซีชิป จากนั้นได้ทำการจำลองผล ดูว่าสายอากาศสามารถใช้งานได้หรือไม่ ผลที่ออกมาคือ สามารถใช้งานได้ จึงสร้างชิ้นงานต้นแบบแล้วนำไปวัดทดสอบผล คือ สามารถใช้งานได้จริง

ซึ่งจากการวัดทดสอบพบว่า ชีงงาน RFID Tag ต้นแบบที่ได้ออกแบบ และสร้างชิ้นงาน ขึ้นมานั้นสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะทางประมาณ 5.84 เมตร ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบมาเพื่อใช้งาน

## 5.2 ปัญหา และแนวทางในการแก้ไขปัญหา

ในการทำโครงการการออกแบบสายอากาศ RFID Tag ย่านความถี่ 920-925 เมกะเฮิร์ตซ์ ปัญหาที่พบ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งประกอบด้วย ตัวปัญหาที่พบ สาเหตุของปัญหารวมทั้ง วิธีการแก้ไขปัญหา

ตารางที่ 5.1 ปัญหาที่พบ และสาเหตุของปัญหารวมทั้งวิธีการแก้ไขปัญหา

ปัญหาที่พบในขณะ ดำเนินงาน	สาเหตุและวิธีการแก้ไข
1. IC Chip	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากในประเทศไทยนั้น ไม่มี IC Chip ที่ใช้กับ RFID Tag ใน ย่านความถี่ UHF <u>วิธีการแก้ไข</u> จึงทำการแกะ IC Chip ของเก่ามาใช้งาน
2. การสร้างชิ้นงาน	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากสายอากาศมีขนาดเล็กมากในการสร้างชิ้นงานทำให้ได้ ชิ้นงาน ไม่ตรงกับขนาดที่ออกแบบมา <u>วิธีการแก้ไข</u> ควรใช้ความประณีตในการสร้างชิ้นงาน
3. การกัดลายชิ้นงาน	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากการผสมน้ำยากัดแผ่นปริ้นเข้มข้นมากเกินไปและ สายอากาศมีขนาดเล็กมากการติดสติ๊กเกอร์ไม่สนิท ทำให้ลายที่ได้มี ขนาดไม่ตรงกับที่ออกแบบมา <u>วิธีการแก้ไข</u> ควรผสมน้ำยากัดในอัตราส่วนที่เหมาะสมและหลังจากติด สติ๊กเกอร์ควรใช้เครื่องเป่าร้อนเป่าให้สติ๊กเกอร์ติดสนิทขึ้น
4. การติด IC Chip	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจาก IC Chip มีขนาดเล็กมากไม่สามารถยึดกรีแบบปกติได้ <u>วิธีการแก้ไข</u> ใช้ตะกั่วแบบเหลวติดหรือใช้สติ๊กเกอร์ใสติดทับแทน
5. การติด RFID Tag ในรถยนต์	<u>สาเหตุ</u> ตำแหน่งติดแผ่นป้าย พ.ร.บ.ของรถยนต์ไม่ตรงกัน ซึ่งรถบางคัน ติดแผ่นฟิล์มต่างชนิดกัน และความหนาของกระจกไม่เท่ากัน รวมทั้ง ชนิดของกระจก และความเอียงของกระจกที่ไม่เท่ากัน <u>วิธีการแก้ไข</u> ควรออกแบบให้เหมาะกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง



### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการวัดผลควรตั้งโพลาริซซ์ของแท็ก กับเครื่องอ่านให้ตรงกันจึงจะสามารถอ่านได้

5.3.2 ในการสร้างชิ้นงานควรใช้ความประณีต และใจเย็นอย่างมาก เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ตรง

ตามการออกแบบ

### 5.4 แนวทางการพัฒนาต่อไป

เนื่องจากชิ้นงาน RFID Tag ต้นแบบในโครงการนี้สามารถรับส่งข้อมูลได้ในทิศทางแนวนอนเพียงอย่างเดียว การพัฒนา คือ หาเทคนิคที่ทำให้ RFID Tag สามารถรับส่งข้อมูลได้ในทิศทางแนวตั้งได้ด้วย อีกทั้งชิ้นงานมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ดังนั้นควรหาวิธีหรือแนวทางในการออกแบบชิ้นงานให้มีขนาดเล็ก และให้มีความโค้งงอได้เพื่อสะดวกในการนำไปใช้งาน



