

แบบแผนการประเมินผลการทดลองของช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบระบุตัวตน  
ด้วยความถี่วิทยุสำหรับโครงข่ายบริเวณบุคคลแบบไร้สาย  
EXPERIMENTAL EVALUATION SCHEME OF RFID PROPAGATION  
CHANNEL FOR WIRELESS BODY AREA NETWORKS



โดย

นางสาวกณิศา ทิพย์จันทร์

นางสาวทิพย์สุমন เกริกไกรสุขสม

นายธนวัฒน์ บรรพตจิต

2/พ.  
ก/22 น  
2550

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 8331.8  
วัน, เดือน, ปี..... 11 ส.ค. 2551

b.11a.5b3.12  
.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EXPERIMENTAL EVALUATION SCHEME OF RFID PROPAGATION  
CHANNEL FOR WIRELESS BODY AREA NETWORKS**



**BY**

**MS. KANITA TIPPAYAJAN  
MS. THIPSUMON KIRKKRAISUKSOM  
MR. THANAWAT BANPOTJIT**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN DEPARTMENT  
OF INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRANG**

**2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** แบบแผนการประเมินผลการทดลองของช่องสัญญาณการแพร่กระจาย  
แบบระบุตัวคนด้วยความถี่วิทยุสำหรับ โครงข่ายบริเวณบุคคลแบบไร้สาย

**ชื่อนักศึกษา** นางสาวกณิศา ทิพย์จันทร์ รหัสประจำตัว 47010002  
นางสาวทิพย์สุนน เกริกไกรสุขสม รหัสประจำตัว 47010284  
นายชนวัฒน์ บรรพตจิต รหัสประจำตัว 47010308


**อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์นิกร สุขุมตันติ  
อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

**ระดับการศึกษา** ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

**ภาควิชา** วิศวกรรมสารสนเทศ

**ปีการศึกษา** 2550

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

  
.....  
(รองศาสตราจารย์นิกร สุขุมตันติ)

  
.....  
(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้ทางผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนวทางในการดำเนินงานตลอดจนช่วยเหลือในเรื่องเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานต่างๆและดูแลผู้จัดทำเสมอมาจาก อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ และ รองศาสตราจารย์นิกร สุขุมตันติ จนกระทั่งสำเร็จเป็นโครงการที่ทีมงานผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ให้ความกรุณา มา ณ ที่นี้ อีกทั้งข้าพเจ้ากราบขอขอบคุณ บิดาและมารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ เปิดโอกาสและสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ปฏิญาณนิพนธ์ฉบับนี้จะสมบูรณ์ขึ้นมาไม่ได้เลยหากขาดคณะบุคคลเหล่านี้ ขอคุณพระศรีรัตนไตรช่วยให้คณะบุคคลเหล่านี้จึงมีแต่ความสุขความเจริญตลอดไป

กณิดา ทิพย์จันทร์  
ทิพย์สุมน เกริกไกรสุขสม  
ธนวัฒน์ บรรพตจิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อปริญญานิพนธ์</b>	แบบแผนการประเมินผลการทดลองของช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุสำหรับ โครงข่ายบริเวณบุคคลแบบไร้สาย		
<b>ชื่อนักศึกษา</b>	นางสาวกณิศา	ทิพย์จันทร์	รหัสประจำตัว 47010002
	นางสาวทิพย์สุมน	เกริกไกรสุขสม	รหัสประจำตัว 47010284
	นายชนวัฒน์	บรรพตจิต	รหัสประจำตัว 47010308
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	รองศาสตราจารย์นิกร สุขุดมตันติ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์		
<b>ระดับการศึกษา</b>	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
<b>ภาควิชา</b>	วิศวกรรมสารสนเทศ		
<b>ประจำปีการศึกษา</b>	2550		

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีข้อได้เปรียบเหนือระบบรหัสแบบแบ่ง ในเรื่องประสิทธิภาพ ความรวดเร็วในการอ่านข้อมูล และความยืดหยุ่นในย่านการใช้งาน ทำให้เกิดการพัฒนาระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ในด้านต่างๆมากขึ้น จะเห็นได้จากความถี่ที่ใช้สูงขึ้น มีช่องสัญญาณและความแม่นยำมากขึ้น เช่นในการนำมาประยุกต์ใช้งานเมื่อมีโครงข่ายบริเวณส่วนบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งต้องการความแม่นยำสูง ดังนั้นในโครงงานนี้ จึงนำเสนอการจำลองการวัดค่าสัญญาณ เมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อใช้วิเคราะห์ผลกระทบของตัวบุคคลที่มีต่อการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ โดยได้นำเสนอแบบจำลองในการวัดสัญญาณบนตัวบุคคล ทั้งหมด 2 แบบ โดยแบบแรกในช่วงความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งใช้สายอากาศไมโครสตริปเป็นตัวส่งสัญญาณ (Tx) และตัวรับสัญญาณ (Rx) แบบที่สองในช่วงความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ เป็นตัวส่งสัญญาณ (Tx) และใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปและแบบเส้นตัวนำกลางเป็นตัวรับสัญญาณ (Rx) และใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเนตเวิร์ก ในการวัดค่าสัญญาณวิทยุในโครงงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Experimental Evaluation Scheme of RFID Propagation Channel for Wireless Body Area Networks		
<b>Student</b>	Miss.Kanita	Tippayajan	47010002
	Miss.Thipsumon	Kirrkraisuksom	47010284
	Mr.Thanawat	Banpotjit	47010308
<b>Thesis Advisor</b>	Mr.Nikom Sukuthumtanti Mr.Sathaporn Promwong		
<b>Graduate Level</b>	Bachelor Degree of Information Engineering		
<b>Department</b>	Information Engineering		
<b>Academic</b>	2007		

### ABSTRACT

Nowadays RFID Technology has an important part in daily life because of its advantage over Barcode Technology in efficiency, reading speed and flexibility ways. Development of applying RFID technology is increasing as it has more efficient and often uses in more vary frequency. Such as using RFID in activity that involve body area network, this project presents the Experimental Evaluation Scheme of RFID Propagation Channel with Wireless Body Area Network that is set in two models. In the first model at 2.45 GHz, microstrip antenna was used as transmitter and receiver. In the second model at 5.8 GHz, biconical antenna was used as transmitter and for the receiver; microstrip antenna and meander line antenna were used.

Moreover, this project uses Vector Network Analyzer to measure 19 positions on human body in each model. After the result data are collected, these data are analyzed by MATLAB to show the impact of human body over the radio wave propagation in graph.

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 เนื้อหาของรายงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ความหมายของระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (RFID)	4
2.3 องค์ประกอบของระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ	5
2.3.1 แท็กหรือ ทรานสปอนเดอร์ (Tag or Transponder)	6
2.3.1.1 แท็กสัณนิคแอ็กทีฟ (Active Tag)	8
2.3.1.2 แท็กสัณนิคพาสซีฟ (Passive Tag)	9
2.3.2 เครื่องอ่าน หรือ อินเทอ โรเกเตอร์ (Reader or Interrogator)	10
2.4 ความถี่ใช้งานของอาร์เอฟไอดี	13
2.4.1 ระยะเวลาในการอ่านข้อมูล	14
2.5 ลักษณะการทำงานของ อาร์เอฟไอดี	16
2.5.1 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ	16
2.5.2 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ	18
2.5.3 วิธีการและเทคนิคเบื้องต้นในการรับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6 สรุปหลักการดำเนินงานเบื้องต้นของระบบอาร์เอฟไอดี	22
2.7 เปรียบเทียบข้อดีของอาร์เอฟไอดีกับรหัสแท่ง (Barcode)	23
2.8 การประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดี	25
บทที่3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	29
3.1 บทนำ	29
3.2 ทฤษฎีของฟรีส (Friis Formula)	29
3.3 ทฤษฎีการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)	30
3.4 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	30
3.5 สมการฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง	31
3.6 กำลังการแผ่ประวิงเวลา (Power Delay Profile)	32
3.7 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate)	33
บทที่ 4 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง	34
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	35
4.1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzers)	35
4.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ	36
4.2.1 สายอากาศที่ใช้กับแบบจำลองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์	36
4.2.1.1 สายอากาศไมโครสตริปที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์	36
4.2.2 สายอากาศที่ใช้กับแบบจำลองที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์	37
4.2.2.1 สายอากาศแบบกรวยคู่	37
4.2.2.2 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	39
4.2.2.3 สายอากาศแบบไมโครสตริป	40
4.3 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์	41
4.3.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง	42
4.4 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์	43
4.4.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลอง	45
5.1 บทนำ	45
5.2 ผลการทดลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์	45
5.3 ผลการทดลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์	48
5.3.1 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้สายอากาศ แบบเส้นตัวนำกลางเป็นตัวรับสัญญาณ	48
5.3.1.1 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน	48
5.3.1.2 การหาค่ากำลังการแผ่ประวิงเวลา	50
5.3.1.3 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายของสัญญาณ	53
5.3.1.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	55
5.3.1.5 การหาค่าอัตราความผิดพลาดบิต	56
5.3.2 การวิเคราะห์เมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปเป็นตัวรับสัญญาณ	60
5.3.2.1 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน	60
5.3.2.2 การหาค่ากำลังการแผ่ประวิงเวลา	61
5.3.2.3 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายของสัญญาณ	64
5.3.2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	66
5.3.2.5 การหาค่าอัตราความผิดพลาดบิต	68
บทที่ 6 บทสรุป	72
6.1 บทนำ	72
6.2 สรุปผลการทดลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์	72
6.3 สรุปผลการทดลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์	73
6.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินโครงการ	74
6.5 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ	74
6.6 แนวทางในการแก้ปัญหา	74
6.7 ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

ภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆของระบบ อาร์เอฟไอดี	5
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของแท็กที่เหมาะสมสำหรับย่านของสายอากาศที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ	7
รูปที่ 2.3 ระบบการอ่าน/เขียนข้อมูลอย่างง่ายของ อาร์เอฟไอดี	8
รูปที่ 2.4 แท็กในรูปแบบต่าง ๆ	10
รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี	11
รูปที่ 2.6 เครื่องอ่านลักษณะต่างๆที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน	12
รูปที่ 2.7 ลักษณะการใช้งานแท็กส์และตัวอ่าน	12
รูปที่ 2.8 ความถี่ย่านที่ระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุถูกใช้งาน	13
รูปที่ 2.9 สนามแม่เหล็กจากกระบวนการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ	15
รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของ LF, HF, และ UHF	17
รูปที่ 2.11 การเข้ารหัสแบบต่าง ๆ	19
รูปที่ 2.12 การทำ modulation แบบ ASK	20
รูปที่ 2.13 การทำการ modulation แบบ FSK	20
รูปที่ 2.14 การทำการ Modulation แบบ PSK	20
รูปที่ 2.15 เครื่องอ่านทำงานร่วมกับแท็กหลาย ๆ อันพร้อม ๆ กัน	21
รูปที่ 2.16 อัลกอริทึมในการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) ในแท็ก	22
รูปที่ 2.17 การตรวจสอบสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งอ่านได้ระยะไกลไม่สะดวก (ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีอ่านได้ระยะไกล	23
รูปที่ 2.18 การอ่านลากสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งอ่านได้ที่ละชิ้น (ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีอ่านได้ที่ละหลายชิ้น	24
รูปที่ 2.19 การตรวจสอบสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งเวลาอ่านต้องเห็นรหัสแท่งอย่างชัดเจนและอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องอ่าน (ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีเวลาอ่านไม่ต้องเห็นแท็ก(อ่านทะลุหีบห่อได้) และไม่ต้องอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องอ่าน	24

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
รูปที่ 2.20 การประยุกต์ใช้งาน ในคลังสินค้า	26
รูปที่ 2.21 การประยุกต์ใช้งานในโรงพยาบาล	26
รูปที่ 2.22 การประยุกต์ใช้งานปศุสัตว์	27
รูปที่ 2.23 การประยุกต์ใช้งานระบบรักษาความปลอดภัยใน การเข้า-ออกอาคาร	27
รูปที่ 2.24 การประยุกต์ใช้ในระบบบุญเจอิเล็กทรอนิกส์	28
รูปที่ 2.25 การประยุกต์ใช้ในระบบห้องสมุด	28
รูปที่ 4.1 แบบแผนการศึกษาทดลองวิจัย	35
รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	36
รูปที่ 4.3 สายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์	37
รูปที่ 4.4 คุณลักษณะของสายอากาศที่ใช้วัด	37
รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่	38
รูปที่ 4.6 สายอากาศแบบกรวยคู่	38
รูปที่ 4.7 สายอากาศสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	39
รูปที่ 4.8 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	40
รูปที่ 4.9 สายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์	40
รูปที่ 4.10 คุณลักษณะของสายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์	41
รูปที่ 4.11 การจัดวางอุปกรณ์ในห้องทดลองสำหรับแบบจำลองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์	42
รูปที่ 4.12 การจัดวางอุปกรณ์ในห้องทดลองสำหรับแบบจำลองที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์	43
รูปที่ 5.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน	45
รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน	46
รูปที่ 5.3 การแผ่ประวิงเวลาเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	46
รูปที่ 5.4 การแผ่ประวิงเวลาเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	47
รูปที่ 5.5 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ	47
รูปที่ 5.6 อัตราการขยายเชิงวิถีของสัญญาณ	48
รูปที่ 5.7 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
รูปที่ 5.8 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน	49
รูปที่ 5.9 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร	50
รูปที่ 5.10 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร	51
รูปที่ 5.11 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร	51
รูปที่ 5.12 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร	52
รูปที่ 5.13 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร	52
รูปที่ 5.14 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร	53
รูปที่ 5.15 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	53
รูปที่ 5.16 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	54
รูปที่ 5.17 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	54
รูปที่ 5.18 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	55
รูปที่ 5.19 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	55
รูปที่ 5.20 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	56
รูปที่ 5.21 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร	57
รูปที่ 5.22 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร	57
รูปที่ 5.23 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร	58
รูปที่ 5.24 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร	58
รูปที่ 5.25 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร	59
รูปที่ 5.26 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร	59
รูปที่ 5.27 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน	60
รูปที่ 5.28 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน	61
รูปที่ 5.29 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร	62
รูปที่ 5.30 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร	62
รูปที่ 5.31 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร	63
รูปที่ 5.32 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร	63
รูปที่ 5.33 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
รูปที่ 5.34 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร	64
รูปที่ 5.35 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	65
รูปที่ 5.36 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	65
รูปที่ 5.37 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	66
รูปที่ 5.38 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	66
รูปที่ 5.39 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	67
รูปที่ 5.40 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง	67
รูปที่ 5.41 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร	68
รูปที่ 5.42 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร	69
รูปที่ 5.43 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร	69
รูปที่ 5.44 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร	70
รูปที่ 5.45 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร	70
รูปที่ 5.46 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความถี่ที่ใช้งานของอาร์เอฟไอดี	14
ตารางที่ 2.2 ข้อแตกต่างของอาร์เอฟไอดีระบบต่าง ๆ	15
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์	42
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลองที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์	44
ตารางที่ 6.1 กำลังสูญเสียที่ตำแหน่ง $p_1$ - $p_5$	72
ตารางที่ 6.2 กำลังสูญเสียที่ตำแหน่ง $p_6$ - $p_{10}$	72
ตารางที่ 6.3 กำลังสูญเสียที่ตำแหน่ง $p_{11}$ - $p_{15}$	73
ตารางที่ 6.4 กำลังสูญเสียที่ตำแหน่ง $p_{16}$ - $p_{19}$	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและเหตุผล

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (RFID: Radio Frequency Identification) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย และได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตประจำวันของคนเรา ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้นำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี มาใช้งานเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ใช้ในระบบการขนส่ง (Logistics) ระบบคลังสินค้า ระบบการจัดการฟาร์มอัตโนมัติ การควบคุมการเข้าออก ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์ ระบบสืบค้นหนังสือในห้องสมุดอัจฉริยะ และอื่น ๆ อีกมากมาย

ซึ่งในการนำระบบนี้ไปใช้งานจริงนั้น ประสิทธิภาพของระบบอาจลดลงได้เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลต่อเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ได้เช่นกัน นั่นก็คือ ร่างกายมนุษย์นั่นเอง [8]

จากความสามารถในการประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ทำให้มีการนำเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ มาใช้ในงานที่ต้องเกี่ยวข้องกับร่างกายมนุษย์มากขึ้น ดังนั้นในปริญญาณิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายตัวบุคคล โดยได้ออกแบบการจำลองการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของโครงข่ายตัวบุคคลที่มีต่อการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยที่ใช้ตัวรับสัญญาณเป็นสายอากาศแบบต่างๆ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและวัดสัญญาณการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ที่ประกอบโครงข่ายบริเวณ  
ตัวบุคคล
- 1.2.2 ศึกษาเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ
- 1.2.3 ศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริป สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง  
และสายอากาศแบบกรวยคู่

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี และสามารถนำเทคโนโลยีการ  
ระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ไปประยุกต์ใช้งานได้
- 1.3.2 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองและนำไปพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการระบุ  
ตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เมื่อมีโครงข่ายตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องให้มีประสิทธิภาพดี  
ขึ้นได้
- 1.3.3 สามารถใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองและแสดงออกมาเป็น  
กราฟเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย

## 1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาสายอากาศแบบไมโครสตริป ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์
- 1.4.2 ศึกษาสายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางที่ความถี่ 5.8 กิกะ  
เฮิรตซ์
- 1.4.3 ทำการวัดคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่เป็นโครงข่ายบริเวณตัวบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 เนื้อหาของรายงาน

เนื้อหาของรายงานฉบับนี้มีทั้งหมด 6 บท โดยแต่ละบทมีเนื้อหาโดยสรุปดังนี้คือ

- บทที่ 1 เป็นเนื้อหาในส่วนของบทนำซึ่งจะกล่าวถึงความเป็นมาและแนวความคิดการทำโครงการนี้ซึ่งจะประกอบด้วย วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และขอบเขตของโครงการ

- บทที่ 2 เป็นเนื้อหาที่กล่าวถึงเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและ เช่น ความหมายของการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ องค์ประกอบพื้นฐานของการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ และหลักการทำงานของการทำงานของระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

- บทที่ 3 เป็นเนื้อหาที่กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์กราฟทางคณิตศาสตร์ ที่ได้จากการทดลอง เพื่อวิเคราะห์หาค่าของผลกระทบจากตัวบุคคลต่อไป

- บทที่ 4 เป็นเนื้อหาในส่วนของกรออกแบบแบบจำลองการวัด และขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงการ

- บทที่ 5 เป็นเนื้อหาในส่วนของกรแสดงผลจากการวัดตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบมาแล้ว

- บทที่ 6 เป็นเนื้อหาในส่วนของกรสรุปผลการทดลอง โดยอ้างอิงตามทฤษฎีที่เรานำมาวิเคราะห์ ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

## บทที่ 2

### RFID (Radio Frequency Identification)

#### 2.1 บทนำ

แม้ว่าในช่วงนี้จะเป็นเศรษฐกิจถดถอยและอาจทำให้การซื้อหาอะไรจะต้องคิดหน้าคิดหลังอยู่บ้าง แต่เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยได้เข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ ในขณะที่นำสินค้าไปยังแคชเชียร์เพื่อชำระเงิน ก็จะคุ้นเคยกับภาพของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด บนตัวสินค้าเพื่ออ่านข้อมูลบางอย่างออกมา ซึ่งแม้ว่าฉลากแบบบาร์โค้ดจะเป็นที่นิยมและใช้กันมากในบ้านเรา แต่ทว่าวิธีการเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับทบทวนแก้ไขอยู่หลายจุด ปัญหาที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งก็คือ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องยิงลำแสงตรวจจับลงไปยังฉลากเพื่ออ่านค่ากลับ หรือใช้กล้องซีดีขนาดเล็กจับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ซึ่งถ้าหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจน การอ่านค่ากลับมาอาจจะมีคามผิดพลาด นอกจากนี้วิธีการอ่านค่าที่จำเป็นต้องนำเครื่องอ่านมาวางอยู่เหนือฉลากที่ต้องการอ่านค่าก็ไม่ใช่วิธีทางที่สะดวกสำหรับงานบางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฉลากต้องตรวจสอบเป็นจำนวนมากๆ นี้ ก็คงเป็นหนึ่งในหลายๆ เหตุผลที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบฉลากแบบใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “RFID”

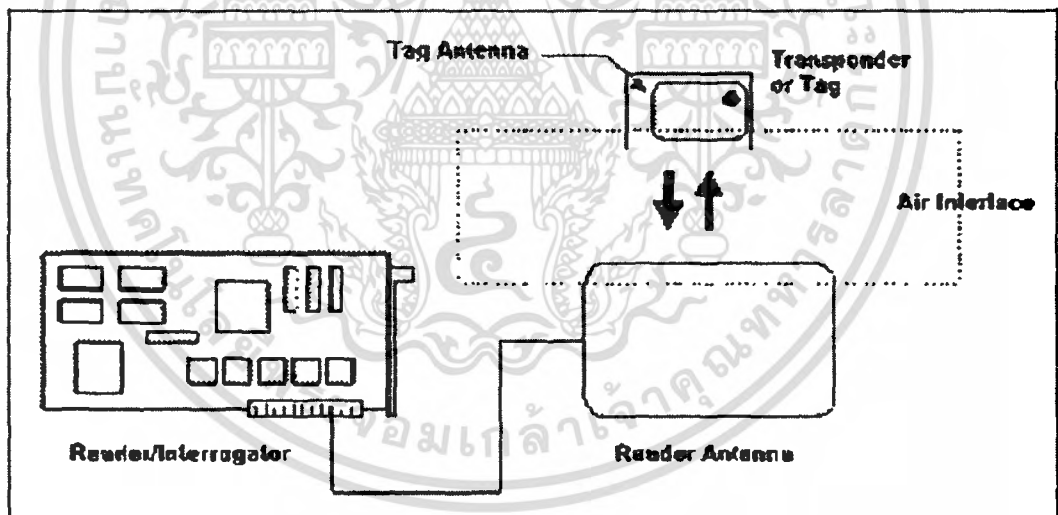
#### 2.2 ความหมายของระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (RFID)

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบฉลากที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 โดยที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือคัดจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน RFID ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจ ติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใดๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้น ๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (Contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อน ทำงานโดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการนำ RFID มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่างๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ RFID มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆ ได้ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ทการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ทการ์ด (Contact less Smart card), เหยี่ยว, ป้ายชื่อหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษ หรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว

### 2.3 องค์ประกอบของระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆของระบบ RFID

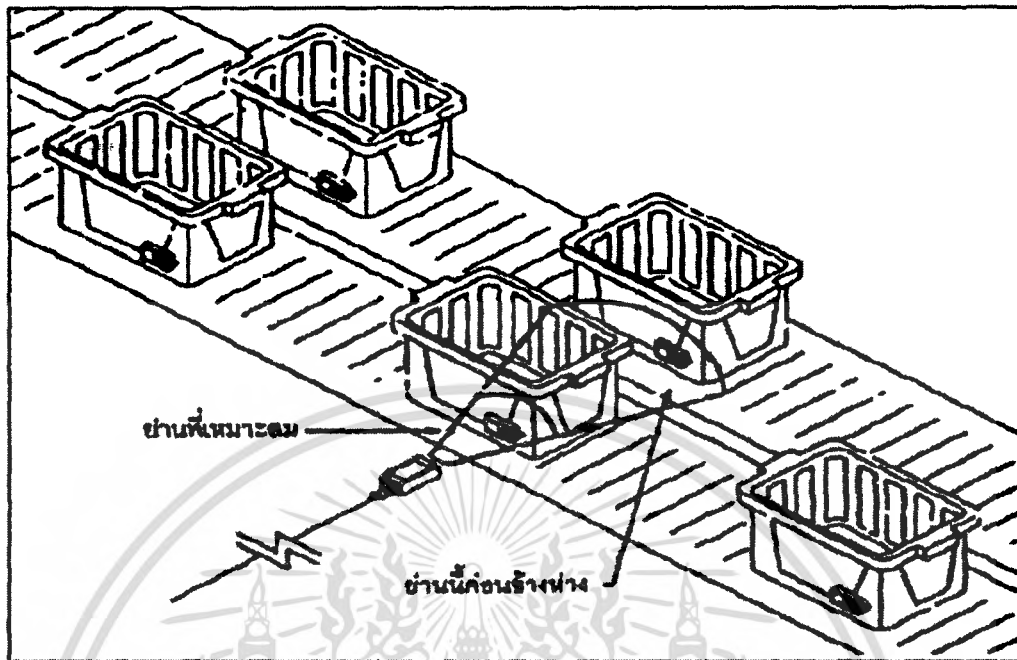
องค์ประกอบในระบบ RFID จะมีหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “แท็กส์” (Tag) ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กส์ มีชื่อเรียกว่า ทรานสซิฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่วๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกัน โดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ ทั้งโลหะและอโลหะแต่ไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อกับสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย

### 2.3.1 Tag หรือ Transponder

แท็กส์ (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ แท็กส์ก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กส์ตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กส์และตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ ผ่านอากาศ โครงสร้างภายในแท็กส์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของไอซีซึ่งเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) และส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศสำหรับรับส่งข้อมูล โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน

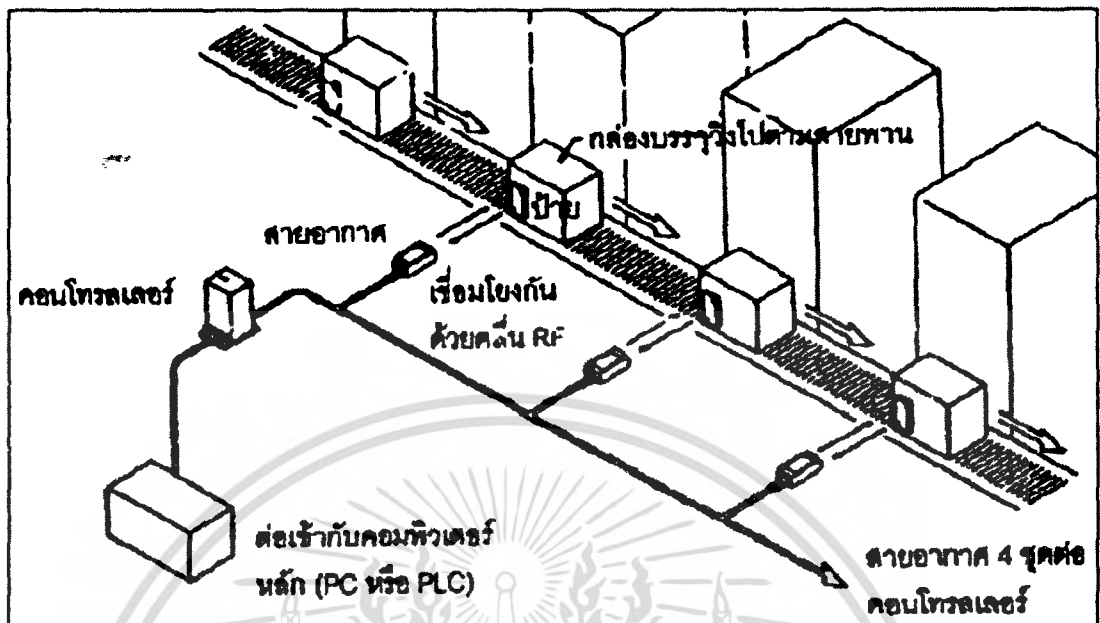
ไอซีของแท็กส์ที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่น ขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็น หรือไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของแท็กส์นั้นก็จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ 1. ส่วนของการควบคุมภาครับส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับโครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคคิมอดูเลตและภาคมอดูเลต (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กส์กับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 2. ส่วนของการควบคุมภาคดิจิทัล ซึ่งรับหน้าที่จัดการเกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิทัลทั้งหมด โครงสร้างหลัก ๆ ของส่วนการทำงานนี้ประกอบด้วย ส่วนบันทึกข้อมูล (ประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM) , รม (ROM), อีอีพรอม (EEPROM)) ส่วนของการเข้ารหัส (Crypts Unit) ส่วนตอบรับสัญญาณร้องขอ (Answer to Request) ส่วนควบคุมและประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Control & Arithmetic Unit) อย่างไรก็ตามโครงสร้างภายในของแท็กส์ที่ต่างผู้ผลิตหรือต่างรุ่นกัน บางครั้งก็อาจมีไม่ครบถ้วนทุกส่วนอย่างที่ได้ออกมา ซึ่งรายละเอียดโครงสร้างตลอดจนรายละเอียดในการทำงานของแท็กส์เบอร์ใด ๆ ก็สามารถดูได้จากคำชี้แจงของบริษัทผู้ผลิตแท็กส์เบอร์นั้น ๆ



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของแท็กที่เหมาะสมสำหรับข่านของสายอากาศที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Transponder หรือ Tags มีลักษณะเป็นไมโครชิพ (microchip) ที่ยอมให้ผู้ใช้ติดเข้าระหว่างชั้นของกระดาษหรือพลาสติกที่ใช้ทำป้ายฉลาก ชิพหรือแท็กส์อาจมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับนำไปใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดใส่ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปได้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับแท็กส์ที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง แท็กส์อาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย โดยแท็กส์จะรับพลังงานจากสัญญาณ RF เพื่อติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน หรือใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่บรรจุภายในป้าย ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ Lithium-Ion มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงมักนำมาใช้กับแผ่นป้ายนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ระบบการอ่าน/เขียนข้อมูลอย่างง่ายของ RFID

แท็กส์จะประกอบไปด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กที่จะช่วยให้แท็กส์ตอบสนองกับเครื่องอ่าน โดยสายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้แท็กส์อ่านหรือเขียนข้อมูลลงไปในสายอากาศสามารถทำได้ทุกขนาดและรูปร่าง เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ติดตั้งได้ทุกที่ และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมได้ดีที่สุดในหลาย ๆ ระบบสายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับ Transceiver เหมือนกับเป็นอุปกรณ์ติดกัน ชิปที่อยู่ในแท็กส์จะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่น ข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กส์และตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีที่ต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กส์และตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็กส์ แท็กส์ที่มีการใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะสามารถแยกออกเป็นหัวข้อดังนี้

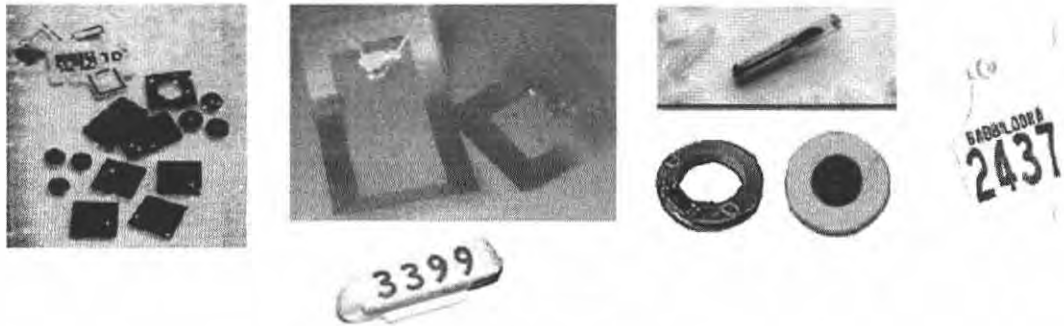
### 2.3.1.1 แท็กส์ชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

แท็กส์ชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กส์ทำงานโดยปกติ โดยแท็กส์ชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท็กได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวแท็กซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี แท็กชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าแท็กชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

### 2.3.1.2 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.4 แท็กส์ในรูปแบบต่างๆ

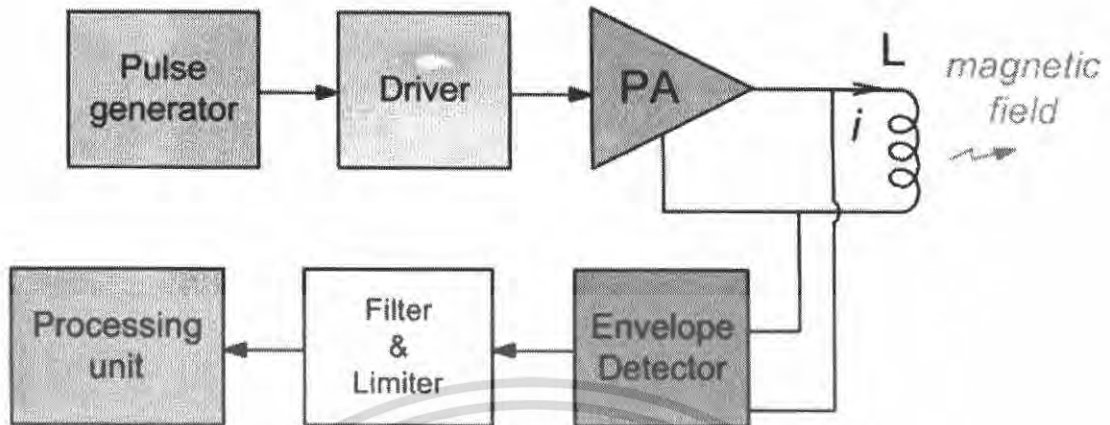
นอกจากการแท็กแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กก็ยังคงถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)
2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-One, Read-Many หรือ WORM)
3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only)

### 2.3.2 Reader หรือ Interrigator

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับ-ส่งสัญญาณ ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูลซึ่งมักจะเป็นวงจรจำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์

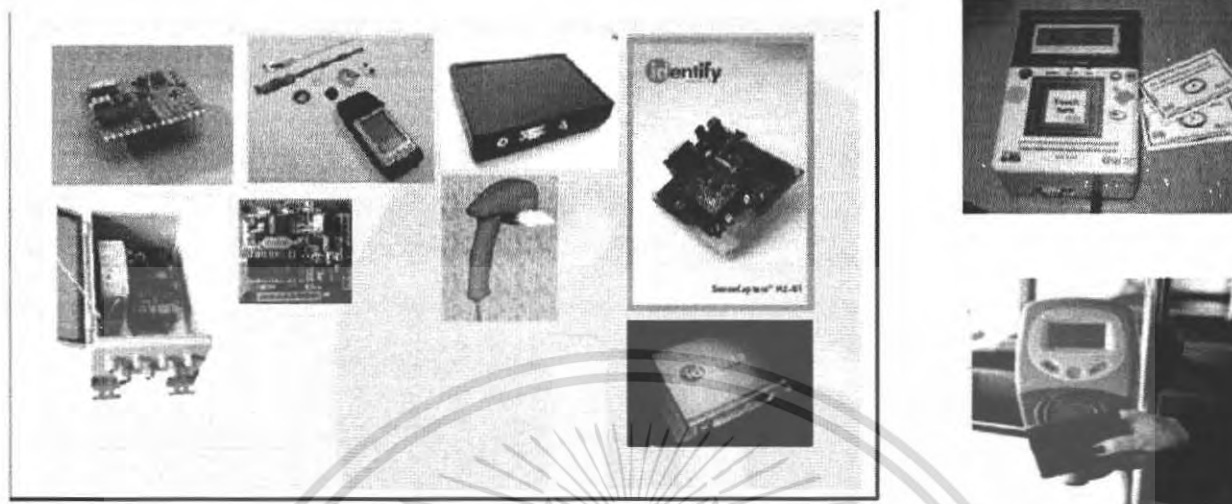
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในเครื่องอ่านการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

จากรูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในเครื่องอ่านการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ของส่วนตัวอ่านในระบบ RFID ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเริ่มจากส่วนกำเนิดสัญญาณรูปเหลี่ยม (pulse generator) ความถี่พาห้เพื่อส่งสัญญาณไปยังภาคขับ (driver) เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการขับภาคขยายกำลัง (Power Amplifier, PA) ซึ่งทำหน้าที่ขับกระแสสัญญาณต่อไปยังขดลวดเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กเชื่อมโยงไปยังส่วนแท็ก ขณะเดียวกัน ส่วนขดลวดดังกล่าวก็จะทำหน้าที่เสมือนเป็นสายอากาศ (Antenna) รับสัญญาณสนามแม่เหล็กความถี่คลื่นพาห้ที่ถูกมอดูเลตเชิงขนาดจากข้อมูลจำเพาะของส่วนแท็ก จากนั้นส่วนตรวจจับขอบ (envelope detector) ก็จะแยกข้อมูลออกจากสัญญาณคลื่นพาห้และขยายจนกระทั่งได้ระดับศักดาของข้อมูลตามมาตรฐานลอจิก เพื่อส่งต่อเข้าส่วนประมวลผลข้อมูล (processing unit) ต่อไป

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก หรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น



รูปที่ 2.6 Reader ลักษณะต่างๆที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน



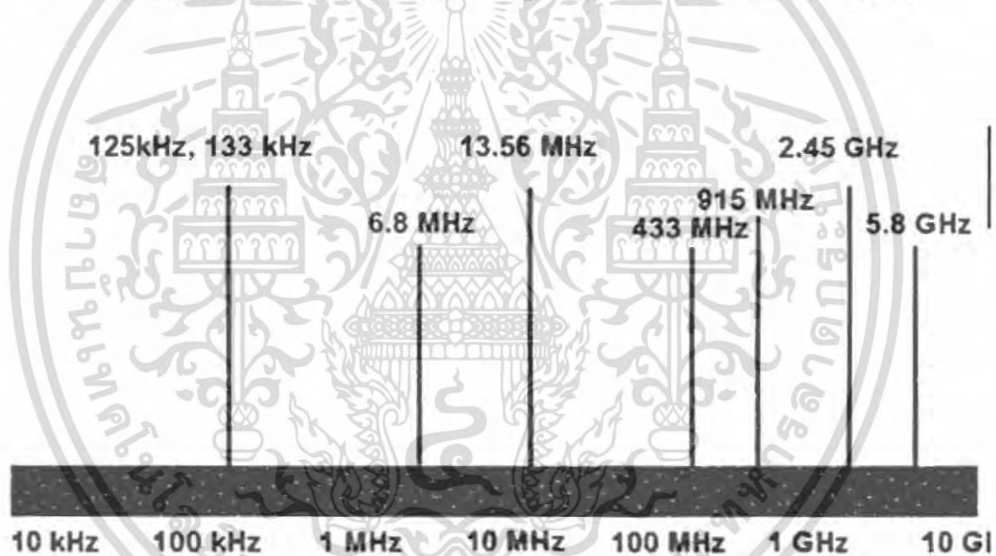
รูปที่ 2.7 ลักษณะการใช้งาน Tag และ Reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ความถี่ใช้งานของการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ จะอยู่ในย่านความถี่พลเรือน-ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงการแพทย์ วิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรม สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารโดยทั่วไป โดยมี 4 ย่านความถี่ใช้งาน คือ สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ย่านใหญ่ ๆ [2] ได้แก่

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



รูปที่ 2.8 ความถี่ย่านที่ระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุถูกใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 ระยะในการอ่านข้อมูล

ระยะในการอ่านของเครื่องอ่าน จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ กำลังส่งของเครื่องอ่าน และชนิดของแท็ก-ไอการใช้งานทั่วไปแท็กความถี่ต่ำ (LF) มีระยะในการอ่านประมาณ 10-30 เซนติเมตร ความถี่สูง (HF) มีระยะในการอ่านประมาณ 15-100 เซนติเมตร แท็กชนิดความถี่สูงยิ่ง (UHF) มีระยะในการอ่านถึง 15 เมตร หรือถ้าเป็นแบบแอ็กทีฟ จะอ่านได้ถึง 100 เมตร [2]

ความถี่	ระยะที่อ่านได้
125 – 134 กิโลเฮิร์ตซ์	น้อยกว่า 1 เมตร (10 เซนติเมตร)
13.56 เมกะเฮิร์ตซ์	น้อยกว่า 1.5 เมตร (~1 เมตร)
860 – 960 เมกะเฮิร์ตซ์	2-5 เมตร 1 – 100 เมตร (แท็กแบบแอ็กทีฟ)
2.45 กิกะเฮิร์ตซ์	น้อยกว่า 1 เมตร (แท็กแบบพาสซีฟ) 1-15 เมตร (แท็กแบบแอ็กทีฟ)

ตารางที่ 2.1 ความถี่ที่ใช้งานของการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ในการใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับงานที่มีระยะการสื่อสาร ข้อมูลในระยะใกล้ โดยย่านความถี่ต่ำ (LF) 125 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 134 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งนิยมใช้สำหรับควบคุมการเข้าออกสถานที่และการลงทะเบียนสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูง (HF) 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ นิยมใช้ในบัตรอเนกประสงค์แบบไร้สัมผัสและหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่งจะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 2-5 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน ระบบขนส่งสินค้า เป็นต้น เนื่องจากการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ มีหลายระบบและหลายมาตรฐาน พอจะเปรียบเทียบให้เห็นข้อแตกต่างได้ดังตารางที่ 2.2

พารามิเตอร์	ย่านความถี่ต่ำ (LF)	ย่านความถี่สูง (HF)			ย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF)	ย่านไมโครเวฟ
		13.56 MHz	13.56 MHz	PJM 13.56 MHz (*)		
ความถี่	125-134 KHz	13.56 MHz	13.56 MHz	PJM 13.56 MHz (*)	868-915 MHz	2.45-5.8 GHz
ส่วนแบ่งตลาด (**)	74 %	17 %		เริ่มใช้งานปี 2003	6 %	3 %
ระยะเวลาการอ่าน	ถึง 1.2 ม.	0.7-1.2 ม.	ถึง 1.2 ม.	ถึง 1.2 ม.	ถึง 4 ม. (***)	ถึง 15 ม. (****)
ความเร็วในการอ่าน	ไม่เร็วมาก	น้อยกว่า 1-5 วินาที (5s for 32 KB)	ปานกลาง (0.5 m/s)	เร็วมาก (4 m/s)	เร็ว	เร็วมาก
สถานะที่ขึ้น	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	มีผลกระทบ	มีผลกระทบ
มาตรฐาน ISO	11784/85 และ 14223	14443 A+B+C	18000-3.1/15693	18000-3.2	18000-6 และ EPC C0/C1/C1G 2	18000-4
การประยุกต์ใช้งาน	Access Immobilize r, gas, laundry	Smart cards: identificat ion, electronic ID, ticketing	Library, ticketing for big events, goods logistics, tracking/tracking, pallets' registration	Baggage handling at airport, boarding pass, postal, pharmacy	Palletts' Registration, trucks registry, trailer tracking	Road tolling, container tracking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การแจ้งขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรของ บริษัท ไม่นุ่ม จำกัด และใช้ภายใต้เงื่อนไขที่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: (\*) Phase jitter modulation, (\*\*) VDC-Report 2002, worldwide shipment of RF-ID transponders (units), (\*\*\*) in USA, (\*\*\*\*) active transponder with battery

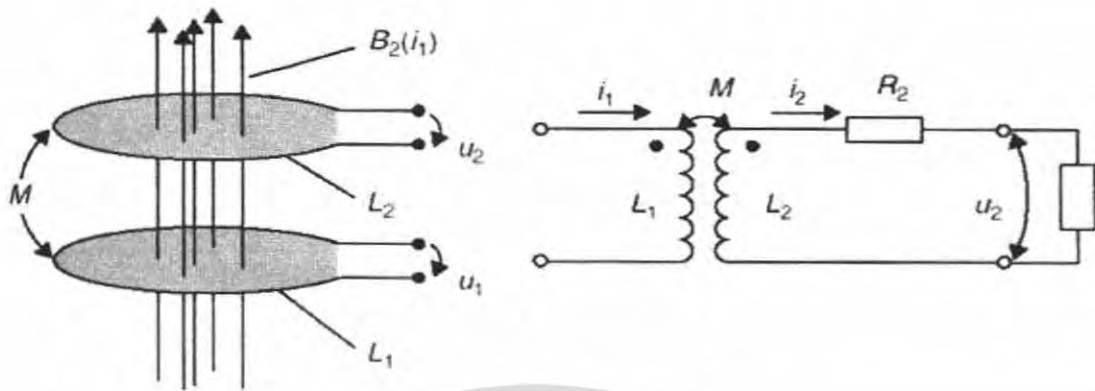
## ตารางที่ 2.2 ข้อแตกต่างของการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ระบบต่าง ๆ

### 2.5 ลักษณะการทำงานของ การระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

#### 2.5.1 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ

แท็กชนิดนี้ทำงานได้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ โดยทั่วไปการทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ ในย่านความถี่ต่ำและสูง (LF และ HF) จะใช้หลักการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ซึ่งเกิดจากการอยู่ใกล้กันของขดลวดจากเครื่องอ่านที่กำลังทำงานและสายอากาศของแท็ก ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังไมโครชิปในแท็กผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อไมโครชิปได้รับพลังงานก็จะทำงานตามลักษณะเฉพาะของข้อมูลรหัสประจำตัว ปฏิกริยาของไมโครชิปดังกล่าวเครื่องอ่านจะรับรู้ได้ผ่านสนามแม่เหล็กและจะทำการตีความเป็นข้อมูลดิจิทัลแสดงถึงรหัสประจำตัวที่ส่งมาจากแท็กได้ ลักษณะเงื่อนไขในการทำการเหนี่ยวนำแบบชักพาทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก โดยทั่วไประยะอ่านสูงสุดจะประมาณ 1 เมตรขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้

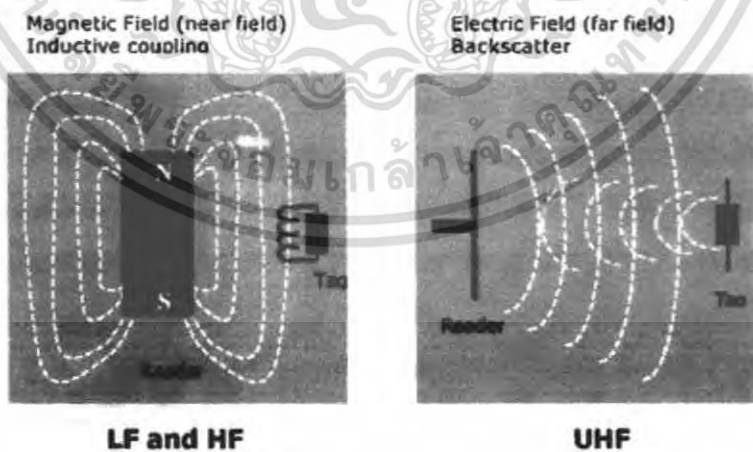
โดยปกติแท็กชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็ก โดยทั่วไปประมาณ 16-1,024 ไบต์ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ราคาต่อหน่วยต่ำ ไมโครชิปหรือไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แบบแท่ง หรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดการใช้งานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.9 สนามแม่เหล็กจากกระบวนการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ

ส่วนในระบบความถี่สูงยิ่ง (UHF) แทนที่จะใช้การสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะใช้การคู่ควบแบบแผ่กระจาย (Propagation coupling) โดยที่สายอากาศของเครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปคลื่นวิทยุออกมา ซึ่งเมื่อแท็กได้รับสัญญาณผ่านสายอากาศของตน แท็กก็จะทำงาน โดยการสะท้อนกลับคลื่นที่ได้รับ ซึ่งถูกปรับค่าตามรหัสประจำตัวของตน ไปยังเครื่องอ่าน (backscattering)

ทั้งนี้การทำงานในย่านความถี่ต่างกันจะทำให้มีคุณสมบัติการทะลวงต่างกันรวมทั้งประสิทธิภาพโดยรวมจะขึ้นกับเงื่อนไขอื่น ๆ ด้วย เช่น ขนาดของสายอากาศหรือสัญญาณรบกวนอีกด้วย



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของ LF, HF, และ UHF

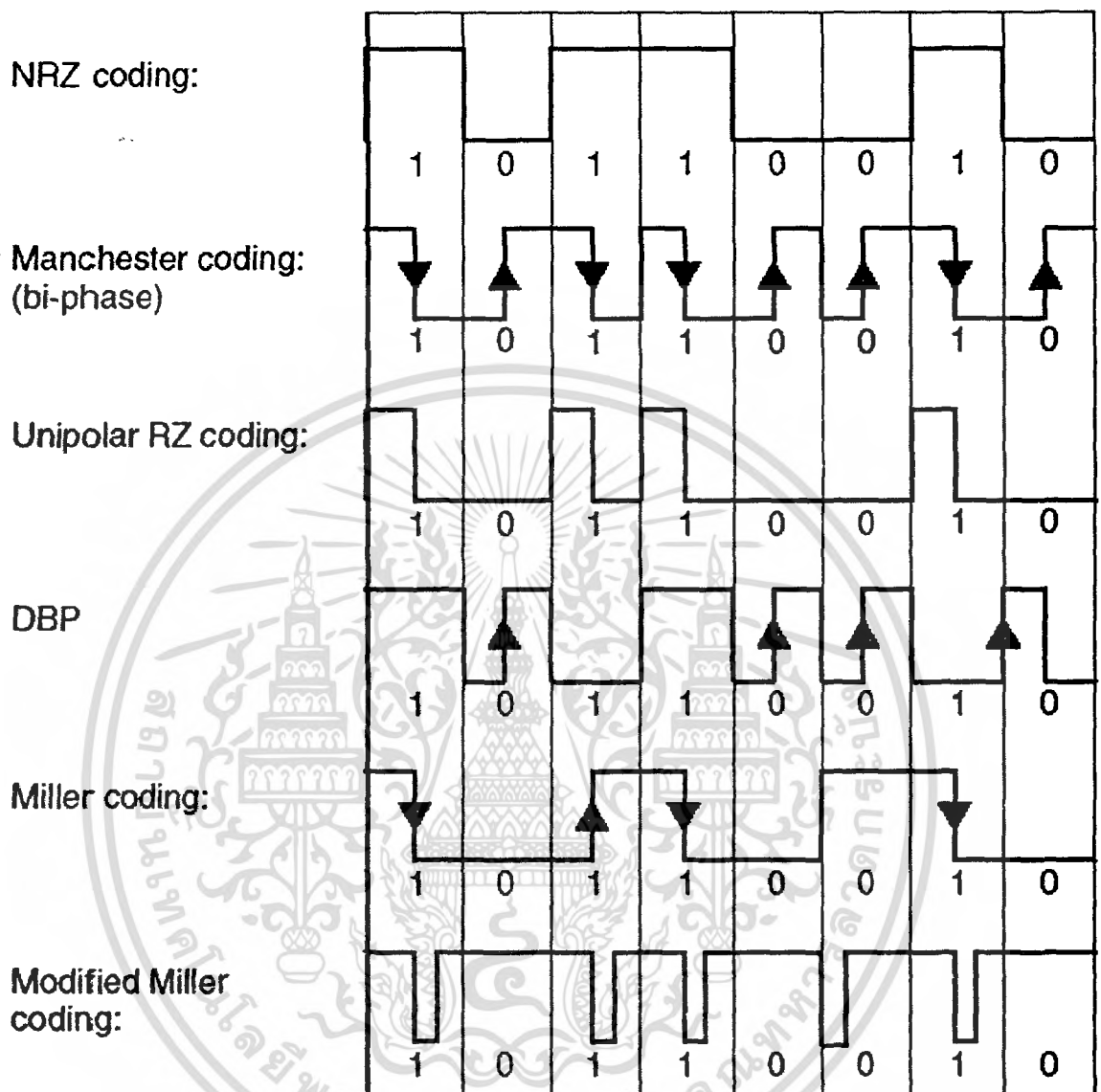
### 2.5.2 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน โดยหลักใหญ่อาจสามารถแบ่งตามหลักการทำงานได้เป็น ทรานสปอนเดอร์แบบแอ็กทีฟ ซึ่งจะทำการส่งข้อมูลออกก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่านและแบบเครื่องบอกตำแหน่ง หรือ เบคอน (beacon) ซึ่งสัญญาณจะถูกปล่อยออกมาเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลาการใช้งานของแท็กหรือ ทรานสปอนเดอร์แบบแอ็กทีฟนั้น อาจพบได้ในระบบ เช่น ระบบจ่ายเงินในทางด่วน หรือด่านตรวจ ขณะที่เบคอนอาจพบได้ในระบบที่ต้องการการบ่งชี้พิกัดแบบเวลาจริง (Real-time locating system, RTLS) เช่น การจัดการการขนส่งสินค้า เป็นต้น

โดยแท็กแบบนี้สามารถมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 100 เมตร ข้อเสียของแท็กแบบนี้คือ มีราคาต่อหน่วยสูง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีอายุการใช้งานที่จำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีอายุการใช้งานประมาณ 3-7 ปี

### 2.5.3 วิธีการและเทคนิคเบื้องต้นในการรับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน

กระบวนการส่งสัญญาณระหว่างอาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านโดยทั่วไป เป็นไปตามกระบวนการทางด้านการสื่อสารระบบดิจิทัล นั่นคือ การเตรียมข้อมูลดิจิทัลที่จะส่งผ่าน โดยการทำการเข้ารหัสให้อยู่ในเหมาะสมสำหรับการส่งผ่านช่องสัญญาณ (Channel) คำว่าเหมาะสม หมายถึงว่าสัญญาณมีโอกาสจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (noise) โดยมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งวิธีการเข้ารหัสนั้นมีได้หลายแบบโดยการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณที่จะส่งผ่าน ตัวอย่างเทคนิคการเข้ารหัส เช่น การเข้ารหัสสัญญาณแบบ NRZ การเข้ารหัสแบบ Manchester การเข้ารหัสแบบ Miller การเข้ารหัสแบบ Differential เป็นต้น



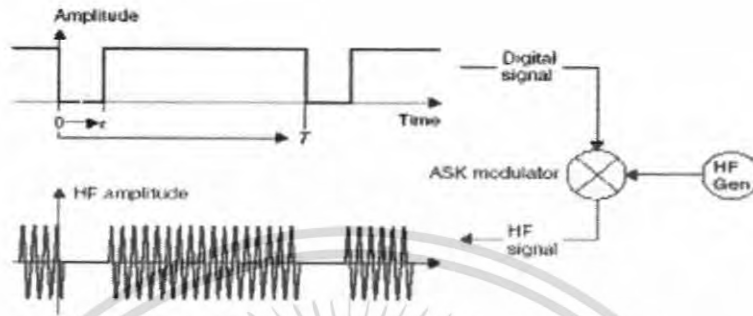
รูปที่ 2.11 การเข้ารหัสแบบต่าง ๆ

ซึ่งหลังจากการเข้ารหัสสัญญาณแล้ว สัญญาณจะถูกทำการกล้ำสัญญาณ (Modulation) กับคลื่นพาหะย่านที่สูงกว่าเพื่อทำการส่งรับข้อมูลในย่านนั้น ๆ การกล้ำสัญญาณ หมายถึงการปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของคลื่นพาหะซึ่งเป็นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แอมพลิจูด เฟส หรือความถี่ ตามค่าของข้อมูลที่จะส่ง ตัวอย่างเช่น ในการกล้ำสัญญาณแบบ ASK (amplitude shift keying) ค่าแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะถูกเปลี่ยนอยู่ระหว่างค่าสองค่าขึ้นกับค่าไบนารีของสัญญาณที่ถูกเข้ารหัส ดังเช่นในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASK: Amplitude shift keying

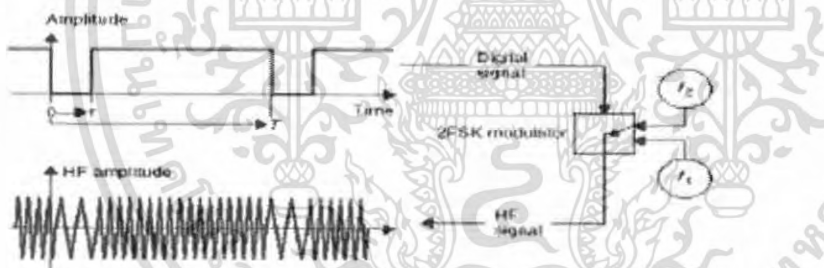
Short/Middle wave



รูปที่ 2.12 การทำ modulation แบบ ASK

FSK: Frequency shift keying

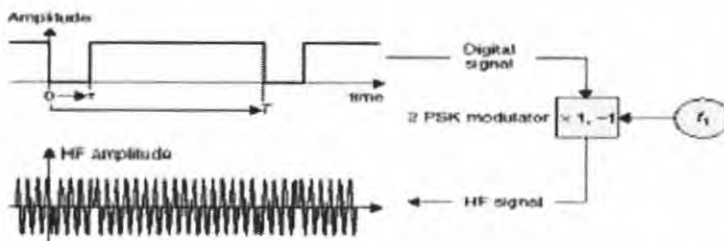
Middle wave



รูปที่ 2.13 การทำ modulation แบบ FSK

PSK: Phase shift keying

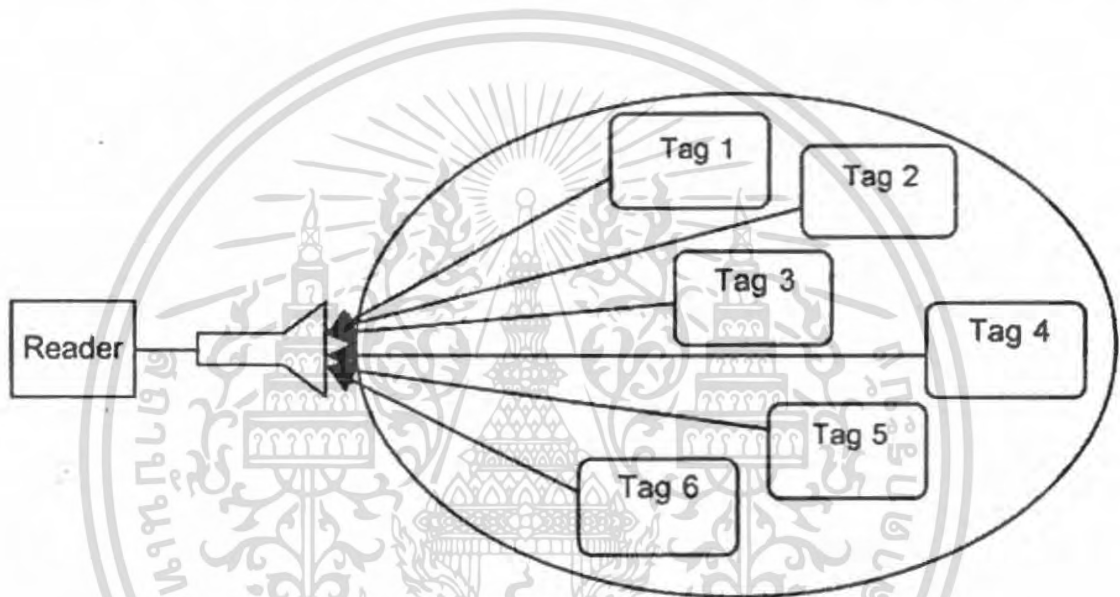
Middle wave



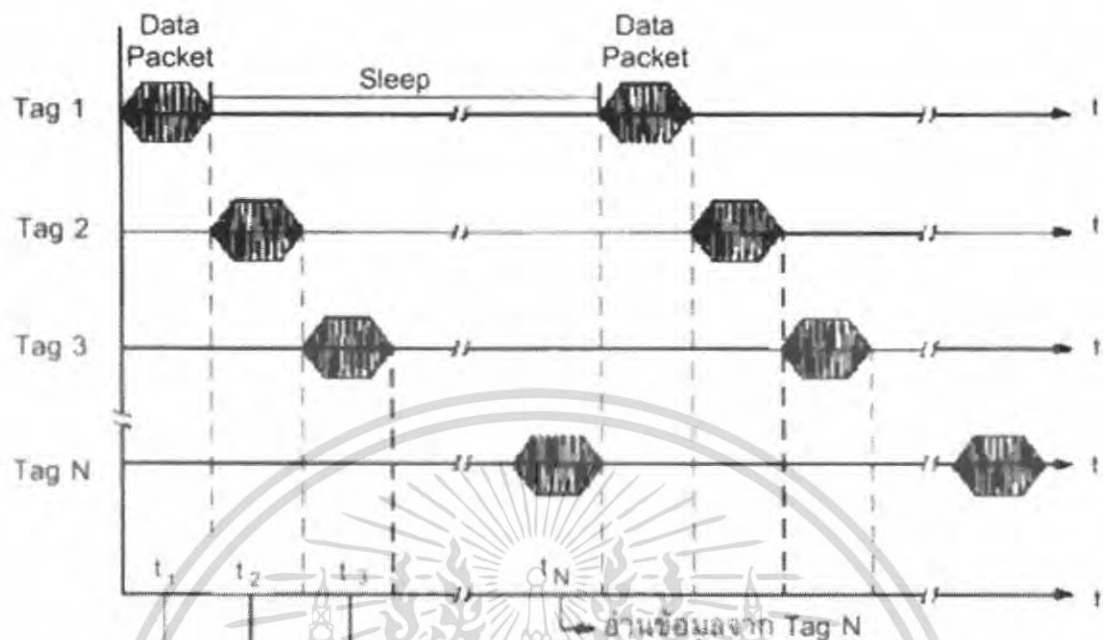
รูปที่ 2.14 การทำ Modulation แบบ PSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ข้อดีอีกส่วนหนึ่งของระบบอาร์เอฟไอดี คือการอ่านข้อมูลจากแท็กได้หลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระบบป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-collision) ซึ่งจะทำให้การอ่านข้อมูลของแท็กจำนวนมากทำได้อย่างรวดเร็วพร้อม ๆ กัน ตัวอย่างการทำการป้องกันการชนกัน เช่นการใช้เทคนิค TDMA (Time Division Multiple Access) ซึ่งจะเป็นการจัดลำดับการอ่านค่าจากแท็กในเวลาที่แตกต่างกัน ไปทำให้สามารถอ่านได้ครบทุกแท็กเป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้น อาร์เอฟไอดี ยังมีกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ เช่น การทำผลรวมตรวจสอบ (Checksum)



รูปที่ 2.15 เครื่องอ่านทำงานร่วมกับแท็กหลาย ๆ อันพร้อม ๆ กัน



รูปที่ 2.16 อัลกอริทึมในการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) ในแท็ก

## 2.6 สรุปหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
2. เมื่อมีแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟสขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต
4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 เปรียบเทียบข้อดีของอาร์เอฟไอดีกับรหัสแท่ง(barcode)

- อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้โดยอัตโนมัติ การใช้งานรหัสแท่งผู้ใช้จะต้องนำเครื่องสแกนไปอ่านที่แถบรหัส ขณะที่อาร์เอฟไอดีสามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ เมื่อแท็กอยู่ในรัศมีของการอ่าน จึงเหมาะกับงานที่ต้องการการทำงานแบบอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องมีผู้ปฏิบัติงาน เช่น ในระบบลำเลียงในโรงงาน เมื่อลำเลียงผ่านขบวนการใด ก็สามารถตรวจสอบและบันทึกได้ เพียงเคลื่อนสินค้าผ่านเครื่องอ่าน เครื่องอ่านก็จะทำงานโดยอัตโนมัติ

- อาร์เอฟไอดีสามารถทำได้ทั้งอ่านและเขียน ในขณะที่รหัสแท่งสามารถอ่านรหัสประจำตัวได้อย่างเดียว ระบบอาร์เอฟไอดีนอกจากอ่านรหัสประจำตัวมาทำการประมวลผลแล้วยังสามารถบันทึกข้อมูลอะไรบางอย่างกลับไปที่แท็กได้ ยกตัวอย่างการตรวจสอบสต็อกสินค้า เมื่อทำการอ่านข้อมูลแล้วก็จะทำการบันทึกกลับไปยังที่แท็กว่าได้รับการตรวจแล้ว เพื่อลดข้อผิดพลาดกรณีหยิบสินค้านั้นมาอ่านรหัสประจำตัวซ้ำอีกครั้ง จะทำให้ระบบตรวจสอบสินค้าผิดพลาดได้ ซึ่งระบบรหัสแท่งไม่สามารถทำได้

- อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้จากระยะไกล ในขณะที่รหัสแท่งต้องอยู่ในระยะใกล้และตำแหน่งที่แสงสามารถสแกนถึง อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้อย่างสะดวก แม้ว่าอยู่ในพื้นที่ ๆ ไม่สะดวกหรือในพื้นที่อันตรายต่อการปฏิบัติงาน เช่น ห้องฟอสซิล หรือพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง



รูปที่ 2.17 การตรวจสอบสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งอ่านได้ระยะใกล้ไม่สะดวก

(ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีอ่านได้ระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาร์เอฟไอดี สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อม ๆ กัน ในขณะที่ระบบแท่งจะต้องทำการสแกน แถบรหัสทีละแถบ ในขณะที่อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้พร้อมกันหลาย ๆ แท็ก เพียงแค่คำสั่งของ ที่ติดแท็กมาวางไว้ในพื้นที่รัศมีของเครื่องอ่านก็สามารถอ่านได้พร้อมกันอย่างรวดเร็ว สามารถลด เวลาการทำงานและลดข้อผิดพลาดในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ



รูปที่ 2.18 การอ่านลากสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งอ่านได้ที่ละชั้น  
(ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีอ่านได้ที่หลายชั้น

- อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้แม้ไม่เห็นตัวแท็กที่ติดอยู่ ทำให้สะดวกในการไม่ต้องเคลื่อนย้าย สิ่งของ เช่น การตรวจสอบสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ระบบอาร์เอฟไอดี สามารถทราบ รายละเอียดสินค้าในตู้สินค้า โดยไม่ต้องเปิดตู้เพิ่มระบบความปลอดภัยได้



รูปที่ 2.19 การตรวจสอบสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งเวลาอ่านต้องเห็นรหัสแท่งอย่างชัดเจนและอยู่ใน ระยะเวลาเดียวกับเครื่องอ่าน (ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีเวลาอ่านไม่ต้องเห็นแท็ก (อ่านทะลุหีบห่อได้) และไม่ต้องอยู่ในระยะเวลาเดียวกับเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาร์เอฟไอดีมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากข้อมูลเป็นข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสลับเพื่อไม่ให้ผู้อื่นทราบข้อมูลที่ไม่ต้องการเปิดเผยได้

- อาร์เอฟไอดีสามารถบันทึกประวัติการเคลื่อนย้ายของสินค้าได้ (Dynamic data on items) เช่น บันทึกเวลาเข้าออกไว้บนสินค้าเอง หรือบันทึกเวลาต่าง ๆ ลงบนสินค้าได้โดยตรง ในขณะที่รหัสแท่งไม่สามารถทำได้ ต้องบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล ซึ่งเมื่อสินค้าไปอยู่ในพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลทำให้ไม่สามารถรู้ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้านั้น ๆ ได้

## 2.8 การประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดี

ในปัจจุบันการนำระบบอาร์เอฟไอดีมาประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้าน เช่น ระบบคลังสินค้า ด้านระบบการขนส่ง ด้านการทหาร ด้านการแพทย์และสาธารณสุข ด้านการเกษตรกรรมและปศุสัตว์ ธุรกิจการบิน ธุรกิจการเงิน การศึกษา การท่องเที่ยว การผลิตอุตสาหกรรม ตัวอย่างการใช้งานได้แก่

- ระบบห่วงโซ่อุปทาน การค้าปลีก การผลิต การกระจายสินค้า และลอจิสติกส์ ยกตัวอย่างการใช้งานในโรงงาน โดยการติดแท็กไว้กับชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานผ่านสายพานการผลิตในโรงงาน แต่ละแผนจะรู้ว่าต้องทำอะไร ประกอบชิ้นงานอะไรบ้าง และต้องส่งงานไปยังสถานีถัดไป

- การจัดการสินค้าในคลังสินค้า เช่นการรับส่งสินค้า การจัดเก็บ ยกตัวอย่างการซื้อสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต เมื่อมีการคำนวณราคารวม เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสามารถอ่านคำนวณราคารวมภายในครั้งเดียวได้ทันที โดยที่ไม่ต้องมีการสแกนรหัสแท่งที่ติดกับสินค้าที่ละชิ้นแบบเดิม ๆ และอาจจะเตือนผู้ซื้อได้หากสินค้าที่ซื้อหมดอายุ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้งานสำหรับการขนถ่ายสินค้าที่เรียกว่า การค้าแบบปลอดภัย (secure trade หรือ operation safe commerce) เพิ่มความปลอดภัยในการขนส่งสินค้า



**รูปที่ 2.20** การประยุกต์ใช้งานในคลังสินค้า

- ด้านการแพทย์และสาธารณสุข มีการใช้งานสำหรับการติดตามท่าเทียบสำหรับเครื่องมือแพทย์ที่มีราคาแพง ทำให้สามารถตรวจสอบการเก็บรักษาเครื่องมือแพทย์ได้สะดวกรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีการใช้อาร์เอฟไอดีเสริมในการผลิตสุกภัณฑ์ยาเพื่อตรวจสอบยาปลอมได้ เป็นการป้องกันความสูญเสียของผู้ผลิตจากสินค้าเลียนแบบ และป้องกันไม่ให้ผู้ป่วยได้รับยาที่ไม่มีคุณภาพหรือยาปลอมได้



**รูปที่ 2.21** การประยุกต์ใช้งานในโรงพยาบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้านการเกษตรกรรมและปศุสัตว์ ระบบติดตามสัตว์ (Animal Tracking) มาใช้เหมาะกับเกษตรกรไทย ในการพัฒนาด้านปศุสัตว์ให้เป็นระบบฟาร์มอโตเมชันด้วยชิปอาร์เอฟไอดีติดตามสัตว์เลี้ยง ทำให้สามารถตรวจสอบข้อมูลเฉพาะตัวของสัตว์แต่ละตัวได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง เช่น การตรวจสอบสายพันธุ์ การให้อาหาร ประวัติการฉีดวัคซีนและการควบคุมโรคติดต่อในสัตว์ได้ รวมถึงการใช้งานสำหรับทำการตรวจสอบย้อนกลับแหล่งที่มาของผลิตภัณฑ์อาหาร (Food Traceability) หรือสินค้าเกษตรกรรมได้



รูปที่ 2.22 การประยุกต์ใช้งานปศุสัตว์

- การควบคุมการเข้า-ออก/บัตรประจำตัว (Access Control / Personal Identification) เป็นระบบรักษาความปลอดภัยการเข้า-ออกอาคาร แทนการใช้บัตรแถบแม่เหล็ก เนื่องจากบัตรแถบแม่เหล็กเมื่อมีการใช้งานนานจะมีการชำรุดสูง แต่บัตรแบบอาร์เอฟไอดี (Proximity Card) ใช้เพียงแตะหรือแสดงผ่านหน้าเครื่องอ่านเท่านั้น รวมทั้งยังสามารถใช้ตรวจสอบเวลาเข้า-ออกงานของพนักงานด้วย



รูปที่ 2.23 การประยุกต์ใช้งานระบบรักษาความปลอดภัยในการเข้า-ออกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์ (e-ticket) เช่น บัตรทางด่วน บัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน
- ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-passport) เพื่อป้องกันผู้ก่อการร้ายหรือใช้งานสำหรับด้าน e-citizen ด้วย
- ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Immobilizer) ในรถยนต์ ป้องกันการใช้กุญแจผิดในการขโมยรถยนต์ (Smart Key entry) พวกไม่ใช้กุญแจ (Keyless) ในรถยนต์ราคาแพงบางรุ่นก็เริ่มนำมาใช้งานแล้ว
- ระบบห้องสมุด ในการยืมหรือคืนหนังสืออัตโนมัติ ทำให้ผู้ใช้บริการได้รวดเร็วและสะดวกสบายยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.24 การประยุกต์ใช้ในระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.25 การประยุกต์ใช้ในระบบห้องสมุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 บทนำ

ในการแพร่กระจายของคลื่นนั้น การส่งสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะของช่องสัญญาณ ซึ่งมีทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องในการวัดและคำนวณค่าสัญญาณ โดยถ้าช่องสัญญาณมีคุณลักษณะที่ติแล้วผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่นๆ จะสามารถที่จะทำให้ลดลงได้โดยการออกแบบเครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสม โดยลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุคือการตรวจสอบถึงฟังก์ชันการกระจายตัวของพารามิเตอร์ช่องสัญญาณ โดยทั่วไปการกระจายตัวเหล่านี้มักจะได้มาจากผลการวัดหรือผลการจำลองบนพื้นฐานของความถูกต้องหรือมีลักษณะตามสภาวะแวดล้อมที่ชัดเจน

#### 3.2 ทฤษฎีของฟรีส (Friis Formula)

ในการศึกษานี้เป็นการพิจารณาค่าๆ หนึ่งของสัญญาณการส่งผ่านในอวกาศ โดยใช้หลักการของฟรีส [1] ในการประมาณหาค่าแถบสัญญาณในช่องสัญญาณแคบ ที่อยู่ในระดับสายคา ดังสมการ (3.1) ซึ่ง  $G_f$  และ  $G_r$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศตัวรับและตัวส่งตามลำดับ

$$G_{Friis} = \frac{P_r}{P_t} = G_f G_r G_l \quad (3.1)$$

เมื่อ

$G_{Friis}$	แทนด้วยอัตราขยายของฟรีส
$G_f$	แทนด้วยอัตราขยายของพื้นที่ว่าง
$G_l$	แทนด้วยอัตราขยายของด้านส่ง
$G_r$	แทนด้วยอัตราขยายของด้านรับ

พิจารณาการแพร่แบบคงที่จะได้ ดังสมการ (3.2)

$$G_f = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$\lambda$	คือความยาวคลื่นมีค่า $\lambda = \frac{c}{f}$
$c$	คือ ความเร็วแสงมีค่า $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
$f$	คือความถี่ที่ใช้ทดลอง
$d$	คือระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับตัวรับ

### 3.3 ทฤษฎีการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)

คืออัตราส่วนการของกำลังงานทางด้านรับ (Power of receivers) เทียบกับกำลังงานทางด้านส่ง (Power of transmitter) หรือก็คือส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถีนั่นเอง

$$P_G(dB) = - \left[ P_L(d_0) + 10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \right] \quad (3.3)$$

เมื่อ

$d$	แทนระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและตัวรับ
$d_0$	แทนระยะทางอ้างอิง
$n$	แทนค่าสภาวะแวดล้อมรอบข้าง

### 3.4 การสูญเสียเชิงวิถิ (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถิ เป็นอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียของกำลังงานทางด้านส่ง (Power of transmitter) เทียบกับกำลังงานทางด้านรับ (Power of receiver) เพื่อแสดงว่าระบบที่ใช้งานอยู่นั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าของระดับสัญญาณเป็นอย่างไร[10]

$$P_L(dB) = P_L(d_0) + 10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (3.4)$$

เมื่อ

$d$	แทนระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและตัวรับ
$d_0$	แทนระยะทางอ้างอิง
$n$	แทนค่าสภาวะแวดล้อมรอบข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 สมการฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง

ฟังก์ชันการส่งผ่านในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง แสดงดังสมการ (3.5) ซึ่ง  $V_r$  และ  $V_t$  คือโวลต์ของทางด้านส่งและด้านรับตามลำดับ [7]

$$H_{\text{Fris}}(f) = \frac{V_r}{V_t} = H_r(f) H_a(f) \cdot H_t(f) \quad (3.5)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} H_a(f) &= H_a(\theta_a, \varphi_a, f) \\ &= \hat{\theta}_a H_{r\theta}(\theta_a, \varphi_a, f) + \hat{\varphi}_a H_{r\varphi}(\theta_a, \varphi_a, f) \end{aligned} \quad (3.6)$$

สำหรับฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง  $H_r(f)$  ในรูปแบบเชิงซ้อนของสมการฟรีสสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.7) ซึ่งสมการนี้ถูกทำให้มีคุณสมบัติของความถี่บวกและความถี่ลบเป็นไปตามคุณสมบัติของความเป็นสมเหตุสมผลโดยเวกเตอร์ และ กำหนดให้มีขั้ว (Polarize) และสัมพันธ์ (Relate) กันตามสมการ (3.8) และ (3.9)

$$H_r(f) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd) \quad (3.7)$$

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t \quad (3.8)$$

$$\hat{\varphi}_r = -\hat{\varphi}_t \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 กำลัการแผ่ประวิงเวลา (Power Delay Profile)

เส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างตัวส่งกับตัวรับมิได้หลายทิศทาง แลสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างตัวรับกับตัวส่ง สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางมาถึงภาครับเร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นมีการสูญเสียอันเนื่องมาจากการสะท้อนหลายทิศทางกว่าจะมาถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่นานกว่า ซึ่งความล่าช้าของสัญญาณในแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงเวลาที่ถูกลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ โดยในส่วนของกาการกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้น สามารถวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยเวลาที่เลื่อนเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay :  $\bar{\tau}$ ) และค่าการแผ่ประวิงเวลา (Root mean square delay spread, RMS delay spread :  $\sigma_{\tau}$ ) ซึ่งถูกนิยามไว้ดังสมการ (3.10) และ (3.11) ตามลำดับ

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3.10)$$

เมื่อ

 $a_k$ คือขนาดของสัญญาณเส้นทางที่  $k$  $\tau_k$ คือเวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่  $k$  $P(\tau_k)$ คือกำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่  $k$ 

และค่าการแผ่ประวิงเวลา หาได้จาก

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.11)$$

ซึ่งจะได้เป็น

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate)

สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารทำให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดลงโดยสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุเช่นเกิดกระทำของมนุษย์ หรือ โดยธรรมชาติในระบบ เราจะใช้อัตราความผิดพลาดต่อบิต เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบระบบ RFID โดยที่ค่าของอัตราความผิดพลาดต่อบิต ยิ่งมีค่ามากขึ้นเท่าใดจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นค่าอัตราความผิดพลาดเขียนเป็นสมการจำนวนของบิตที่ส่งผิดพลาดเทียบกับจำนวนที่ส่งทั้งหมดได้ดังนี้

$$BER = Q \left[ \sqrt{\frac{(E_b/N_o) f_b C_c}{b_r}} \right] \quad (3.13)$$

เมื่อ

$E_b/N_o$

คือกำลังงานต่อบิตต่อพลังงานความหนาแน่นของสเปกตรัม

$C_c$

คือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$f_b$

คือความกว้างของแถบความถี่

$b_r$

คืออัตราการส่งผ่าน (บิตต่อวินาที)

$Q$

คือ Error function หาได้จากสมการ (3.15)

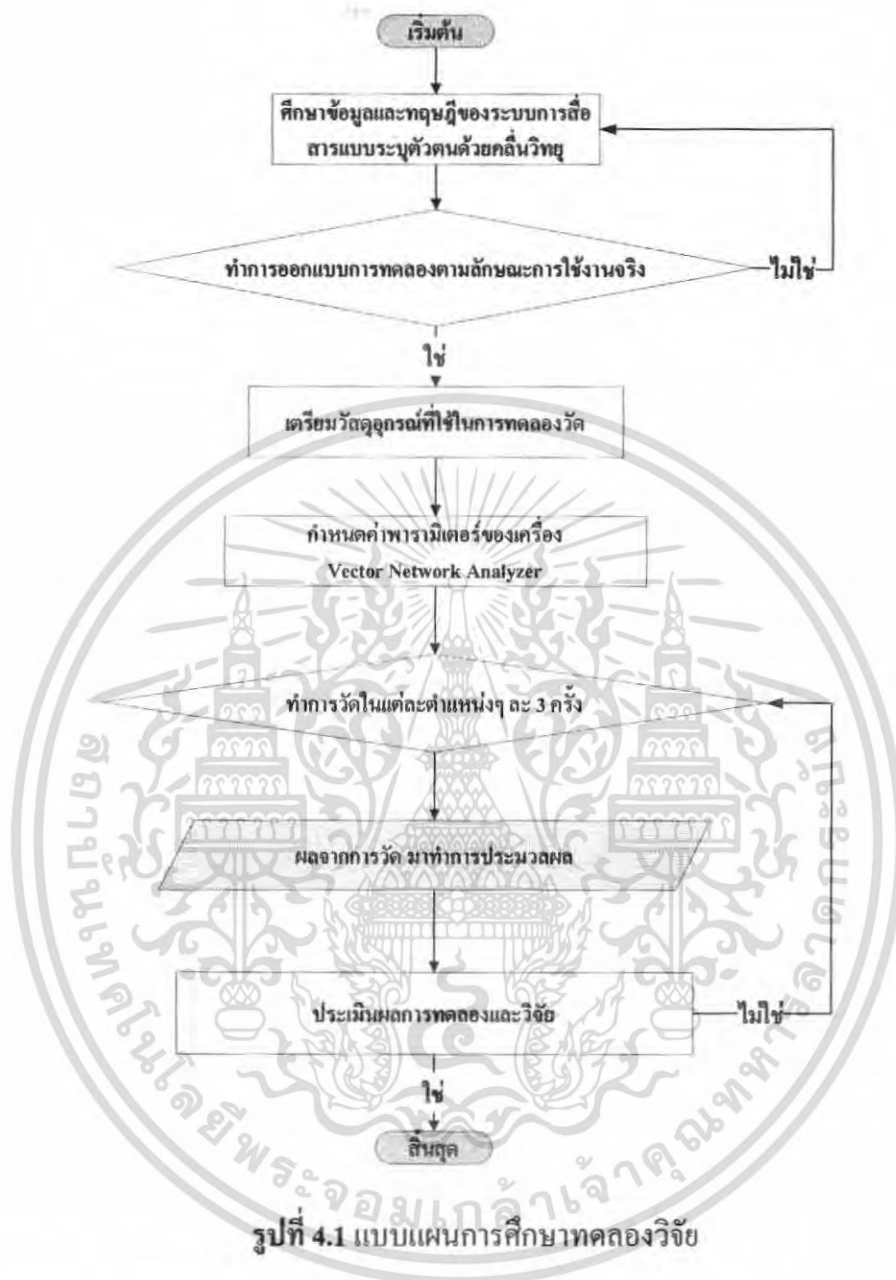
$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt, x \geq 0 \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบและขั้นตอนการวัดผล

ในการทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุภายในอาคารมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดแบบแผนการวัด โดยจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ สถานที่ที่ทำการวัด ลักษณะและการติดตั้งสายอากาศ สภาพแวดล้อมรอบข้าง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้เครื่องมือวัด เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อพิจารณาหาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ หากการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ โดยจะแสดงออกในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาประกอบกับการตัดสินใจในการออกแบบระบบสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์หรือแบบจำลองที่มีลักษณะคล้ายกันต่อไปได้

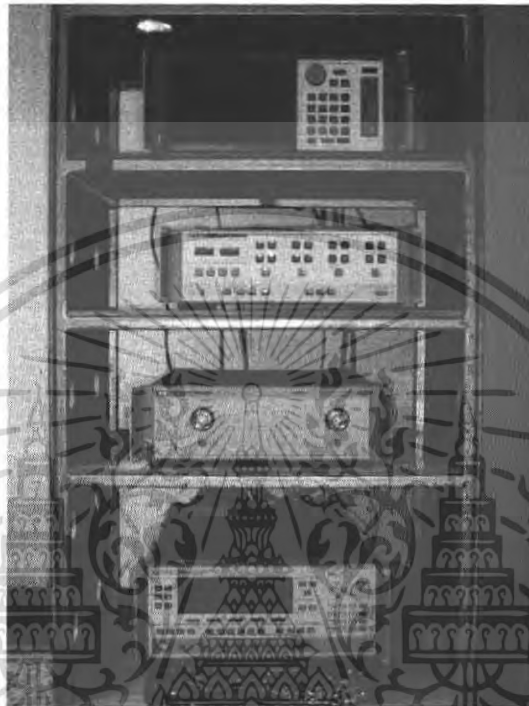


## 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 4.1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzers)

ในการทดลองเราจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (VNA) ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งสามารถแยกข้อมูลได้อย่างรอบคอบหลายๆ องค์ประกอบหาค่า  $S_{21}$  ที่ความถี่หลัก โดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ จะรับสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณมาเข้าที่พอร์ต 1 และจะส่งสัญญาณผ่านพอร์ต 2 ไปยังตัวรับ สัญญาณที่ส่งจะเป็นชุดของสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่แคบกระจายตัวครอบคลุมตลอดทั้งแถบความถี่ที่ต้องการซึ่งสายอากาศตัวส่งและเอกซานนี้เป็นเอกซานที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรับจะอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง 3 เมตร และสายอากาศตัวรับติดอยู่กับตัวบุคคลที่ตำแหน่งต่าง ๆ รวมทั้งหมด 19 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

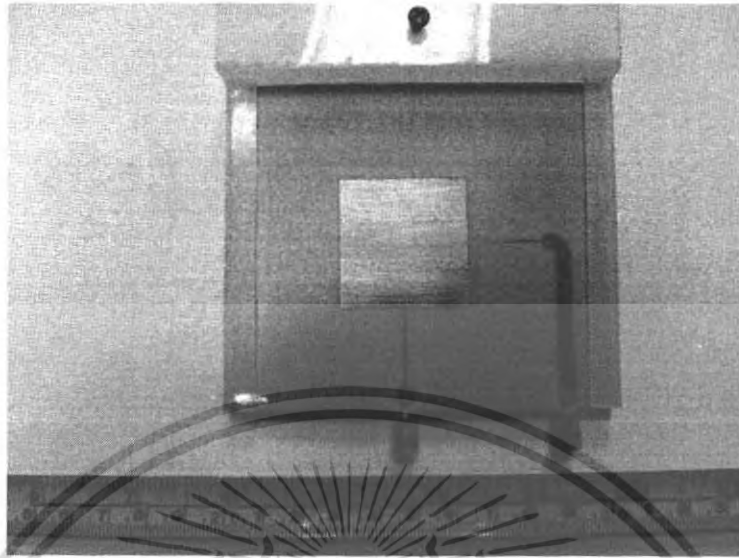
#### 4.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

##### 4.2.1 สายอากาศที่ใช้กับแบบจำลองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

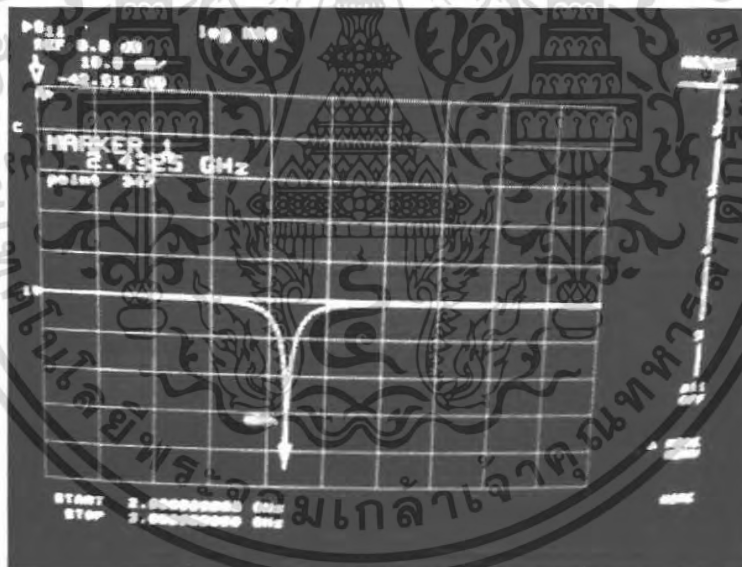
##### 4.2.1.1 สายอากาศไมโครสตริปที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

เราใช้สายอากาศไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ที่มีขนาดกว้าง 9 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตร ซึ่งพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นตัวส่งและรับสัญญาณ ดังรูปที่ 4.3 สำหรับแบบจำลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยกำหนดให้สายอากาศตัวส่งอยู่หนึ่ง แต่ให้สายอากาศตัวรับติดกับตัวบุคคลและเปลี่ยนตำแหน่ง ทั้งหมด 19 ตำแหน่งทั่วตัวบุคคล สำหรับคุณลักษณะของสายอากาศ  $S_{11}$  แสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 4.4 คุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

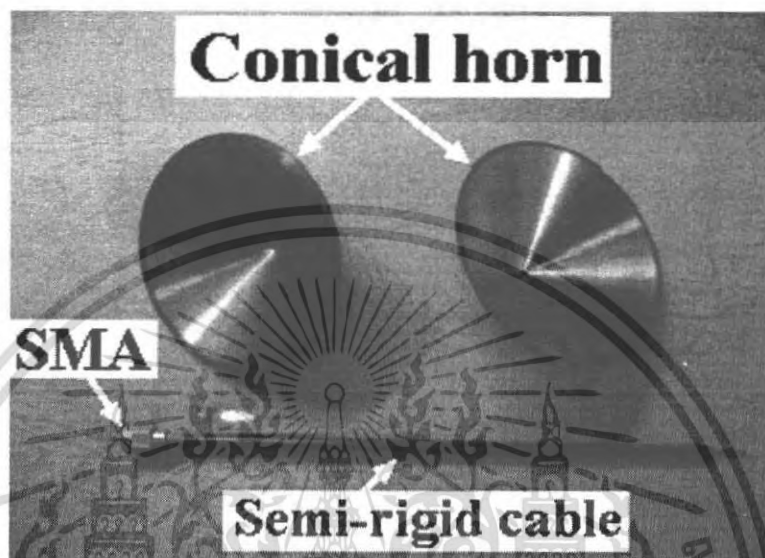
#### 4.2.2 สายอากาศที่ใช้กับแบบจำลองที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

##### 4.2.2.1 สายอากาศแบบกรวยคู่

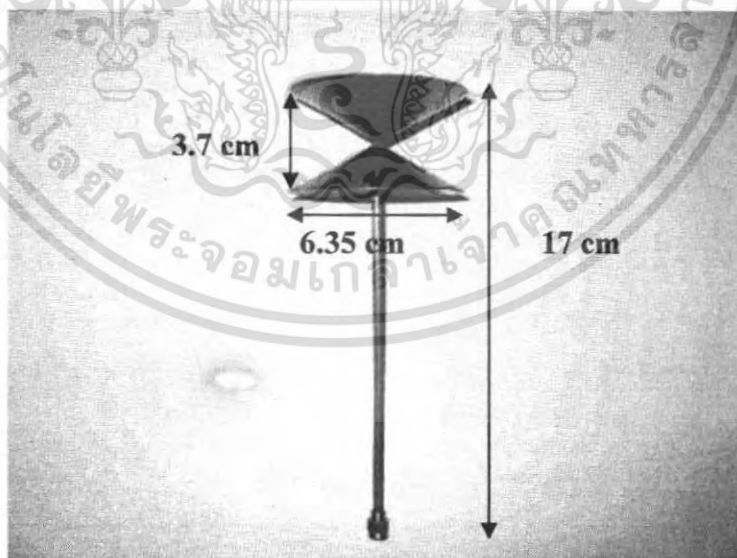
สายอากาศแบบกรวยคู่ (biconical antenna) เป็นสายอากาศที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวส่งสัญญาณในการทดลองที่ย่านความถี่ที่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยสายอากาศแบบกรวยคู่มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในมุมกวาด (azimuth) มีอัตราขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(gain) อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 15.0 dBi รูปที่ 4.5 และ 4.6 จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้



รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.6 สายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.2 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง

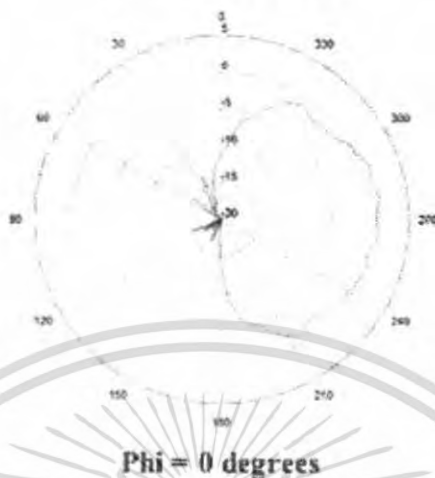
สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง (Meander line antenna ; MLA) ถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณในแบบจำลองที่ความถี่ที่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นสายอากาศที่ออกแบบโดยบริษัทสกายครอส (Skycross company) ประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อนำมาใช้ในงานย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ด้วยคุณสมบัติของสายอากาศที่มีขนาดเล็กและเฟสมีความเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงความถี่ เป็นสายอากาศที่สามารถตอบสนองความถี่ได้กว้างคือตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10 กิกะเฮิรตซ์ (Wide bandwidth antenna) และมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวตามแนวตั้ง (vertical) ของสายอากาศ โดยรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 แสดงรูปของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง



รูปที่ 4.7 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

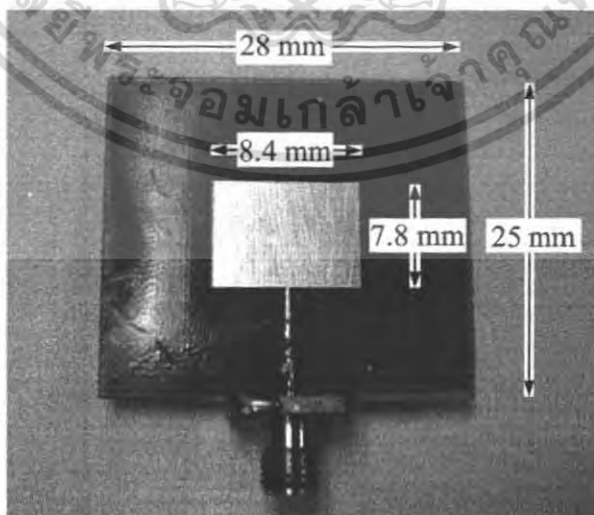
Gain Pattern at 5.8



รูปที่ 4.8 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง [3]

#### 4.2.2.3 สายอากาศแบบไมโครสตริป

ในการทดลอง เราใช้สายอากาศสายอากาศแบบไมโครสตริปในย่านความถี่ที่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ที่มีขนาดกว้าง 2.8 เซนติเมตร และยาว 2.5 เซนติเมตร ซึ่งพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นตัวรับสัญญาณ ดังรูปที่ 4.9 สำหรับคุณลักษณะของสายอากาศ  $S_{11}$  แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 สายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

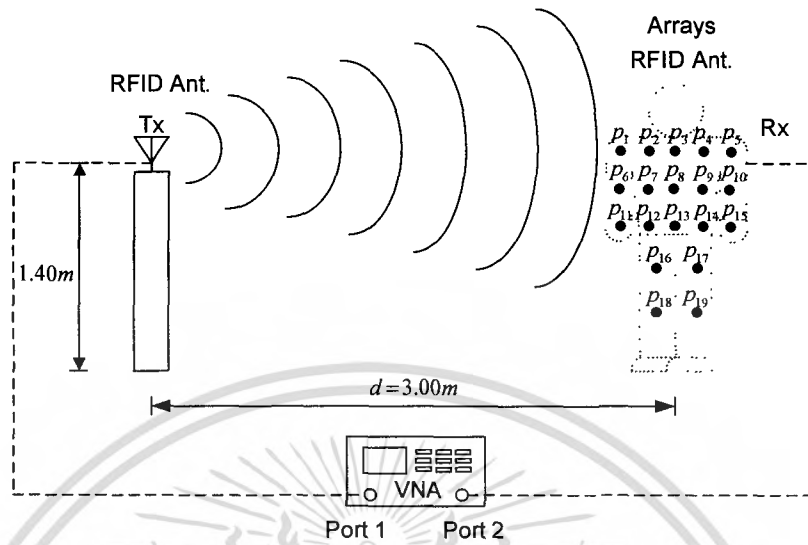


รูปที่ 4.10 คุณลักษณะของสายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

#### 4.3 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

แบบจำลองนี้เป็นการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นแบบ RFID ที่ประกอบเข้าด้วยตัวบุคคล ทำการวัดในแถบความถี่ 2 GHz ถึง 3 GHz ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์เป็นทั้งตัวรับสัญญาณ และตัวส่งสัญญาณ โดยมีความสูงของสายอากาศตัวส่ง ที่ 1.40 เมตร ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับจุดที่ตัวบุคคลยืนอยู่คือ 3.00 เมตร และสายอากาศตัวรับติดอยู่กับตัวบุคคลที่ตำแหน่งต่างๆรวมทั้งหมด 19 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การจัดวางอุปกรณ์ในห้องทดลองสำหรับแบบจำลองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

#### 4.3.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง

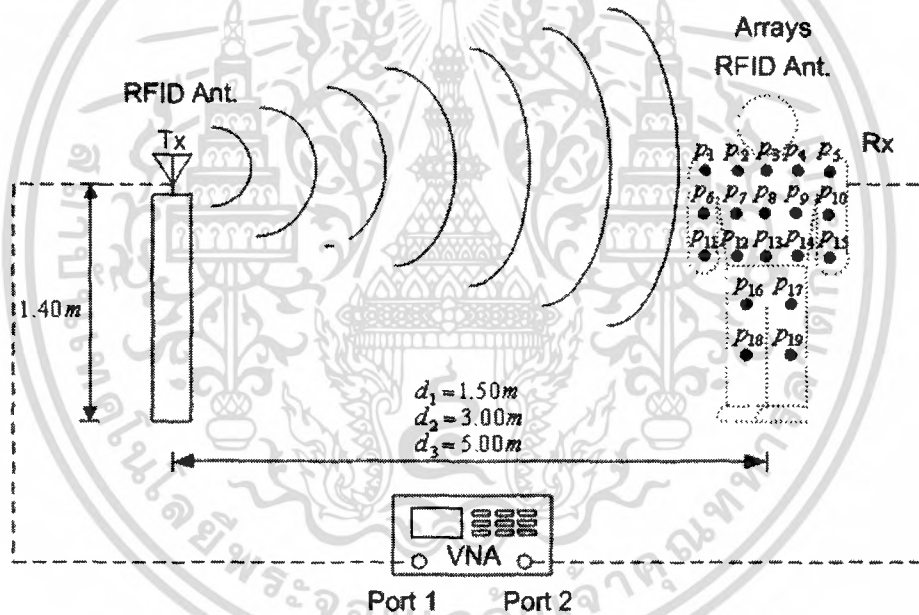
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
ย่านความถี่	2 GHz – 3GHz
จำนวนจุดในการวัด	801
กำลังส่งของเครื่อง	80 dB
ความสูงของสายอากาศตัวส่ง	1.40 m
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	$p_1 - p_{19}$
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่ง	~3.00 m

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์

แบบจำลองนี้เป็นการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นแบบ RFID ที่ประกอบเข้าด้วยตัวบุคคล ทำการวัดในแถบความถี่ 5.3 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 6.3 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยมีความสูงของสายอากาศตัวส่ง ที่ 1.40 เมตร และระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับจุดที่ตัวบุคคลยืนอยู่ คือ 1.50 เมตร 3.00 เมตร และ 5.00 เมตร ดังรูปที่ 4.12 โดยในแต่ละระยะเรากำหนดให้สายอากาศตัวส่งอยู่หนึ่งแต่ให้สายอากาศตัวรับติดกับตัวบุคคลและเปลี่ยนตำแหน่ง ทั้งหมด 19 ตำแหน่งทั่วตัวบุคคล สำหรับสายอากาศตัวส่งสัญญาณเราใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ และด้านตัวรับสัญญาณใช้สายอากาศสองแบบ คือสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางและสายอากาศแบบไมโครสตริป



รูปที่ 4.12 การจัดวางอุปกรณ์ในห้องทดลองสำหรับแบบจำลองที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
ย่านความถี่	5.3 – 6.3GHz
จำนวนจุดในการวัด	801
กำลังส่งของเครื่อง	80 dB
ความสูงของสายอากาศตัวส่ง	1.40 m
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	$p1 - p19$
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่ง	1.50 m 3.00 m 5.00 m

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลองที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

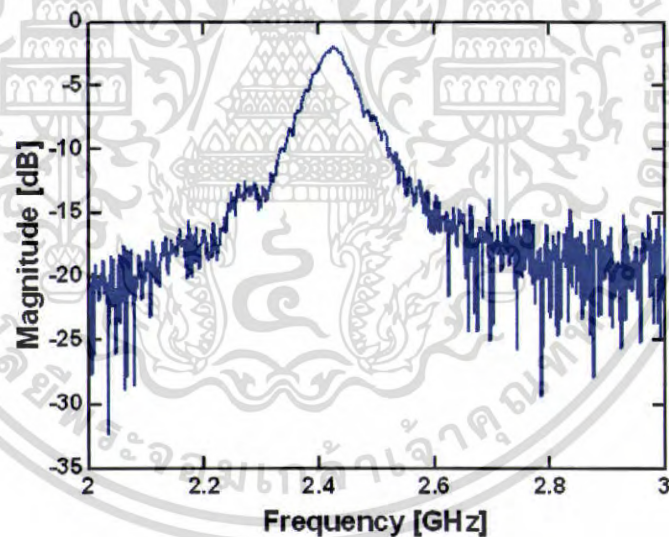
## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 บทนำ

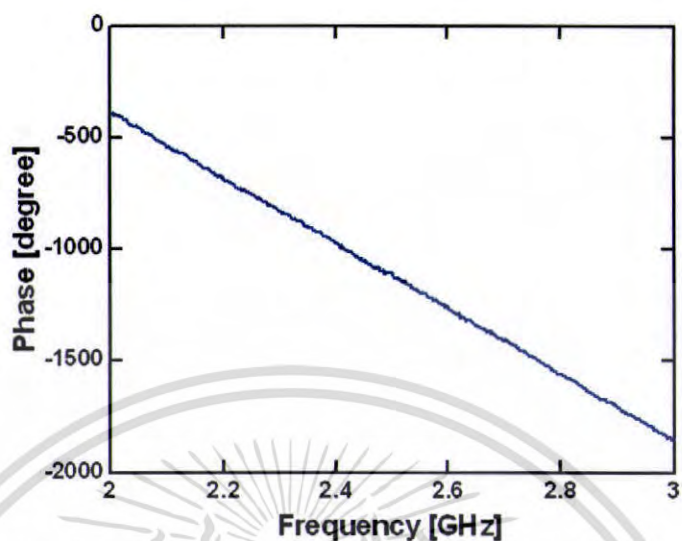
ในบทนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลอง [5] ซึ่งได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB และแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ โดยได้เปรียบเทียบจากระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณทั้งหมด 3 ระยะ เปรียบเทียบระหว่างชนิดของสายอากาศ และเปรียบเทียบผลกระทบที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ได้แสดงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน กำลังการแผ่ประวิงเวลา การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ อัตราการขยายเชิงวิถีของสัญญาณ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยได้แสดงดังต่อไปนี้

#### 5.2 ผลการทดลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์



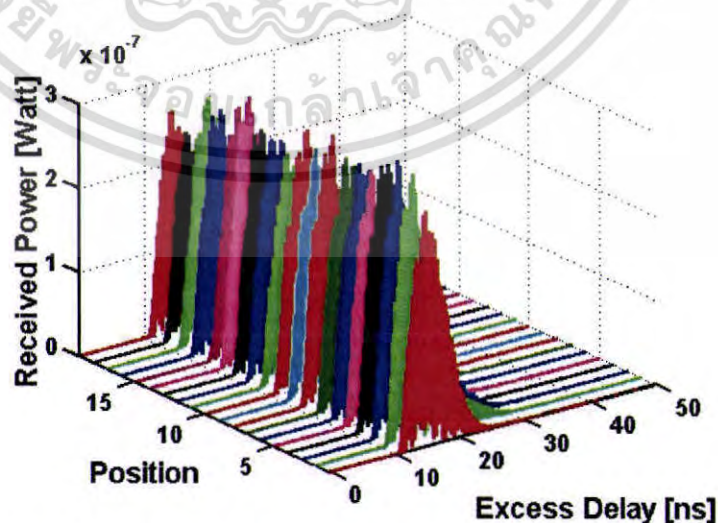
รูปที่ 5.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



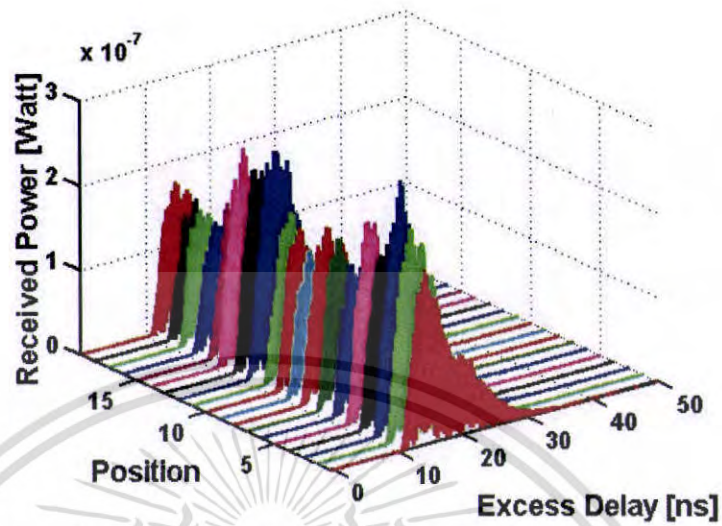
รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน

จากรูปที่ 5.1 แสดงขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีขนาดกำลังสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ตรงตามคุณสมบัติสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ทดลอง ส่วนเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านแสดงดังรูปที่ 5.2 โดยจะเห็นได้ว่าเฟสเส้นมีลักษณะตรงในช่วงความถี่ที่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ซึ่งใช้ในการทดลองแสดงว่า การทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง



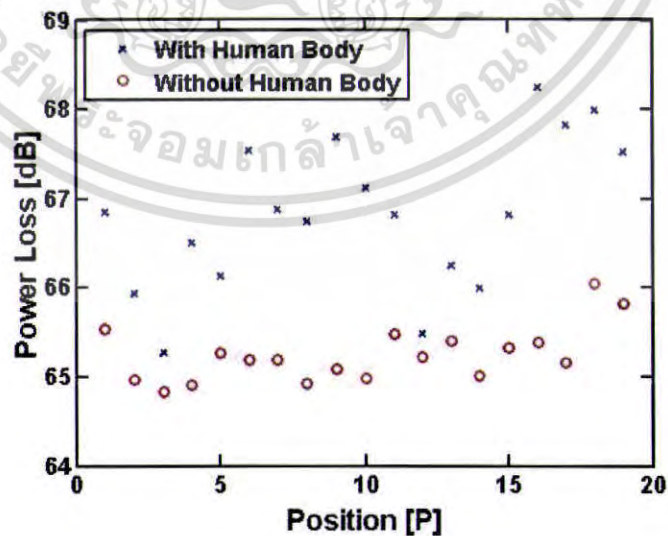
รูปที่ 5.3 การแผ่ประวิงเวลาเมื่อไม่มีตัวบुकคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



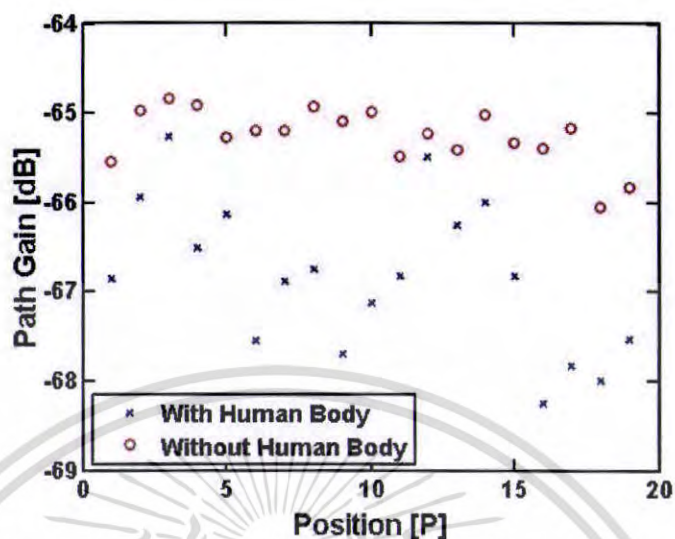
รูปที่ 5.4 การแผ่ประวิงเวลาเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

สำหรับกำลังค่าการแผ่ประวิงเวลากรณีสายอากาศตัวรับมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง แสดงดังรูปที่ 5.4 ผลการทดลองจะสอดคล้องกับอัตราขยายเชิงวิถี คือจุด ณ ตำแหน่งบริเวณส่วนกลางของลำตัวจะเป็นบริเวณที่รับสัญญาณได้ดีกว่าบริเวณอื่นๆ ที่ทำการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่ากรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกำลังด้านรับจะสูงกว่าในทุกตำแหน่ง



รูปที่ 5.5 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 อัตราการขยายเชิงวิถีของสัญญาณ

จากรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับที่จุด  $p_3$ ,  $p_8$  และ  $p_{12}$  จะเป็นจุดที่รับสัญญาณได้ดีที่สุดเพราะเป็นตำแหน่งที่มีค่าการสูญเสียและค่าของอัตราการขยายต่างกันน้อยที่สุดในแต่ละแถวบนระนาบเดียวกันตามแบบจำลอง

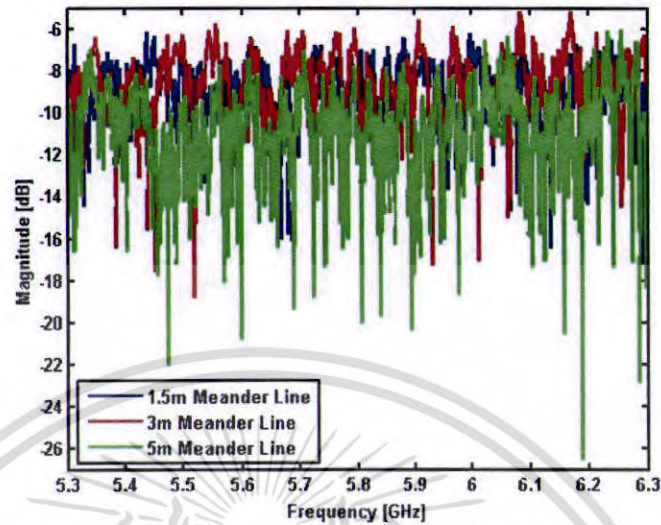
ส่วนตำแหน่งที่อยู่บริเวณขาเกิดการสูญเสียมากเนื่องจากระยะทางมีผลต่อการรับสัญญาณ และเมื่อเราพิจารณาทุกตำแหน่งโดยรวมจะเห็นว่าอัตราการขยายเชิงวิถีในกรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีตัวบุคคลมาเกี่ยวข้อง

### 5.3 ผลการทดลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์

#### 5.3.1 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางเป็นตัวรับสัญญาณ

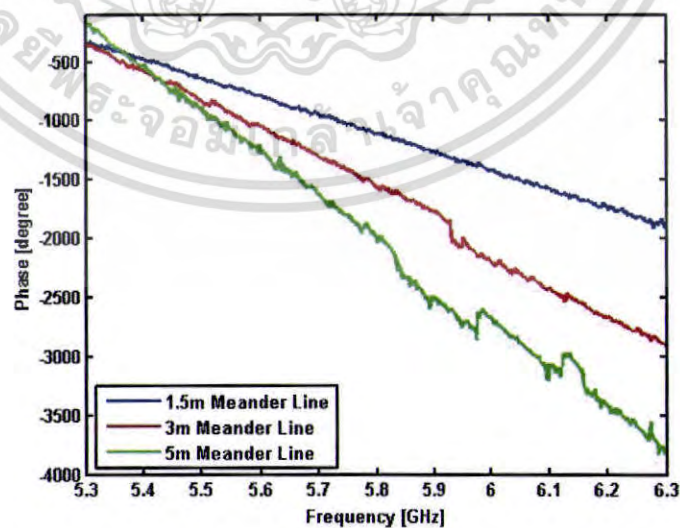
##### 5.3.1.1 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน

ผลจากการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน แสดงดังรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีขนาดสัญญาณสูงต่อเนื่องในช่วงความถี่ที่เราพิจารณาคือ 5.3 - 6.3 กิกะเฮิร์ตซ์ ในทั้งสามระยะที่ทำการศึกษา ตรงตามคุณสมบัติสายอากาศที่ใช้ในการทดลองซึ่งพิจารณาที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.7 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน

ส่วนเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านจะเห็นได้ว่าเฟสเป็นเส้นตรงบริเวณช่วง 5.3-6.3 กิกะเฮิร์ตซ์ ในระยะที่ 1.5 เมตร ส่วนระยะที่ 3 เมตร และ 5 เมตร เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณนิดหน่อย ซึ่งอาจเกิดจากระยะทางที่เพิ่มขึ้น สังเกตได้ว่าขนาดกับเฟสบริเวณดังกล่าวจะสอดคล้องกับคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด ซึ่งถูกออกแบบมาให้ใช้ได้ครอบคลุมสัญญาณแถบกว้างที่ความถี่ 3.1-10 กิกะเฮิร์ตซ์

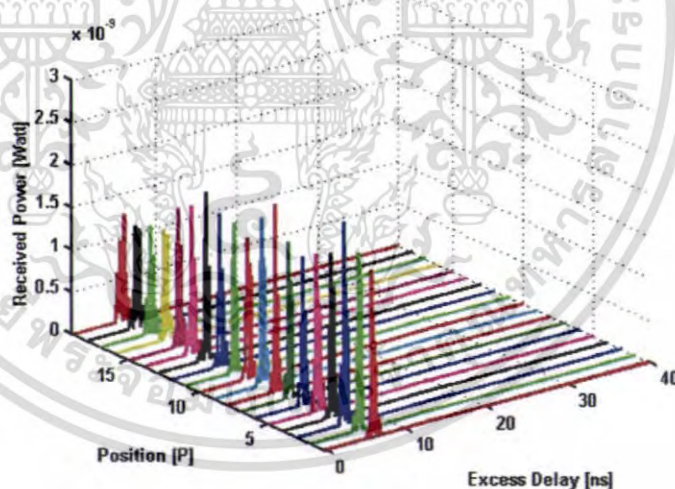


รูปที่ 5.8 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

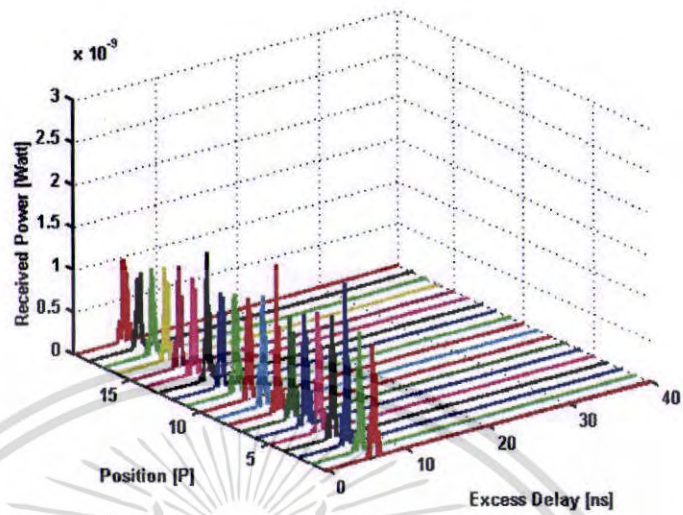
### 5.3.1.2 การหาค่ากำลังการแผ่ประวิงเวลา

สำหรับกำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร 3 เมตร และ 5 เมตร แสดงดังรูปที่ 5.9 รูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.13 ตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร 3 เมตร และ 5 เมตร แสดงดังรูปที่ 5.10 รูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.14 ตามลำดับจะเห็นได้ว่ากรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับกำลังทางภาครับจะต่ำกว่าเมื่อกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง แสดงว่าร่างกายมนุษย์ส่งผลต่อการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ทำให้กำลังทางภาครับลดลงทุกตำแหน่งและเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแต่ละระยะ จะพบว่าระยะที่กำลังการแผ่ประวิงเวลาสูงที่สุดคือที่ระยะ 1.5 เมตรและค่าจะลดลงเมื่อระยะเพิ่มขึ้นแสดงว่าระยะทางมีผลต่อการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

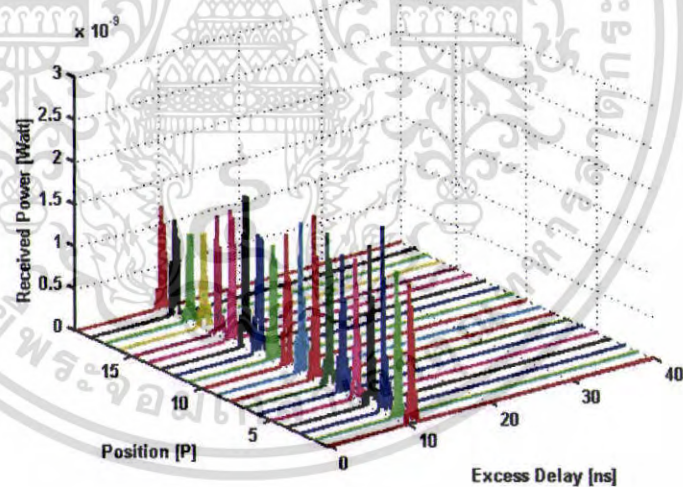


รูป 5.9 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

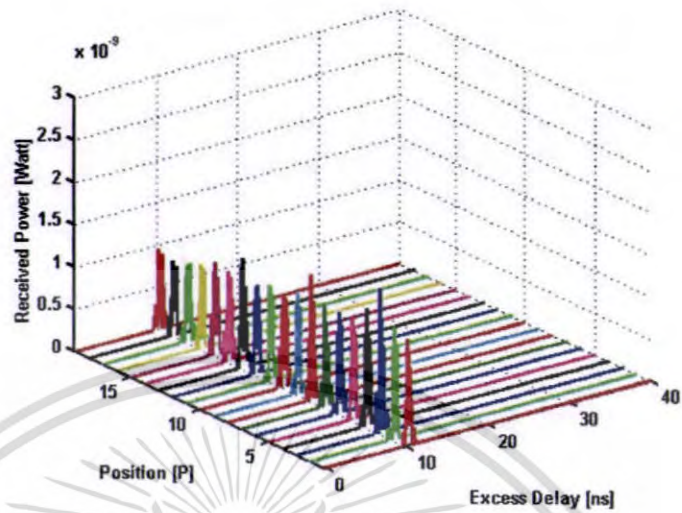


รูป 5.10 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร

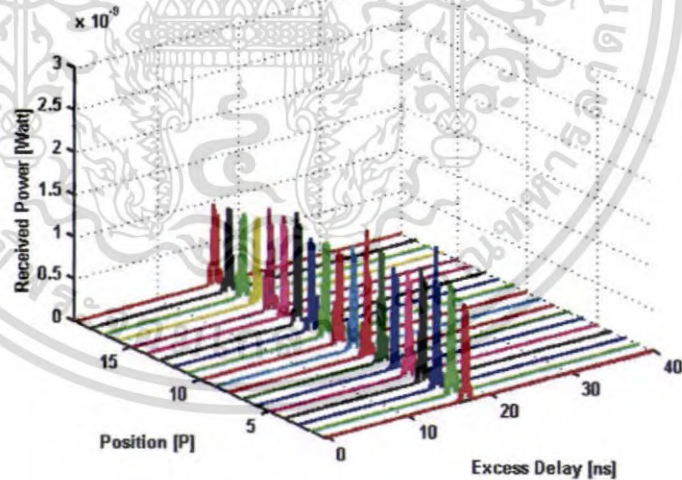


รูป 5.11 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

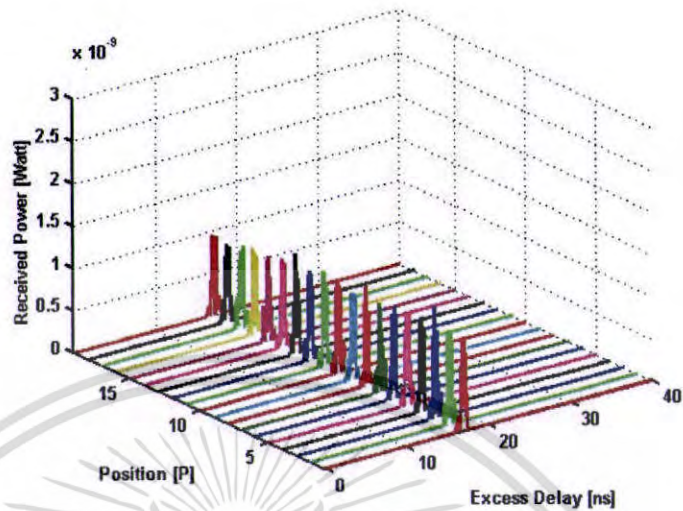


รูป 5.12 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร



รูป 5.13 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร

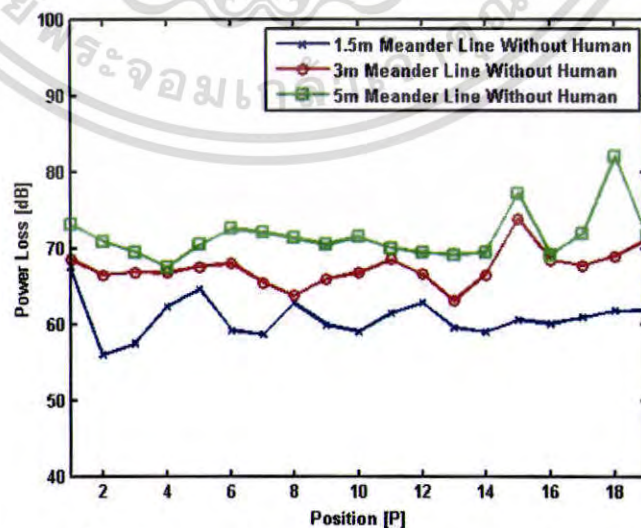
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.14 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 5 เมตร

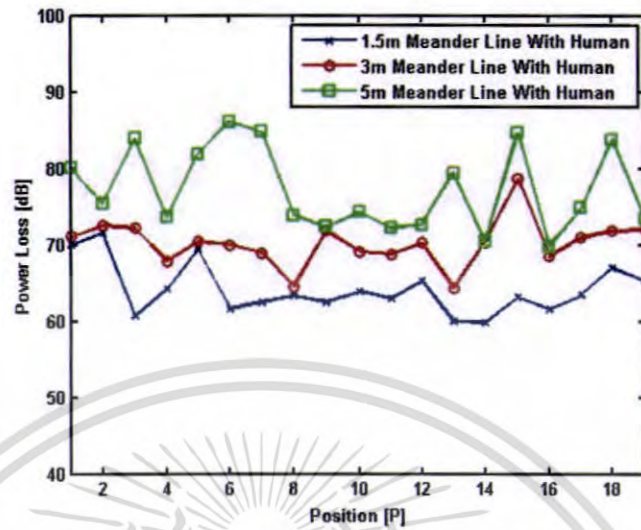
### 5.3.1.3 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายของสัญญาณ

เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลและมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับ ดังรูปที่ 5.15 และรูปที่ 5.16 ตามลำดับแล้ว จะสังเกตได้ว่าในระยะที่ต่างกันนั้น ค่าการสูญเสียจะต่ำที่สุดที่ระยะ 1.5 เมตรและค่าจะสูงขึ้นเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบ ทั้งสองรูปจะพบว่าในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะสูงกว่าใน กรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับในทั้งสามระยะของการทดลอง



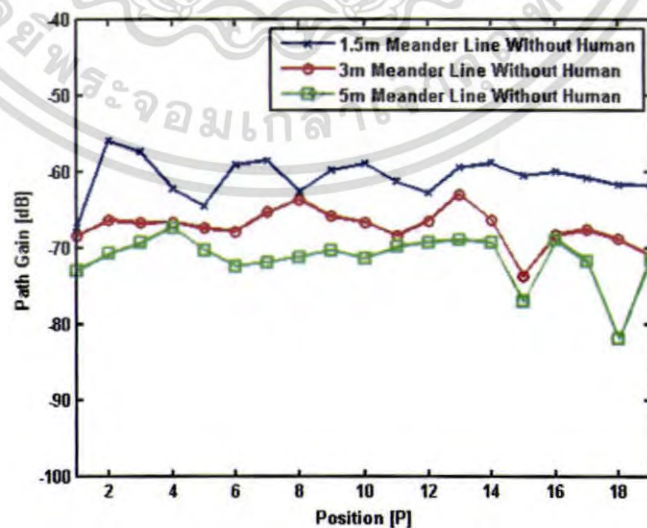
รูปที่ 5.15 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



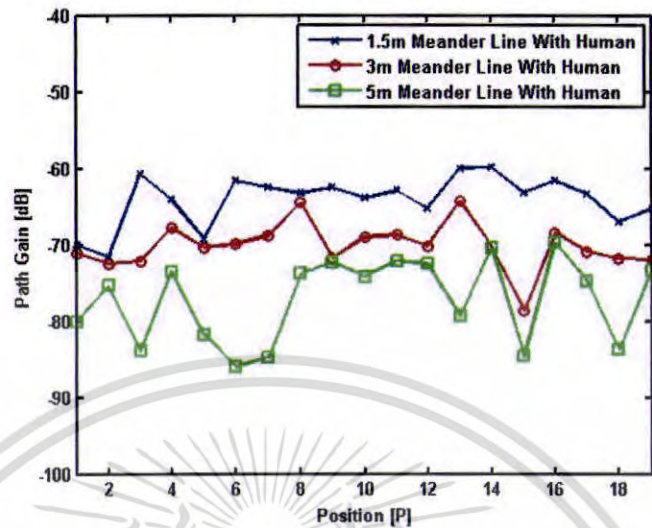
รูปที่ 5.16 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

สำหรับอัตราการขยายของสัญญาณเชิงวิถีนั้นคือส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถี ดังนั้นค่าของอัตราการขยายจะสูงสุดที่ระยะ 1.5 เมตรและค่าจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบในกรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องและในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 5.17 และรูปที่ 5.18 ตามลำดับ จะพบว่าอัตราการขยายเชิงวิถีในกรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องจะต่ำกว่าในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องในทั้งสามระยะของการทดลอง



รูปที่ 5.17 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

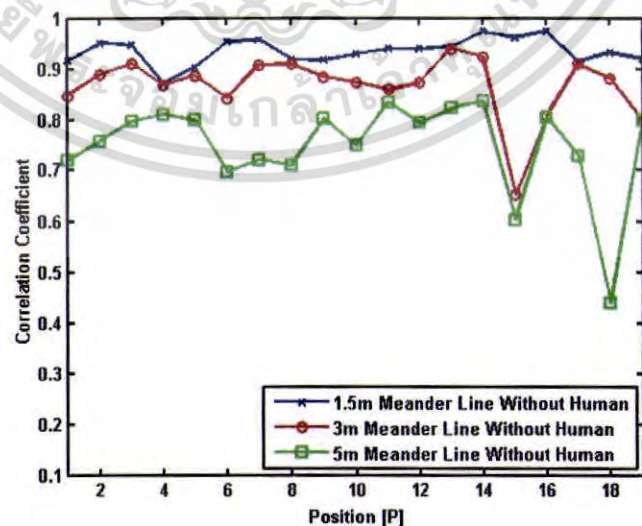
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

#### 5.3.1.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

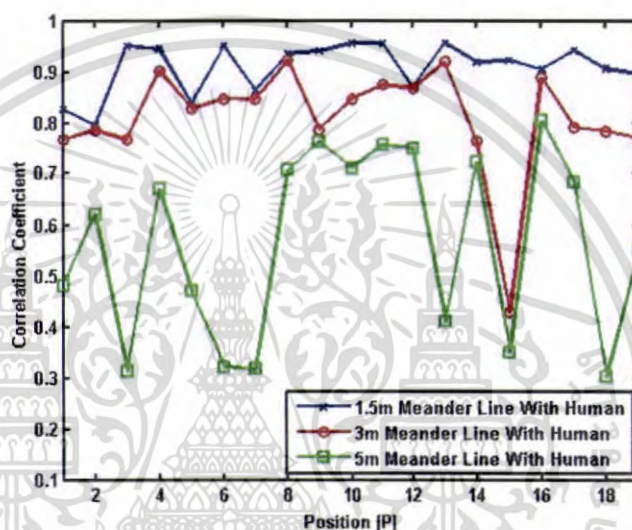
เมื่อพิจารณารูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง และแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องตามลำดับจะพบว่าที่ระยะ 1.5 เมตรค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากที่สุด และค่าจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นในทุกตำแหน่งที่ทำการวัดในทั้ง 2 กรณี



รูปที่ 5.19 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 กรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องและกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องพบว่าในกรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำกว่าในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องในทุกๆตำแหน่งที่ทำกรวด เนื่องจากตัวบุคคลมีผลกระทบทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ



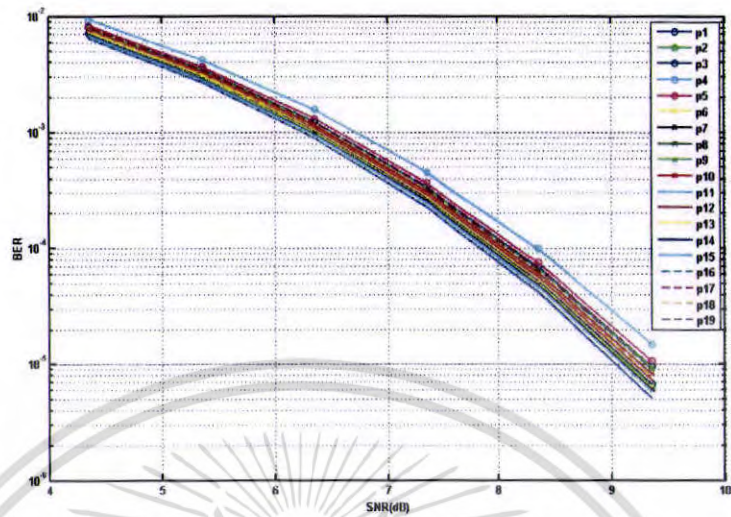
รูปที่ 5.20 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

### 5.3.1.5 การหาค่าอัตราความผิดพลาดบิต

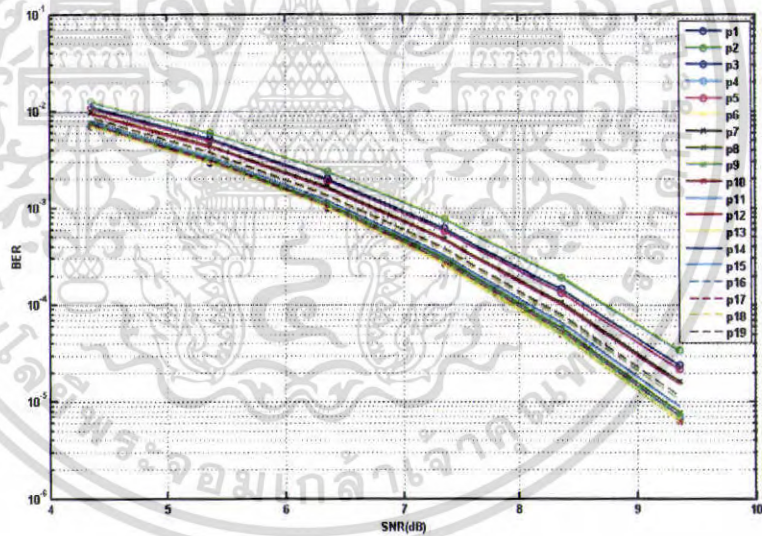
เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดบิตดังรูปที่ 5.21 รูปที่ 5.23 และรูปที่ 5.25 ซึ่งแสดงค่าความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องของทั้ง 3 ระยะที่ทำการทดลองเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.19 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องจะพบว่าค่าความผิดพลาดบิตกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กัน โดยที่จุดซึ่งค่าความผิดพลาดบิตต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าสูง ดังเช่นที่ระยะ 1.5 เมตรค่าความผิดพลาดบิตจะต่ำสุดที่จุดที่ 14 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่ามากที่สุดที่จุดที่ 14 เช่นกัน

ดังนั้นเมื่อพิจารณากรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องดังรูปที่ 5.22 รูปที่ 5.24 และรูปที่ 5.26 จะพบว่าอัตราความผิดพลาดบิตสูงกว่ากรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

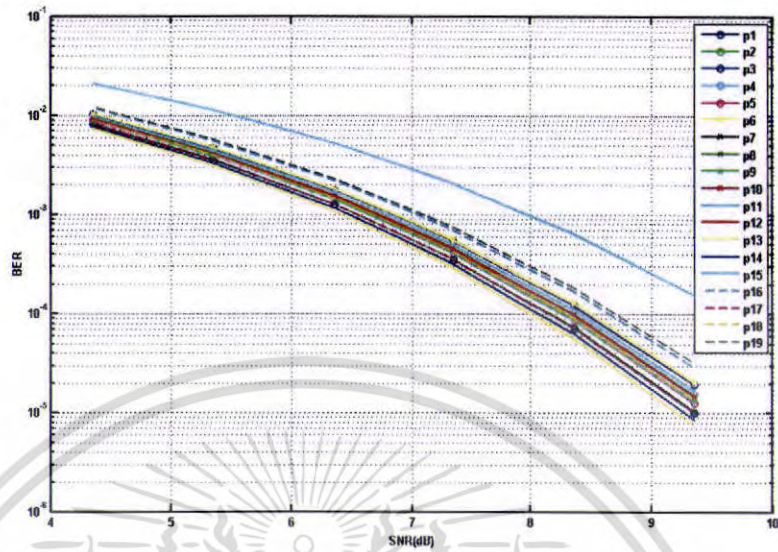


รูปที่ 5.21 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร

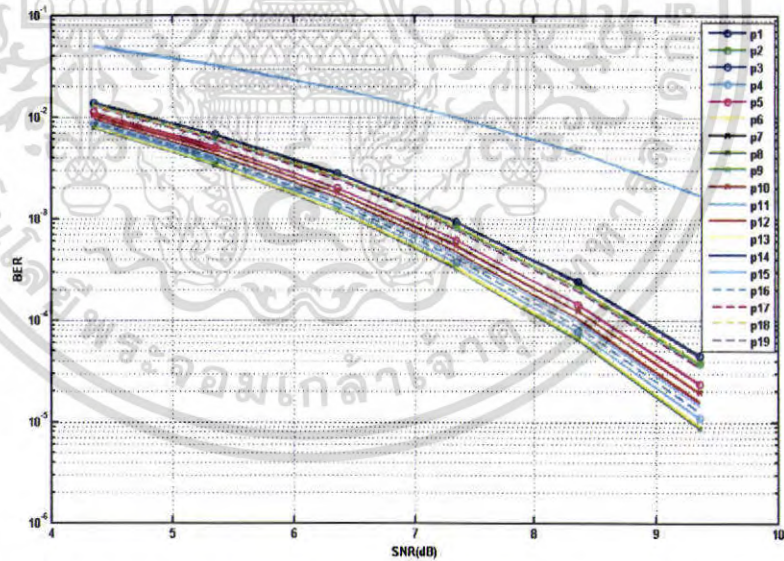


รูปที่ 5.22 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

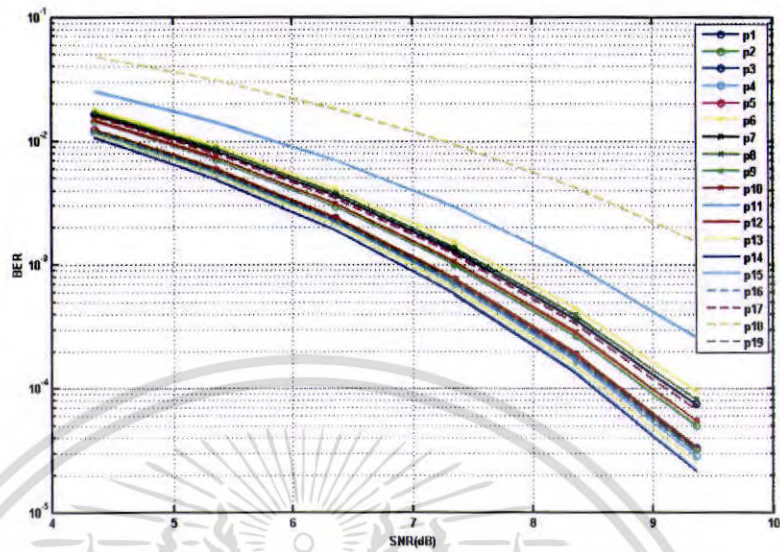


รูปที่ 5.23 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวกีดขวางเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 3 เมตร

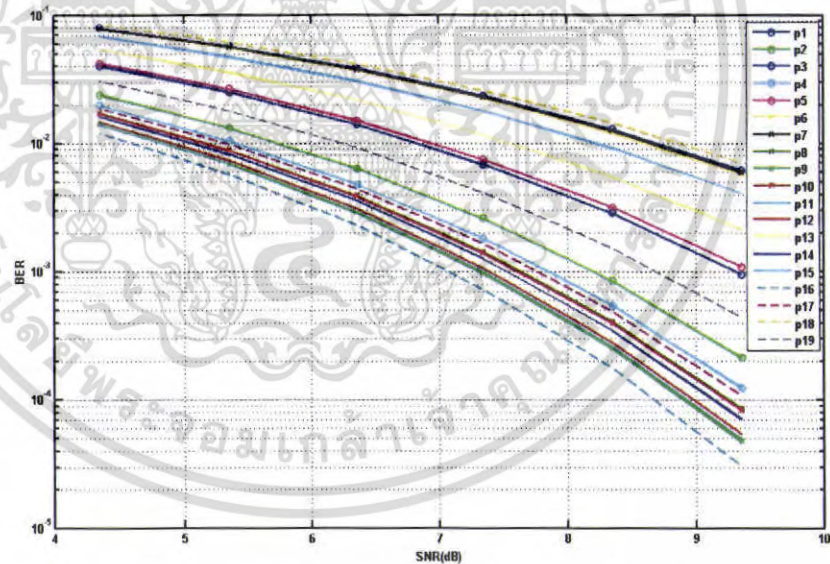


รูปที่ 5.24 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวกีดขวางเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบุคลลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร



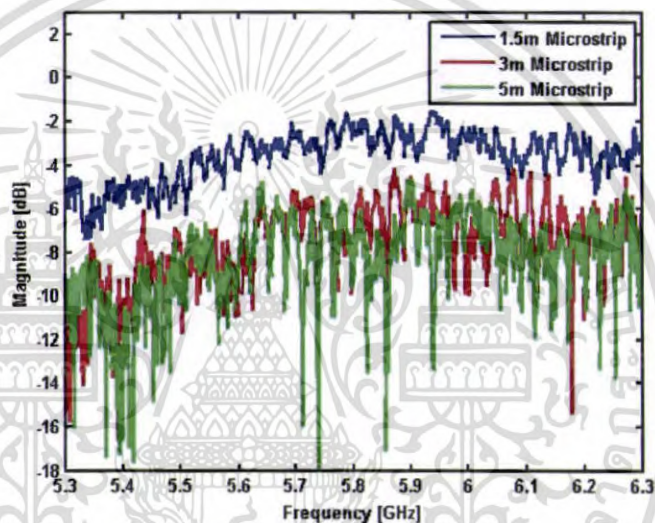
รูปที่ 5.26 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบุคลลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3.2 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปเป็นตัวรับสัญญาณ

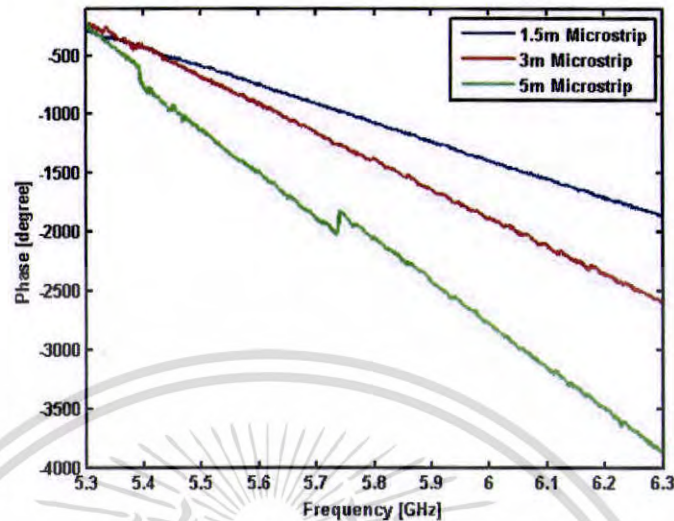
### 5.3.2.1 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน

ผลจากการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน แสดงดังรูปที่ 5.27 และรูปที่ 5.28 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีขนาดกำลังสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ในทั้งสามระยะ ซึ่งตรงตามคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.27 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน

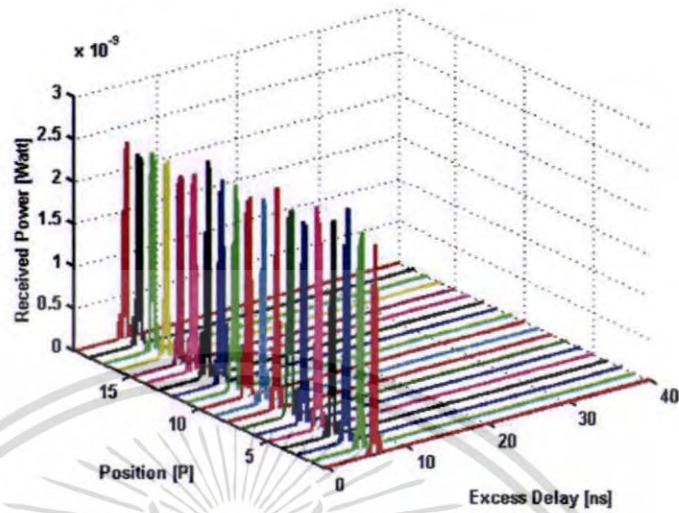
ส่วนเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านจะเห็นได้ว่าเฟสเป็นเส้นตรงบริเวณช่วง 5.3-6.3 กิกะเฮิรตซ์ ในระยะที่ 1.5 เมตรและระยะที่ 3 เมตร ส่วนในระยะ 5 เมตร เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากระยะทางเพิ่มขึ้น สังเกตได้ว่าขนาดกับเฟสบริเวณดังกล่าวจะสอดคล้องกับคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด ซึ่งถูกออกแบบมาให้ใช้ได้ดีกับสัญญาณแถบแคบที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์



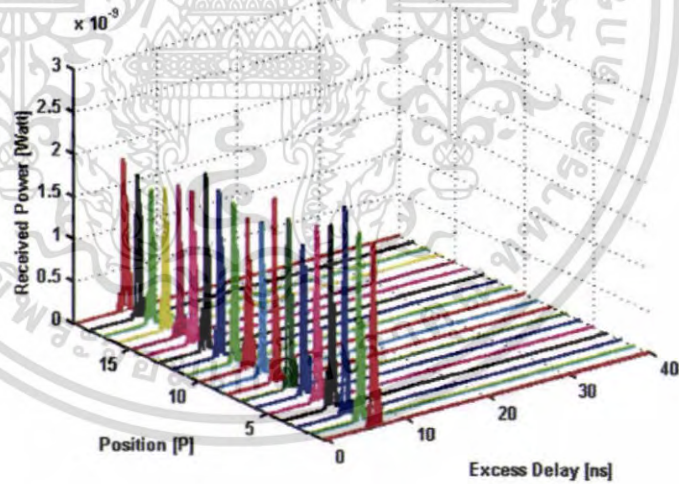
รูปที่ 5.28 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน

### 5.3.2.2 การหาค่ากำลังการแผ่ประวิงเวลา

สำหรับกำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร 3 เมตร และ 5 เมตร แสดงดังรูปที่ 5.29 รูปที่ 5.31 และรูปที่ 5.33 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร 3 เมตร และ 5 เมตร แสดงดังรูปที่ 5.30 รูปที่ 5.32 และรูปที่ 5.34 จะเห็นได้ว่ากรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับกำลังทางภาครับจะต่ำกว่าเมื่อกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับ แสดงว่าร่างกายมนุษย์ส่งผลต่อการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ทำให้กำลังทางภาครับลดลงทุกตำแหน่งและเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแต่ละระยะ จะพบว่าระยะที่กำลังการแผ่ประวิงเวลาสูงที่สุดคือที่ระยะ 1.5 เมตรและค่าจะลดลงเมื่อระยะเพิ่มขึ้นแสดงว่าระยะทางมีผลต่อการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

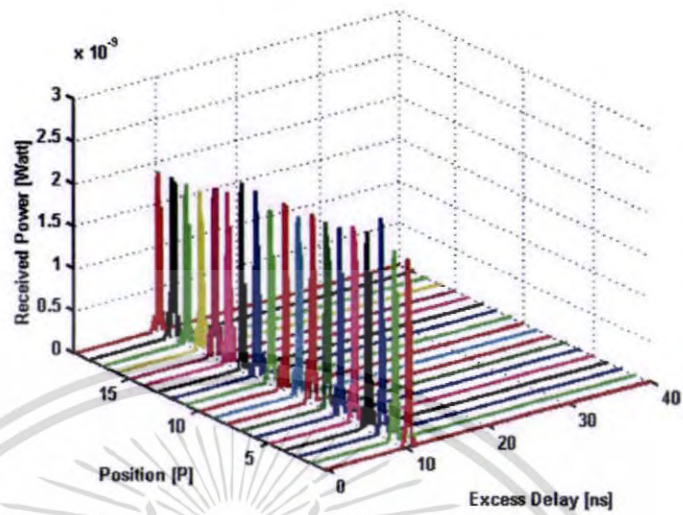


รูป 5.29 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร

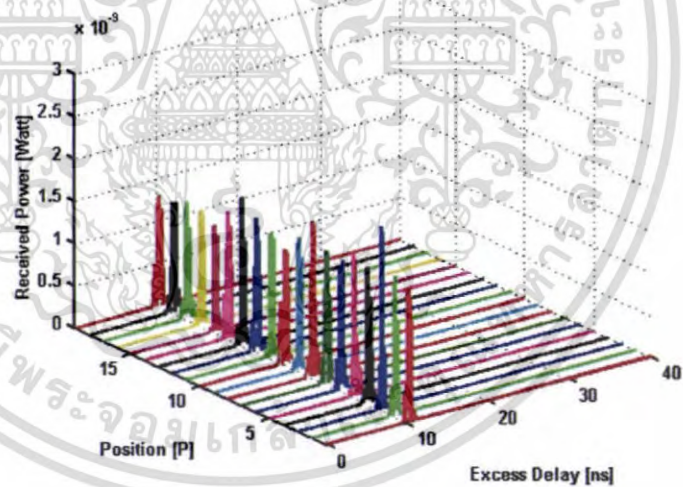


รูป 5.30 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณีมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

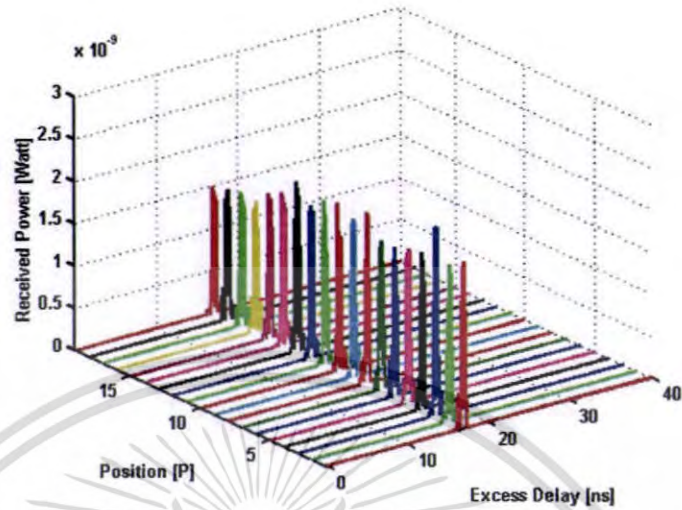


รูป 5.31 กำลังการแผ่ประเวิงเวลากรณีไม่มีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 3 เมตร

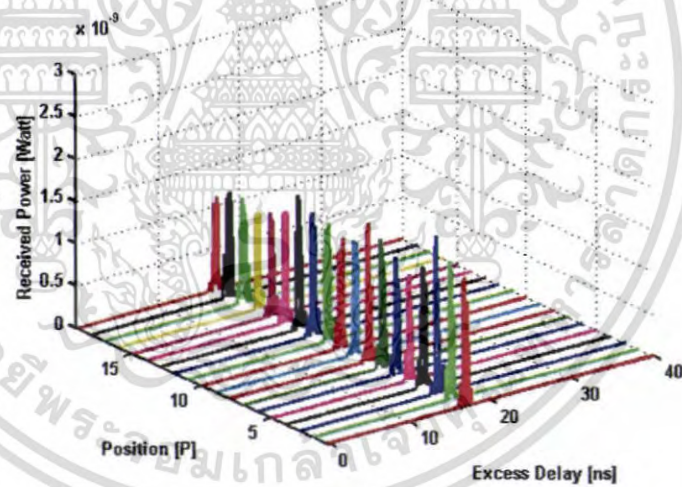


รูป 5.32 กำลังการแผ่ประเวิงเวลากรณีมีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.33 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณี ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 5 เมตร

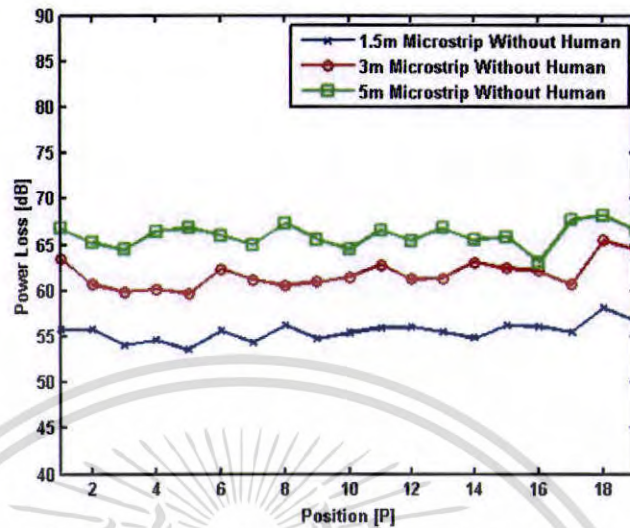


รูป 5.34 กำลังการแผ่ประวิงเวลากรณี มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะ 5 เมตร

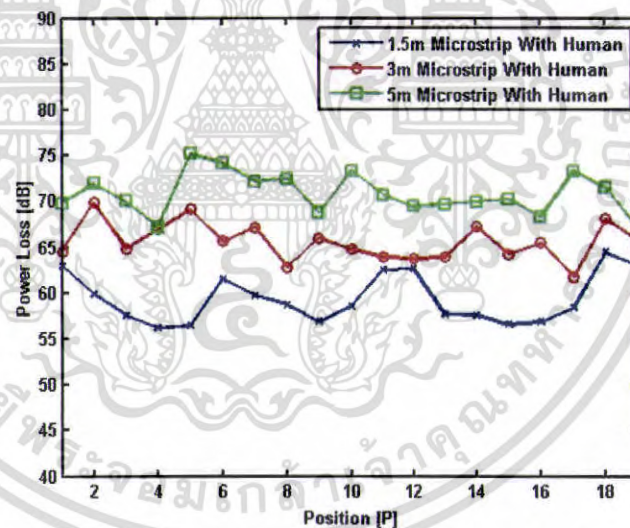
### 5.3.2.3 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายของสัญญาณ

เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลและมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับ ดังรูปที่ 5.35 และรูปที่ 5.36 ตามลำดับแล้ว จะสังเกตได้ว่าในระยะที่ ต่างกัน นั้น ค่าการสูญเสียจะต่ำที่สุดที่ระยะ 1.5 เมตรและค่าจะสูงขึ้นเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบทั้งสองรูปจะพบว่าในกรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องกับในทั้ง 3 ระยะของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



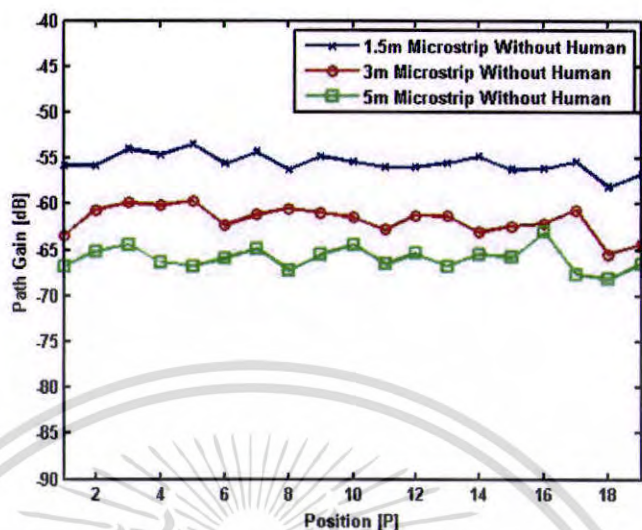
รูปที่ 5.35 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง



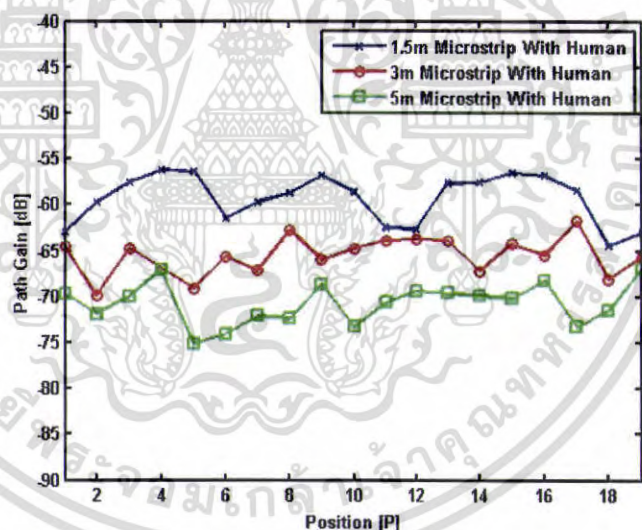
รูปที่ 5.36 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

สำหรับอัตราการขยายของสัญญาณเชิงวิถีนั่นคือส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถี ดังนั้น ค่าของอัตราการขยายจึงสูงสุดที่ระยะ 1.5 เมตรและค่าจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบในกรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องและในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 5.37 และรูปที่ 5.38 ตามลำดับ จะพบว่าอัตราการขยายเชิงวิถีในกรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องจะต่ำกว่าในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องในทั้ง 3 ระยะของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.37 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

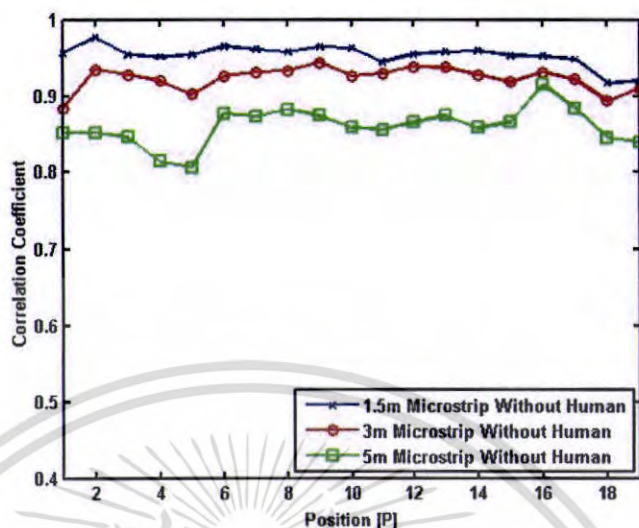


รูปที่ 5.38 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

#### 5.3.2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

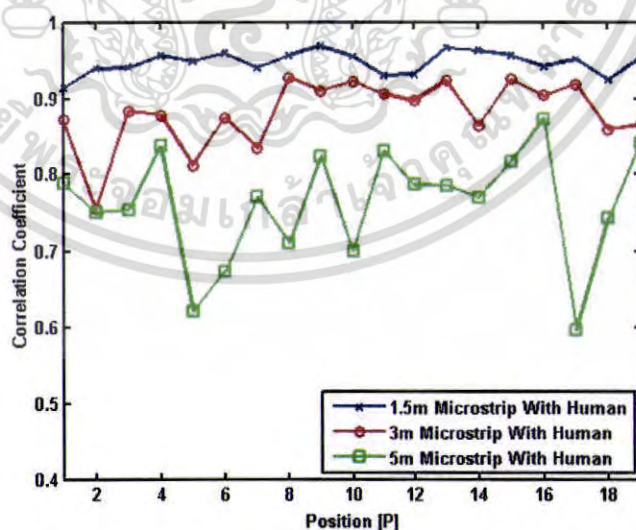
เมื่อพิจารณารูปที่ 5.39 ซึ่งเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีเมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะต่างๆ จะพบว่าที่ระยะ 1.5 เมตรค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากที่สุดและค่าจะลดลงตามลำดับเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นในทุกตำแหน่งที่ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.39 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปที่ 5.39 และรูปที่ 5.40 ซึ่งแสดงกรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องและกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องพบว่าในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่ากรณีที่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องในทุกๆ ตำแหน่งที่ทำให้การวัดเนื่องจากตัวบุคคลมีผลกระทบทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ



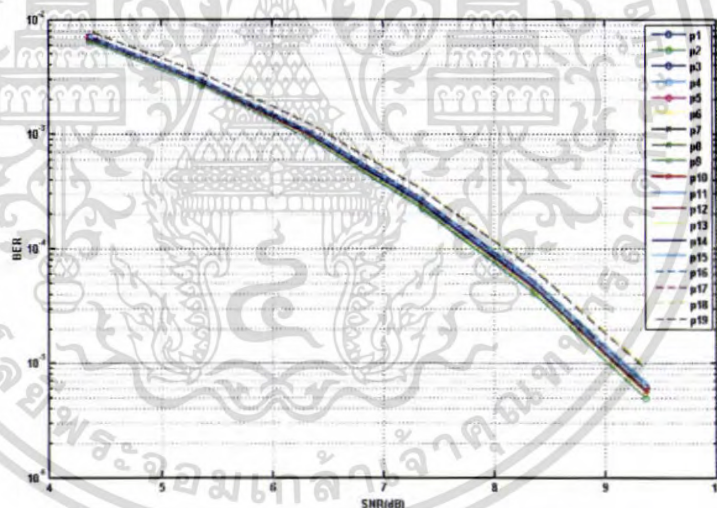
รูปที่ 5.40 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

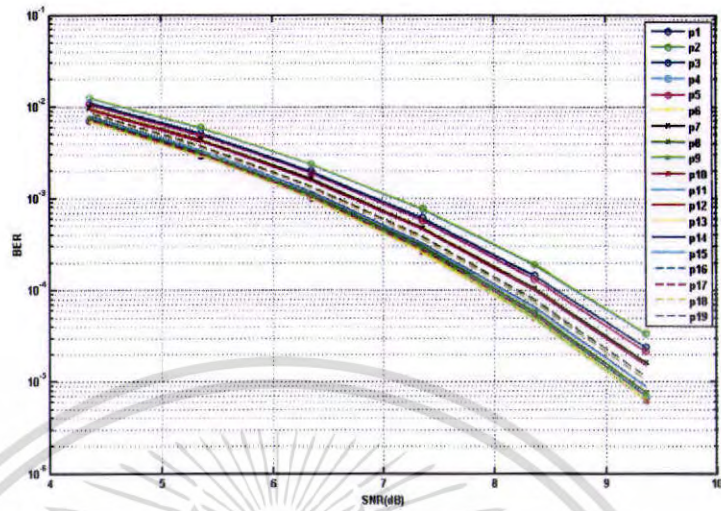
### 5.3.2.5 การหาค่าอัตราความผิดพลาดบิต

เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดบิตดังรูปที่ 5.41 รูปที่ 5.43 และรูปที่ 5.45 ซึ่งแสดงค่าความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องของทั้ง 3 ระยะเวลาทำการทดลองเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.39 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่มีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องจะพบว่าค่าความผิดพลาดบิตกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กัน โดยที่จุดซึ่งค่าความผิดพลาดบิตต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าสูง ดังเช่นที่ระยะ 1.5 เมตรค่าความผิดพลาดบิตจะต่ำสุดที่จุดที่ 2 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่ามากที่สุดที่จุดที่ 2 เช่นกัน

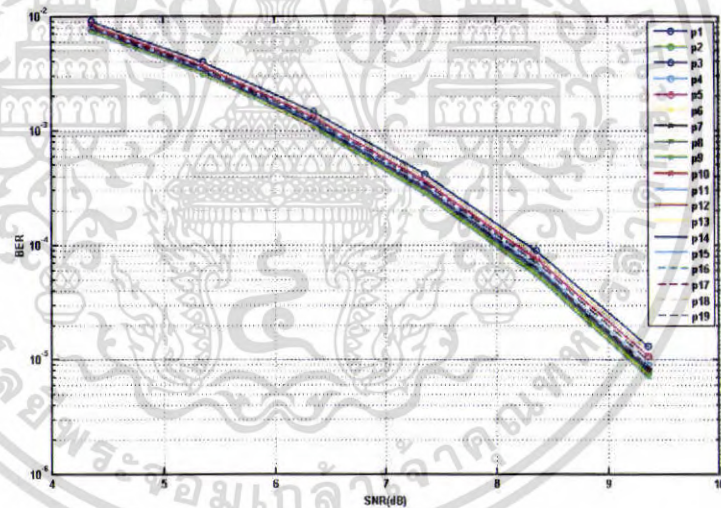
ดังนั้นเมื่อพิจารณากรณีที่มีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องดังรูปที่ 5.42 รูปที่ 5.44 และรูปที่ 5.46 จะพบว่ามีอัตราความผิดพลาดบิตสูงกว่ากรณีที่ไม่มีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิ์สหสัมพันธ์



รูปที่ 5.41 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร

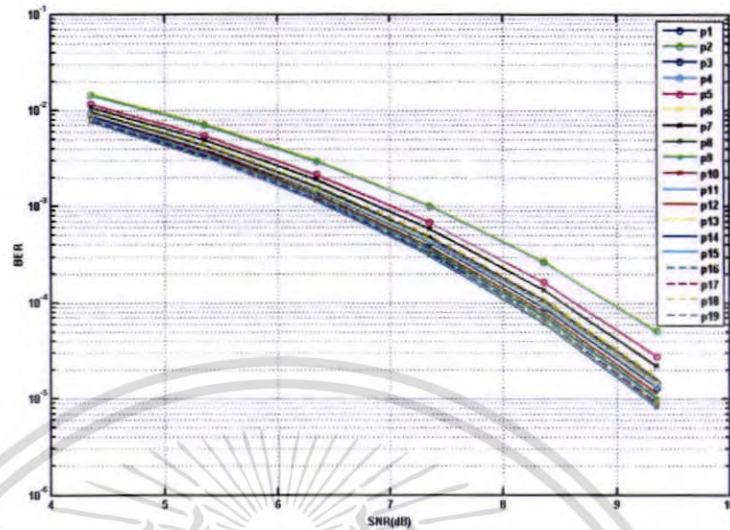


รูปที่ 5.42 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบुकคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 1.5 เมตร

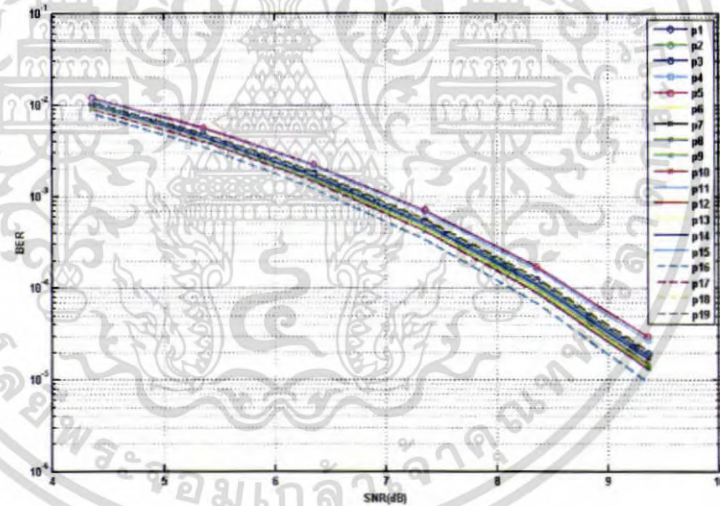


รูปที่ 5.43 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบुकคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

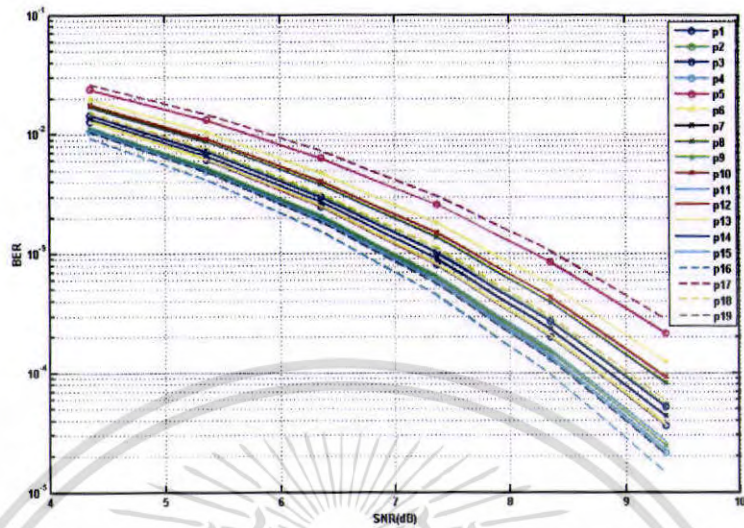


รูปที่ 5.44 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 3 เมตร



รูปที่ 5.45 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อไม่มีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 อัตราความผิดพลาดบิตเมื่อมีตัวบดกลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ระยะ 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุป

#### 6.1 บทนำ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายตัวบุคคล โดยแบ่งตามรูปแบบจำลองการวัด เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณ สามารถสรุปได้ว่า ชนิดและระยะห่างของสายอากาศระหว่างตัวรับและตัวส่ง มีผลต่อการส่งสัญญาณ โดยจะมีการสูญเสียเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศเพิ่มขึ้น และเมื่อมีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง ค่าการสูญเสียจะมีมากกว่า การส่งสัญญาณในช่องอากาศว่าง และนอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับชนิดของสายอากาศที่ใช้

#### 6.2 สรุปผลการทดลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

ตามแบบจำลองดังรูปที่ 4.11 ที่ตำแหน่ง  $p_1 - p_{19}$  ได้ค่ากำลังการสูญเสียออกมาดังนี้

ตำแหน่ง	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$
ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์	66.85	65.94	65.27	66.51	66.13
ไม่มีร่างกายมนุษย์	65.54	64.96	64.83	64.90	65.26

ตารางที่ 6.1 กำลังการสูญเสียที่ตำแหน่ง  $p_1 - p_5$

ตำแหน่ง	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$
ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์	67.54	66.88	66.74	67.69	67.13
ไม่มีร่างกายมนุษย์	65.19	64.19	64.92	65.09	64.99

ตารางที่ 6.2 กำลังการสูญเสียที่ตำแหน่ง  $p_6 - p_{10}$

ตำแหน่ง	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{14}$	$P_{15}$
ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์	66.82	65.48	66.25	66.99	67.82
ไม่มีร่างกายมนุษย์	65.48	64.22	65.40	65.01	65.32

ตารางที่ 6.3 กำลังการสูญเสียที่ตำแหน่ง  $p_{11} - p_{15}$

ตำแหน่ง	$P_{16}$	$P_{17}$	$P_{18}$	$P_{19}$
ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์	68.25	67.83	67.99	67.53
ไม่มีร่างกายมนุษย์	65.38	65.17	66.04	65.82

ตารางที่ 6.4 กำลังการสูญเสียที่ตำแหน่ง  $p_{16} - p_{19}$

จากตารางแสดงผลการทดลอง สังเกตได้ว่าตำแหน่ง  $P_3$ ,  $P_8$  และ  $P_{12}$  จะเป็นตำแหน่งที่รับสัญญาณได้ดีที่สุด และเป็นตำแหน่งที่มีกำลังการสูญเสียน้อยที่สุด เนื่องจากสายอากาศตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวเดียวกัน ทำให้สัญญาณรบกวนมีผลกระทบต่อการส่งสัญญาณในการทดลองน้อยลง และเมื่อเราพิจารณาทุกๆ ตำแหน่งที่  $P_1$  ถึง  $P_{19}$  ที่คิดกับตัวบุคคลตามแบบจำลอง จะเห็นได้ว่ากำลังทางด้านรับมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีบุคคลมาเกี่ยวข้อง เพราะตัวบุคคลจะเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการสะท้อนและการดูดกลืนของสัญญาณ ทำให้ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณลดลง

### 6.3 สรุปผลการทดลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

จากการทดลองที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อพิจารณาแต่ละระยะจะพบว่าที่ระยะ 1.50 เมตรซึ่งเป็นระยะที่สายอากาศตัวรับและตัวส่งอยู่ใกล้กันมากที่สุด ค่ากำลังการสูญเสียที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยที่สุดและค่ากำลังการสูญเสียนั้น ได้เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีที่ใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางและสายอากาศแบบไมโครสตริปเป็นตัวรับสัญญาณ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการสูญเสียในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องและกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง จะพบว่าในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องค่าการสูญเสียจะมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง

ดังนั้นเราจึงสรุปได้ว่าระยะทางและตัวบุคคลมีผลกระทบต่อค่าการส่งสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบระนาบตัวคน โดยระยะระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งยิ่งมาก ค่ากำลังการสูญเสียยิ่งเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินโครงการ

1. สามารถรู้หลักการทำงานของระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ
2. สามารถนำเทคโนโลยีระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้ในชีวิตประจำวันได้
3. สามารถนำผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ ไปพัฒนาและเลือกใช้สายอากาศที่เหมาะสมได้

#### 6.5 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ

สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง ไม่เหมาะสมมากเพียงพอ เนื่องจากเกิดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม

#### 6.6 แนวทางการแก้ปัญหา

ควรเปลี่ยนไปใช้สถานที่โล่งกว้าง หรือสถานที่ที่มีการสะท้อนของสัญญาณต่ำ เพื่อการวิเคราะห์สัญญาณที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

#### 6.7 ข้อเสนอแนะ

ต้องทำการควบคุมสภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง เพื่อให้ได้สัญญาณที่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," Proc. IRE, vol. 34, pp. 254-, May 1946.
- [2] [http://www.rfid.thai.net/RFID\\_contest/link/rfid\\_booklet.pdf](http://www.rfid.thai.net/RFID_contest/link/rfid_booklet.pdf)
- [3] <http://www.skycross.com>
- [4] P. Apichit ,K. Noppon and C. Monchai, "Experimental Evaluation Scheme of UWB Radio Propagation Channel with Humman Body"
- [5] P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamantanti and P. Juengkittigul, "An Indoor Measurement of RFID Transmission Gain for Wireless Body Area Network," Joint International Conference
- [6] Promwong, S.; Hachitani, W.; Ching, G.S.; Takada, J. "Characterization of ultra-wideband antenna with human body". ISCIT 2004. IEEE International Symposium on Volume 2, Issue , 26-29 Oct. 2004 Page(s): 1213 - 1217 vol.2 effects for indoor radio channel using UTD "
- [7]"Quantitative Evaluation of Ultra Wideband Impulse Radio System," dissertation by Sathaporn Promwong, Department of Communications and Integrated Systems Graduate School of Science and Engineering, September 3, 2004.
- [8] "RFID Multiple Access Methods," Summer semester 2004 Luc Andre Burdet Seminar "Smart Environments"
- [9] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, "Evaluation Scheme of Ultra Wide Band Antenna for Personal Area Network," on Information and Communication Technology (JICT2007), pp. 21-24, 19-22 Dec 2007.
- [10] T.S Rappaport, Wireless Communication – Principles and Practice, Practice Hall, Second Edition,2002.