### บรรณานุกรม

- [1] รศ.ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์. Antenna engineering. วิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี .
- [2] อาร์เอฟไอดี. สืบค้นจาก : <http://th.wikipedia.org>.
- [3] RFID (Radio Frequency Identification). สืบค้น จาก: <http://www.student.chula.ac.th/~49801110>.
- [4] RFID (Radio Frequency Identification). สืบค้นจาก: <http://rfid-datacom.blogspot.com>.
- [5] CST MICROWAVE STUDIO. สืบค้นจาก: <http://www.edaboard.com/forum.php>
- [6] การสื่อสารกันระหว่าง RFID Reader กับ RFID Tag : <http://www.id.co.th/component/content/article/57-support/79-rfid-knowledge-comunication-reader-tag>
- [7] แนะนำเทคโนโลยี RFID: <http://www.rfid.or.th/2012/th/technology/know.asp>
- [8] จุดเด่นของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี : <http://www.id.co.th/component/content/article/57-support/80-rfid-knowledge-highlights-of-rfid>
- [9] RFID Tag เครื่องหมายการเสียบางปีรูปแบบใหม่: <http://auto.sanook.com/1063/rfid-tag>
- [10] เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและบาร์โค้ด : <http://www.id.co.th/component/content/article/57-support/82-rfid-knowledge-and-barcode>

## ภาคผนวก

เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) ที่ใช้ คือ RFID Fixed Reader รุ่น MR 6134A



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, fastreading, 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, tagwrite, lock, and Kill tag etc.

Model No.	MR 6134A
Standard	ISO18000-6B, ISO18000-6C (EPC GEN2)
Compliance	
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°C~ + 80°C

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

## 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

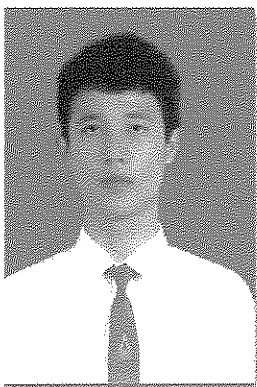
\* Modulated jammer, offset to carrier frequency > 1.0 MHz

## Ordering information

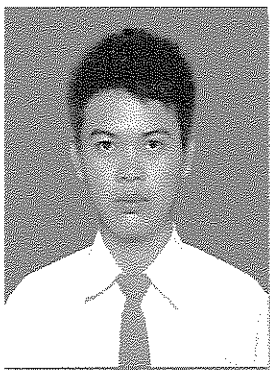
Part	Ordering number	Delivery type description
UCODE G2XM	SL3ICS1002FUG/V7AF	Bumped and sawn wafer on foil frame carrier (8 inch)
	SL3S1002FTT	SMD package: TSSOP8
	SL3FCS1002FC	Flip chip package: Polymer strap
UCODE G2XL	SL3ICS1202FUG/V7AF	Bumped and sawn wafer on foil frame carrier (8 inch)
	SL3S1202FTT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



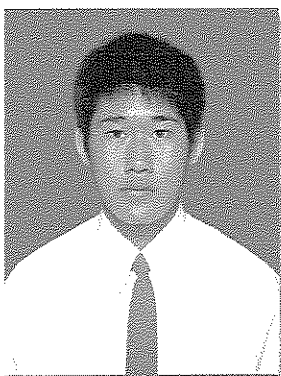
## ประวัติผู้เขียน



นายพิรพงษ์ เจริญสันติสุข เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2533 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลสุขไพบูลย์ อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสุขไพบูลย์วิริยะวิทยา อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2552 ปัจจุบันเป็น นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นายอัศวิ แสนโชติ เกิดเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2533 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลปามะนาว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับ มัธยมปลายจากโรงเรียนนครขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2552 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรม โทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นายอำพล ทองเพชร เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2533 ภูมิลำเนา อยู่ที่ ตำบลศรีสองรัก อำเภอเมือง จังหวัดเลย สำเร็จการศึกษาระดับ มัธยมปลายจากโรงเรียนเลขพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดเลย เมื่อปี พ.ศ. 2552 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรม โทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี