

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ
ที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์

PERFORMANCE ANALYSIS OF RFID TRANSMISSION
WITH HUMAN BODY



T104137



โดย

นางสาวกมลรัตน์ ตันติวัฒน์

นางสาวกอปรกานต์ เทพสุภรณ์กุล

นายกำธร โอนอ่อน

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 104137

วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PERFORMANCE ANALYSIS OF RFID TRANSMISSION
WITH HUMAN BODY**



**MS. KAMONRAT TANTIWAT
MS. KOBKARN THEPSUPORNGUN
MR. KAMTORN ONOHN**

**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 LADKRABANG**

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์		
นักศึกษา	นางสาวกมลรัตน์	ตันติวัฒน์	รหัสประจำตัว 48010010
	นางสาวกอบปรกานต์	เทพสุภรณ์กุล	รหัสประจำตัว 48010035
	นายกำธร	โอนอ่อน	รหัสประจำตัว 48010046
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิชญ์ สุพรรณกุล อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2551		

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(ผศ.พิชญ์ สุพรรณกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ : การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ
ที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์

นักศึกษา : นางสาวกมลรัตน์ ตันตวิวัฒน์ รหัสประจำตัว 48010010
นางสาวกอปรกานต์ เทพสุภรณ์กุล รหัสประจำตัว 48010035
นายกำธร โอนอ่อน รหัสประจำตัว 48010046

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.พิชญ์ สุพรรณกุล
อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

ระดับการศึกษา : ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา : วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา : 2551

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยใช้ทฤษฎีและหลักการการส่งผ่านของฟรีส (Friis's transmission formula) ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดเนื่องจากสมการการส่งผ่านของฟรีสเป็นหลักการวิเคราะห์ที่ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนและเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย ซึ่งในการทดลองวิจัยได้ทำการวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นของระบบสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA) ในการวัดค่าและบันทึกข้อมูลและได้ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip antennas) ที่ความถี่ 2.45 GHz เป็นทั้งตัวส่ง (Tx) และตัวรับ (Rx) ของแต่ละแบบจำลอง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยและจำลองการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร แล้วนำเอาข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมาพิจารณาหาขนาดกับเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าอัตราความผิดพลาดบิต ซึ่งข้อมูลจากผลการทดลองวิจัยที่ได้นี้จะประโยชน์พื้นฐานสำหรับการวิจัยและพัฒนาออกแบบระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่นำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับมนุษย์ในอนาคตข้างหน้าได้เป็นอย่างดี

Thesis Title Performance Analysis of RFID Transmission with Human body

Student Miss. Kamonrat Tantiwat ID. 48010010
Miss. Kobkarn Thepsuporngun ID. 48010035
Mr. Kamtorn Onohn ID. 48010046

Thesis Advisor Asst. Prof. Pichaya Supanakoon
Mr. Sathaporn Promwong

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic 2008

ABSTRACT

This thesis presents a study of the characteristics of the transmission channels of RFID by using Friis' transmission formula to analyze the data getting from measurements because it is not complicated and widely accepted. The measurements of transmission channels of RFID are treated by using vector network analyzer to measure and record data. At the same time, microstrip antennas operating at 2.4 GHz are used as transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas of each model. The study is also to investigate and imitate the RFID in indoor environment, and use the output from the imitation to find out magnitude and phase of transfer function, path loss, correlation coefficient and bit error rate. The results from this study will be useful for research and develop a design of RFID, which can be applied to use with human being in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิชญ์ สุพรรณกุล และ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศอย่างเป็นที่สุด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ อบรมสั่งสอน และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัยอย่างดีเยี่ยม ตลอดจนคอยสอบถามปัญหาของงานวิจัยมาโดยตลอด ทำให้ทางผู้จัดทำ จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน มาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กมลรัตน์ ตันติวัฒน์
กอบปรกานต์ เทพสุภรณ์กุล
กำธร โอนอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2-เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 ประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน.....	6
2.2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนประเภทต่างๆ.....	6
2.2.2 คุณสมบัติของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน.....	9
2.3 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	10
2.4 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	11
2.4.1 องค์ประกอบหลักที่สำคัญ.....	11
2.4.2 หลักการทำงานเบื้องต้น.....	13
2.4.3 การรับส่งข้อมูลระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ.....	13
2.4.3.1 วิธีการสื่อสารระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ.....	13
2.4.3.2 รูปแบบของการสื่อสารระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3.3 เทคนิคการมอดูเลต.....	15
2.4.4 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง.....	17
2.4.5 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์.....	18
2.5 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	18
2.5.1 ย่านความถี่ที่ใช้งาน.....	18
2.5.2 มาตรฐานในการใช้งาน.....	21
2.5.3 การอนุญาตใช้งานในประเทศไทย.....	22
2.6 การประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	22
2.6.1 การใช้งานภาคอุตสาหกรรม.....	22
2.6.2 การใช้งานด้านการปศุสัตว์.....	23
2.6.3 การใช้งานในวงการแพทย์.....	24
2.6.4 การใช้งานสำหรับบรรจุกัญหัน.....	25
2.6.5 การใช้งานด้านการคมนาคม.....	26
2.6.6 การใช้งานด้านการรักษาความปลอดภัย.....	27
2.7 บทสรุป.....	28
บทที่ 3 ทฤษฎีและการวิเคราะห์การสูญเสียในการส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตน ด้วยความถี่วิทยุ.....	29
3.1 กล่าวนำ.....	29
3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นวิทยุ.....	29
3.2.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection).....	29
3.2.2 การหักเหของคลื่น (refraction).....	30
3.2.3 การแพร่กระจายคลื่น (Diffraction).....	31
3.2.4 การแทรกสอดของคลื่น (Interference).....	32
3.2.5 คุณสมบัติอื่นๆ ที่เกิดขึ้นกับคลื่นวิทยุ.....	33
3.3 ทฤษฎีการส่งผ่านในอวกาศว่างของฟรีส.....	34
3.4 การวิเคราะห์การส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ.....	35
3.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	36
3.4.3 อัตราความผิดพลาดบิต.....	37
3.5 บทสรุป.....	38
บทที่ 4 แบบจำลองและขั้นตอนการทดลองวิจัย.....	39
4.1 กล่าวนำ.....	39
4.2 การเตรียมการทดลองวัดสัญญาณ.....	41
4.2.1 รูปแบบของการทดลองวัดสัญญาณ.....	41
4.2.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลองวัดสัญญาณ.....	42
4.2.3 ลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัดสัญญาณ.....	43
4.3 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ.....	45
4.3.1 ขั้นตอนการทดลองวัด.....	45
4.3.1.1 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีวัสดุ.....	45
4.3.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดกรณีที่ไม่มีวัสดุ.....	47
4.3.1.3 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, กล้องโลหะ, ถังพลาสติก).....	47
4.3.1.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, กล้องโลหะ, ถังพลาสติก).....	48
4.4 บทสรุป.....	49
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล.....	50
5.1 กล่าวนำ.....	50
5.2 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ.....	50
5.2.1 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีวัสดุ.....	50
5.2.1.1 ผลการวัดขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.1.2 ผลการวัดเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ.....	52
5.2.1.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ.....	53
5.2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	54
5.2.1.5 อัตราความผิดพลาดบิต.....	55
5.2.2 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ.....	56
5.2.2.1 ผลการวัดขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ ที่ระยะ 0.5 เมตร.....	56
5.2.2.2 ผลการวัดเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ ที่ระยะ 0.5 เมตร.....	59
5.2.2.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะ 0.5 เมตร.....	62
5.2.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 0.5 เมตร.....	65
5.2.2.5 อัตราความผิดพลาดบิตที่ระยะ 0.5 เมตร.....	68
5.2.2.6 ผลการวัดขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ ที่ระยะ 1.5 เมตร.....	71
5.2.2.7 ผลการวัดเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ ที่ระยะ 1.5 เมตร.....	74
5.2.2.8 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะ 1.5 เมตร.....	77
5.2.2.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.5 เมตร.....	80
5.2.2.10 อัตราความผิดพลาดบิตที่ระยะ 1.5 เมตร.....	83
5.3 บทสรุป.....	85
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	86
6.1 กล่าวนำ.....	86
6.2 สรุปผลการวิจัยของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ.....	86
6.2.1 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่ไม่วัสดุ.....	86
6.2.2 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ.....	87
6.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินโครงการ.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.4 ปัญหาที่พบในระหว่างการค้าเงินโครงการงาน	89
6.5 แนวทางในการแก้ปัญหา	89
6.6 ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารอ้างอิง	90



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนในแต่ละประเภท.....	9
2.2 ย่านความถี่ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้งาน.....	20
2.3 เปรียบเทียบย่านความถี่ต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	20
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีวัสดุ.....	47
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, กล้องโลหะ, ถึงพลาสติก).....	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	1
1.2 ย่านความถี่ที่ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	3
2.1 รหัสแบบแบ่ง.....	6
2.2 เทคโนโลยีการระบุตัวตนทางชีวภาพ.....	7
2.3 บัตรอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องอ่าน.....	7
2.4 ตัวรับและตัวส่งสัญญาณของเทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	8
2.5 รหัสการจดจำสัญลักษณ์ด้วยสายตา.....	8
2.6 องค์ประกอบหลักในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	12
2.7 วิธีการสื่อสารระหว่างตัวรับสัญญาณกับตัวส่งสัญญาณ.....	14
2.8 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด.....	16
2.9 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่.....	16
2.10 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส.....	17
2.11 บริเวณการแบ่งกลุ่มประเทศสำหรับการกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งาน.....	18
2.12 ย่านความถี่การใช้งานของระบบต่างๆ.....	19
2.13 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้งานในอุตสาหกรรม.....	23
2.14 การติดตั้งรับสัญญาณไว้กับสัตว์แต่ละชนิด.....	24
2.15 ตัวอย่างอุปกรณ์การแพทย์กับฉลากยาที่ติดตั้งรับสัญญาณ.....	25
2.16 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ติดตั้งรับสัญญาณ.....	26
2.17 การคมนาคมที่มีการนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้.....	27
2.18 การนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนไปใช้ด้านการรักษาความปลอดภัย.....	27
3.1 การสะท้อนของคลื่นวิทยุ.....	30
3.2 การหักเหของคลื่น.....	31
3.3 การเลี้ยวเบนของคลื่น.....	32
3.4 การแทรกสอดของคลื่น.....	33
3.5 บล็อกไดอะแกรมการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างของฟรีส.....	34
3.6 บล็อกไดอะแกรมการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ.....	35
4.1 แบบแผนการศึกษาทดลองวิจัย.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	41
4.3 อุปกรณ์ต่างๆ และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	42
4.4 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด.....	43
4.5 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต.....	44
4.6 คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต.....	44
4.7 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณของกรณีที่ไม่มีวัสดุ.....	46
4.8 การจัดวางสายอากาศด้านรับและด้านส่ง(พิจารณาจากด้านบน).....	46
4.9 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณของกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, กล้องโลหะ, ถังพลาสติก).....	48
5.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ ของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุ โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับทำมุมต่างกัน (0 ~ 360 องศา).....	51
5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุ โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับทำมุมต่างกัน (0 ~ 360 องศา).....	52
5.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุ.....	53
5.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุที่มุม 0 องศา ถึง 360 องศา.....	54
5.5 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุในช่วง SNR ตั้งแต่ -6 dB ถึง 40 dB.....	55
5.6 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	56
5.7 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	57
5.8 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(กล้องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	57
5.9 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	58
5.10 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	60
5.12 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	60
5.13 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	61
5.14 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	62
5.15 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	63
5.16 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	63
5.17 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	64
5.18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	65
5.19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	66
5.20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	66
5.21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	67
5.22 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	68
5.23 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.24 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	69
5.25 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร.....	70
5.26 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	71
5.27 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(ร่างกายนมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	72
5.28 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	72
5.29 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	73
5.30 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	74
5.31 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(ร่างกายนมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	75
5.32 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	75
5.33 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ(ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	76
5.34 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	77
5.35 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายนมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	78
5.36 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.37 การสูญเสียเชิงวิถึของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	79
5.38 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	80
5.39 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	81
5.40 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	81
5.41 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	82
5.42 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	83
5.43 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	84
5.44 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	84
5.45 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

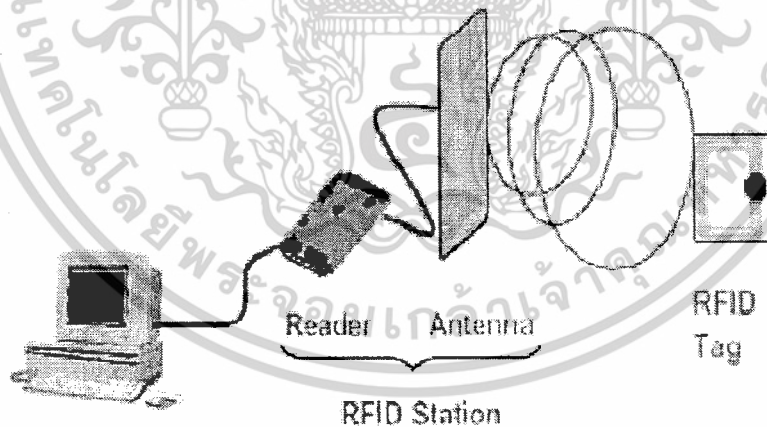
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ(Radio Frequency Identification : RFID) ได้เข้ามามีบทบาท และมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ อย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งกำลังมีการพัฒนาและขยายตัวอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ได้มีการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้ในการรับส่ง และจัดเก็บข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารให้มากขึ้น รองรับการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ การแลกเปลี่ยนสินค้า และการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก

จากความสามารถในการนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ทำให้มีแนวโน้มว่าในอนาคตจะมีการนำเอาเทคโนโลยีนี้มาใช้ร่วมกับมนุษย์ในการควบคุม ระบุรายละเอียด และตำแหน่งของแต่ละบุคคลกันอย่างแพร่หลาย เพราะในแต่ละวันจำนวนประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง



รูปที่ 1.1 ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ซึ่งในการนำระบบนี้ไปใช้งานจริงนั้น ประสิทธิภาพของระบบอาจลดลงได้เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณและสัญญาณที่รับได้ในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ คือสภาวะแวดล้อมรอบข้าง เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ผง กัมพาง หน้าต่าง เป็นต้น

นอกจากนี้ตัวมนุษย์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งด้วย โดยเฉพาะกรณีที่น่าเอาเทคโนโลยีการสื่อสารเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้ร่วมกับมนุษย์ เพราะมีความเป็นไปได้ที่ร่างกายมนุษย์จะไปลดทอน หรือทำให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณที่รับได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษา และตรวจสอบว่าร่างกายมนุษย์ส่งผลของสัญญาณและสัญญาณที่รับได้อย่างไร

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ไมโครเวฟมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลได้รวดเร็ว เก็บข้อมูลได้เยอะ มีขนาดเล็กกะทัดรัดสามารถพกพาได้ง่าย มีความแข็งแรงทนทาน และราคาถูก ประกอบกับเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ค่อนข้างใหม่ และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องน้อยมาก อีกทั้งในอนาคตเทคโนโลยีนี้จะเป็นส่วนสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในการระบุรายละเอียดหรือระบุตำแหน่งของสิ่งต่างๆ ในแต่ละบริเวณแต่ละสถานที่ จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาและพิจารณาผลกระทบจากตัวบุคคลที่ส่งผลกระทบต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยหรือพัฒนาต่อไป

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดจากชนิดของวัสดุ และร่างกายมนุษย์ ที่ส่งผลต่อการรับสัญญาณในช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุภายในอาคาร โดยใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission formula) ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการพิจารณา และใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์กับสายอากาศไมโครสตริปที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรง (Directional) ที่ย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต ในการทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น โดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านตัวรับและตัวส่ง มีความสูง 1.40 เมตร ซึ่งแบบจำลองการทดลองวัดที่ได้กล่าวมาจะสามารถพิจารณาการลดทอนและการผิดพลาดของสัญญาณได้ โดยแสดงให้เห็นถึงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ รวมไปถึงอัตราความผิดพลาดบิตด้วย จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปพัฒนา ปรับปรุง หรือสร้างระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้ร่วมกับมนุษย์ต่อไปในอนาคต

1.4 การเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

เนื่องจากงานวิจัยที่มีผ่านๆมาศึกษาเพียงประสิทธิภาพแบบพื้นฐานของการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุโดยไม่ได้พิจารณาในย่านความถี่ไมโครเวฟ ดังนั้นปริญญาโทจึงได้ใช้สัญญาณส่งที่มีคลื่นพาห์ 2.45 กิกะเฮิร์ต แทนที่จะใช้ในย่านความถี่ต่ำที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เพื่อเพิ่มความจุข้อมูลให้มากขึ้น ส่งข้อมูลได้เร็วขึ้น และทำการหาค่าการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณ เพื่อนำผลที่ได้หลังจากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการระบบตัวตน ระบบตำแหน่งของสิ่งต่างๆในอนาคต



รูปที่ 1.2 ย่านความถี่ที่ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในปริญญาโทฉบับนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ เพื่อพิจารณาผลกระทบอันเกิดจากการที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมต่างกันออกไป โดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตทำการทดลองวัดช่องสัญญาณตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นได้พิจารณาถึงค่าสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่นและประสิทธิภาพสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยใช้เม็ทแล็บโปรแกรม(MATLAB) เป็นตัวช่วยในการคำนวณ และประมวลผลออกมาในรูปของกราฟที่เราต้องการพิจารณา

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ การประยุกต์ใช้งาน และบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและการวิเคราะห์การสูญเสียในการส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบไปด้วย บทนำ คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นวิทยุ ทฤษฎีการส่งผ่านในอวกาศว่างของฟรีส การวิเคราะห์การส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงแบบจำลองและขั้นตอนการทดลองวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ การเตรียมการทดลองวัดสัญญาณ แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร และบทสรุป

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณบทสรุป

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.1 กล่าวนำ

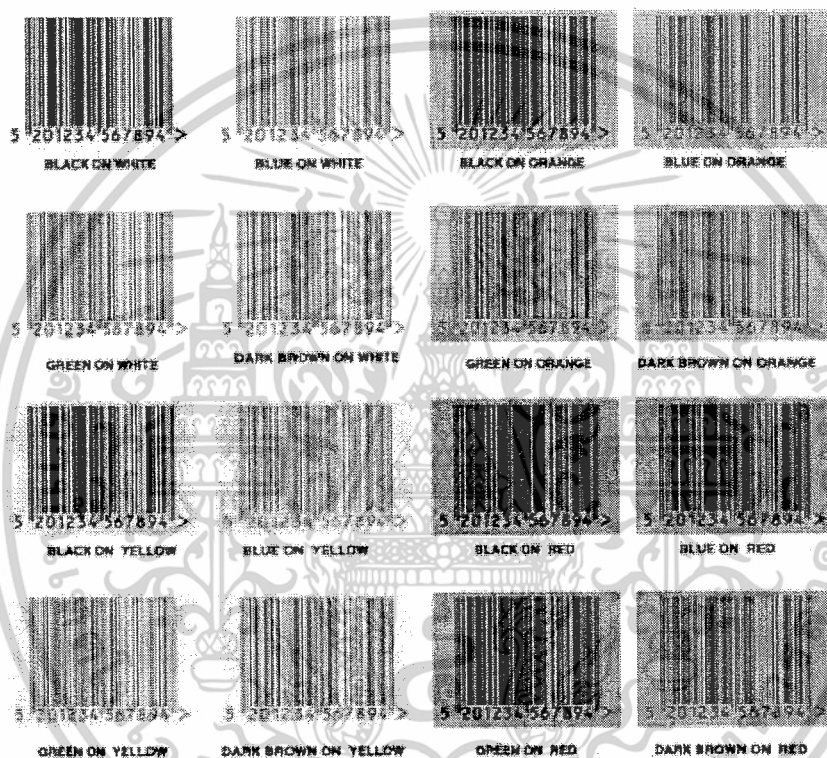
เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยได้เข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าต่างๆ ในขณะที่นำสินค้าไปยังแคชเชียร์เพื่อชำระเงิน ก็จะคุ้นเคยกับภาพของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสแบบแท่งหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด บนตัวสินค้าเพื่ออ่านข้อมูลบางอย่างออกมา ซึ่งแม้ว่าฉลากแบบบาร์โค้ดจะเป็นที่นิยมและใช้กันมากในบ้านเรา แต่ทว่าวิธีการจัดเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับการแก้ไขอยู่หลายๆจุด ที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งคือ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องยิงลำแสงตรวจจับลงไปยังฉลากเพื่ออ่านค่า หรือใช้กล้องขนาดเล็กจับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ยิ่งหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจน การอ่านค่าอาจมีความผิดพลาด นอกจากนั้นวิธีการอ่านค่าที่จำเป็นต้องนำเครื่องอ่านมาวางอยู่เหนือฉลากที่ต้องการอ่านค่าก็ทำให้เกิดความไม่สะดวกสำหรับงานบางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฉลากที่ต้องตรวจสอบเป็นจำนวนมากๆ จึงทำให้เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบฉลากแบบใหม่ที่มีชื่อเรียกว่า “RFID”

การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เป็นเทคโนโลยีการระบุข้อมูล ระบุตำแหน่งที่แสดงเอกลักษณ์ของวัตถุ คน สัตว์ หรือสิ่งของด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาในยุค ค.ศ. 1970s เพื่อวัตถุประสงค์การนำไปใช้ในการบ่งชี้วัตถุในระยะไกลได้ โดยมีจุดเด่นคือสามารถอ่านข้อมูลจากตัวรับสัญญาณได้หลายตัวแบบไร้การสัมผัส อ่านค่าได้แม้ในสภาพที่วิสัยทัศน์ไม่ดี มีความทนต่อแรงสั่นสะเทือนการตกกระทบ ทนต่อความเปียกชื้น และสามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ภายในตัวรับสัญญาณ ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้ทดแทนระบบรหัสแบบแท่งแบบเดิม โดยในบทนี้จะกล่าวถึง ประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน ประวัติความเป็นมา ลักษณะเฉพาะ ข้อกำหนด และการประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.2 ประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน

2.2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนประเภทต่างๆ

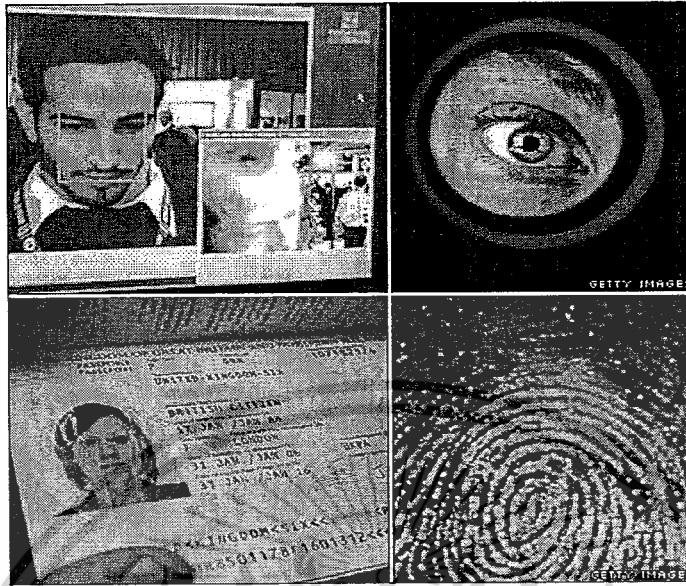
เทคโนโลยีรหัสแบบแท่ง (Barcode technology) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนที่เก่าแก่มากที่สุด โดยใช้รหัสแถบสีดำเข้มเรียงตัวกันและมีช่องว่างแตกต่างกัน เช่นเดียวกับแถบสี ซึ่งการอ่านรหัสแบบแท่งทำได้โดยใช้เครื่องอ่านรหัส



รูปที่ 2.1 รหัสแบบแท่ง

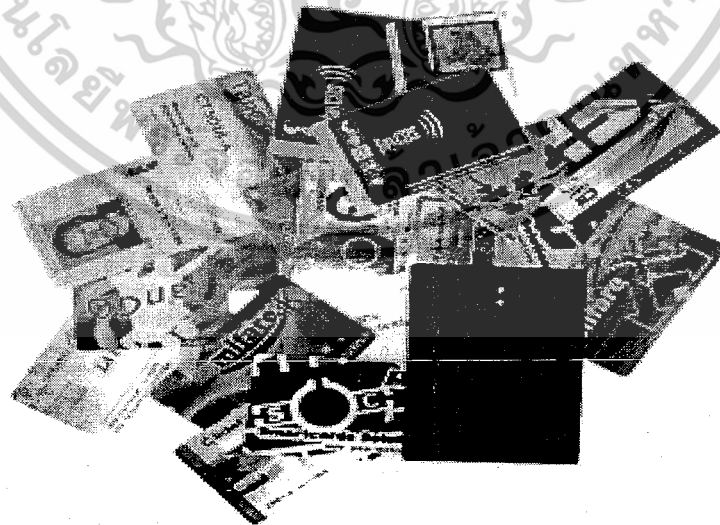
เทคโนโลยีการระบุตัวตนทางชีวภาพ (Biometric technology) เป็นเทคโนโลยีการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของสิ่งมีชีวิต โดยที่นำมาใช้งานคือการตรวจสอบลายนิ้วมือ (Fingerprint) และการตรวจสอบเสียงพูด (Voice recognition) ซึ่งเทคโนโลยีนี้จำกัดการใช้งานบางกลุ่มไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในแวดวงอื่นได้ จึงไม่เข้าข่ายเทคโนโลยีทางเลือกสำหรับการจัดการอุตสาหกรรมยุคใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เทคโนโลยีการระบุตัวตนทางชีวภาพ

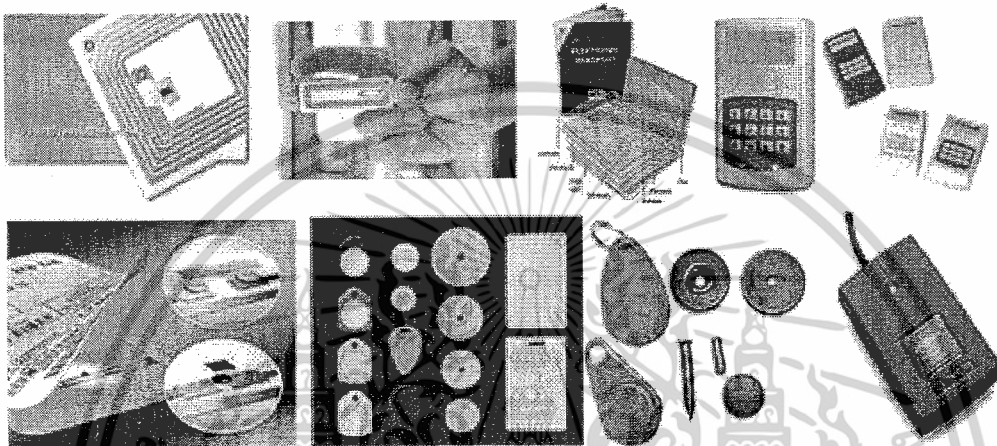
เทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยบัตรอิเล็กทรอนิกส์ (Smartcard technology) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยการป้อนข้อมูลไว้ในบัตรอิเล็กทรอนิกส์ลักษณะคล้ายกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ต่างกันตรงที่เทคโนโลยีนี้การรับส่งข้อมูลมีความจำเป็นที่ตัวรับและตัวส่งสัญญาณต้องสัมผัสกัน โดยมีผลให้อายุการใช้งานน้อยลง



รูปที่ 2.3 บัตรอิเล็กทรอนิกส์

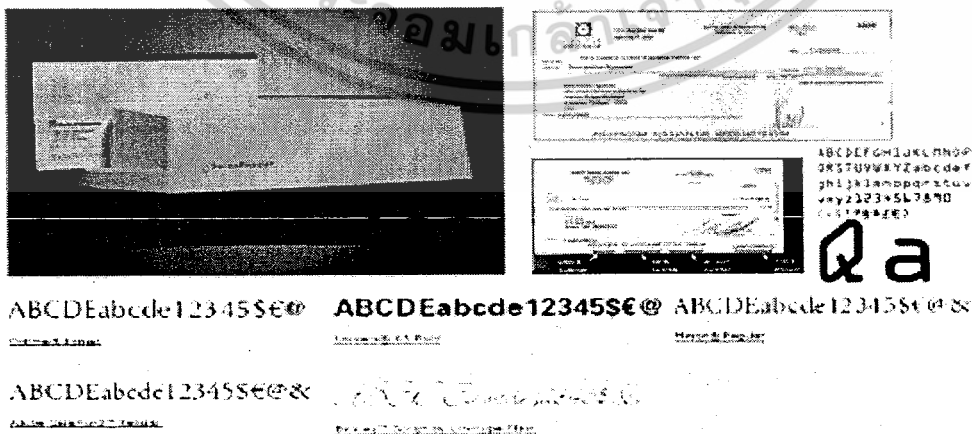
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (Radio frequency identification: RFID technology) เป็นระบบการสื่อสารแบบไร้สายที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศ



รูปที่ 2.4 ตัวรับและตัวส่งสัญญาณของเทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

เทคโนโลยีการจดจำสัญลักษณ์ด้วยสายตา (Optical character recognition technology: OCR technology) เป็นการออกแบบตัวอักษร ตัวเลข หรือสัญลักษณ์ ให้มีรูปแบบเฉพาะตัวที่อ่านได้ด้วยสายตามนุษย์และเครื่องอ่าน โดยทั่วไปจะใช้งานในเชิงพาณิชย์และการธนาคาร



รูปที่ 2.5 รหัสการจดจำสัญลักษณ์ด้วยสายตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนในแต่ละประเภท

ข้อพิจารณา	Barcode	ORC	Voice recognition	Fingerprint	Smartcard	RFID
ความจุข้อมูล	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง	สูงมาก	สูงมาก
เครื่องอ่าน	เที่ยงตรง	เที่ยงตรง	แพง	แพง	เที่ยงตรง	เที่ยงตรง
การอ่านรหัสจากมนุษย์	ได้อย่างจำกัด	อ่านได้ง่ายมาก	ง่าย	ยากมาก	ไม่มีทางทำได้	ไม่มีทางทำได้
ผลกระทบจากความสกปรก	มีผลต่อการอ่านมาก	มีผลต่อการอ่านมาก	-	-	มีผลถ้าอยู่บนหน้าสัมผัส	ไม่มีผล
ผลกระทบจากการอ่านผิดมุม	มีบ้างเล็กน้อย	มีบ้างเล็กน้อย	-	-	ต้องวางให้ถูกทิศทาง	ไม่มีผล
อายุการใช้งาน การฉีกขาดหรือการเสื่อมสภาพ	จำกัด	จำกัด	-	-	ขึ้นกับสภาพหน้าสัมผัส	ไม่มีผล
มูลค่าเครื่องอ่าน	ต่ำ	ปานกลาง	สูงมาก	สูงมาก	ต่ำ	ปานกลาง
การลักลอบปลอมแปลง	ทำได้ง่าย	ทำได้ง่าย	ทำได้โดยการบันทึกเสียง	ไม่มีทาง	ไม่มีทาง	ไม่มีทาง
ความเร็วในการอ่านข้อมูล	ช้า	ช้า	ช้ามาก	ช้ามาก	ช้า	เร็วมาก
ระยะห่างสูงสุดระหว่างตัวส่งกับตัวรับ	0-50 เซนติเมตร	เป็นการสแกนน้อยกว่า 1 เซนติเมตร	0-50 เซนติเมตร	ต้องสัมผัสโดยตรง	ต้องสัมผัสโดยตรง	0-5 เมตร โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ย่านไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีจุดเด่น ที่สำคัญคือ สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วแบบไร้การสัมผัสกับพื้นผิววัตถุ สามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่าง สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพทัศนวิสัยไม่ดี รวมทั้งทนต่อความเปียกชื้นและทนต่อแรงกระแทก โดยรวมแล้วเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีข้อดีมากกว่าการสื่อสารแบบระบุตัวตนประเภทอื่นๆ จึงทำให้เป็นที่น่าสนใจในการนำเอาเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกับมนุษย์เพื่อระบุตัวตนระบุตำแหน่งของแต่ละบุคคล

2.3 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ประวัติการเริ่มต้นของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุนั้น ย้อนกลับไปถึงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งประเทศกลุ่มพันธมิตร และกลุ่มอักษะ ได้มีการใช้เรดาร์ที่ถูกสร้างโดย เซอร์ โรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ ในการตรวจจับและเตือนเครื่องบินที่กำลังเข้ามา แต่ปัญหาคือไม่สามารถแยกแยะระหว่างเครื่องบินรบได้ว่าเป็นของฝ่ายไหน โดยทางฝั่งเยอรมันค้นพบว่าเมื่อนักบินบินหมุนตัวแล้วจะทำให้มีการสะท้อนสัญญาณเรดาร์ที่เปลี่ยนไป ทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องบินที่เข้ามาเป็นของฝ่ายเยอรมัน ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุแบบที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นวิทยุ (แบบถูกกระตุ้น)

เมื่อเทคโนโลยีเรดาร์มีการพัฒนาขึ้น นักบินสามารถที่จะสื่อสารระหว่างเครื่องบินกับสถานีภาคพื้นดินหรือระหว่างนักบินด้วยกัน ที่เราเรียกว่าระบบแยกแยะระหว่างมิตรกับศัตรู หรือ Identification friend or foe (IFF) โดยเมื่อเครื่องบินได้รับสัญญาณเรดาร์จากภาคพื้นดินหรือระหว่างนักบิน ตัวเครื่องบินจะส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ตอบกลับ ไปทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องบินของฝ่ายไหน ซึ่งถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุแบบวัตถุประสงค์ส่งสัญญาณจากตัวเอง (แบบกระตุ้นเอง)

ยุคเริ่มแรกของการใช้ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในเชิงพาณิชย์ได้แก่ระบบกันขโมย หรือเรียกว่า Electric article surveillance (EAS) ในห้างสรรพสินค้า ซึ่งตัวสินค้าจะมีการติดระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุแบบ 1 บิต โดยจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เมื่อสินค้ามีการชำระเงินตัวบิตจะถูกตั้งค่าเป็น 0 ทำให้สามารถนำออกร้านได้ แต่ในกรณีไม่มีการชำระเงินเมื่อสินค้าผ่านประตูเครื่องตรวจ บิตจะเป็น 1 ทำให้สัญญาณเตือนดังขึ้นมา

ทางด้านการพัฒนาได้มีการให้สิทธิบัตรของอเมริกาเกี่ยวกับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุอันแรกให้กับ มาริโอ วอ คาร์ดูโล เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับตัวส่งสัญญาณแบบกระตุ้นเอง เมื่อวันที่ 23 มกราคม ค.ศ. 1973 ในช่วงปี ค.ศ. 1970s รัฐบาลอเมริกาได้มีการพัฒนาใช้สำหรับการติดตามวัตถุนิวเคลียร์ให้กับกระทรวงพลังงาน ต่อมาทีมนักวิทยาศาสตร์นี้ได้ออกมาตั้งบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพัฒนาเป็นระบบเก็บค่าทางด่วนอัตโนมัติ ในขณะที่เดียวกันกระทรวงเกษตรของสหรัฐก็ได้พัฒนามาใช้ในเชิงพาณิชย์ เพื่อแยกแยะวัว

ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัทไอบีเอ็มได้พัฒนาและจดสิทธิบัตรการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency: UHF) คือย่านความถี่ตั้งแต่ 300 เมกะเฮิร์ต ถึง 3 กิกะเฮิร์ต แต่เมื่อบริษัทไอบีเอ็มมีปัญหาด้านการเงินได้ขายสิทธิบัตรให้กับบริษัทอินเตอร์เนค ซึ่งช่วงนั้นการใช้งานยังไม่แพร่หลายนักเนื่องจากอุปกรณ์ยังมีราคาแพงมาก

การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในย่านความถี่สูงยิ่งได้รับความสนใจอีกครั้งในปี ค.ศ. 1999 เมื่อองค์กร Uniform code council (UCC) องค์กร EAN international บริษัทโปรเคอร์แกมเบอร์ และบริษัทจิลเลท ได้ร่วมกันก่อตั้งศูนย์การสื่อสารแบบระบุตัวตนแบบอัตโนมัติ (Auto ID) ขึ้น ในช่วงปี ค.ศ. 1999 – 2003 การสื่อสารแบบระบุตัวตนแบบอัตโนมัติได้รับการสนับสนุนจากบริษัทเอกชนจำนวนมากและได้มีการขยายตลาดไปยังประเทศออสเตรเลีย อังกฤษ สวิตเซอร์แลนด์ ญี่ปุ่น และจีน จึงมีการพัฒนามาตรฐานใหม่ที่เรียกว่ารหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

ในปัจจุบัน RFID มีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจ ติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้ายซึ่งถูกฝังหรือติดไว้กับวัตถุต่างๆ เช่น หีบห่อ กล่อง หรือบรรจุภัณฑ์ของสินค้า ทำให้สามารถติดตามได้ว่าสินค้านั้นคืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต และผลิตเมื่อใด โดยไม่จำเป็นต้องสัมผัส (Contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อน แต่สามารถทำงานได้โดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายผ่านทางคลื่นวิทยุแทน

2.4 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.4.1 องค์ประกอบหลักที่สำคัญ

ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเป็นเทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

ตัวส่งสัญญาณ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไปยังสายอากาศทางด้านรับ และอ่านข้อมูลของวัตถุที่ส่งกลับมาพร้อมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ผลที่ได้ของสัญญาณจะเก็บไว้ในเครื่องอ่านเพื่อที่จะถ่ายโอนข้อมูลไปในระบบฐานข้อมูลในภายหลัง หรือส่งไปในเวลานั้นเลยก็ได้

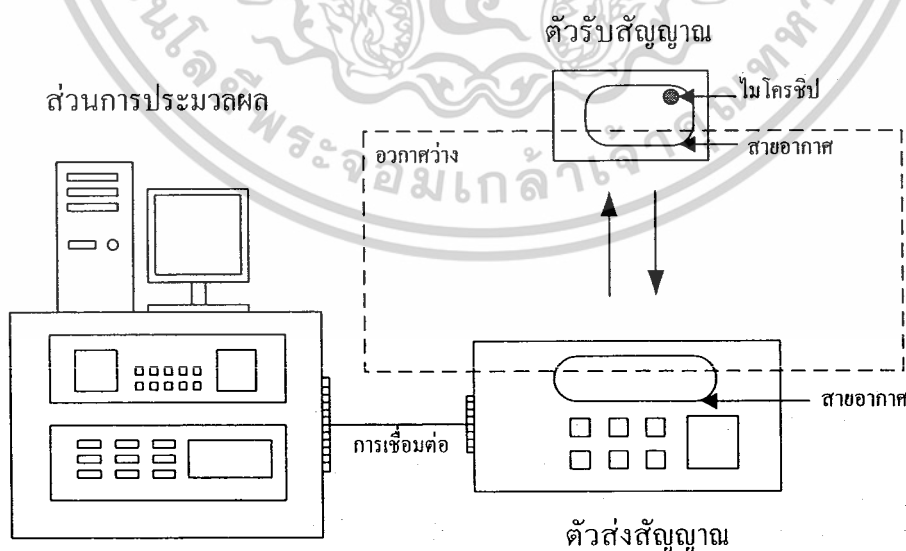
ตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะประกอบไปด้วย ไมโครชิป ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุในรูปสัญญาณดิจิทัล และเสาอากาศ ทำหน้าที่เป็นตัวรับและส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุกลับไปยังเครื่องอ่านพร้อมทั้งข้อมูลของวัตถุภายในไมโครชิป โดยไมโครชิปขนาดเล็กจะบรรจุโปรแกรมที่มีข้อมูลหรือตัวเลขของผลิตภัณฑ์ คน สัตว์ สิ่งของ ไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งสามารถวางไว้ในหรือบน

พื้นผิวของผลิตภัณฑ์หรือในภาชนะบรรจุทำหน้าที่บันทึกข้อมูลของวัตถุที่ต้องการระบุตัวตน เราสามารถแบ่งชนิดของตัวรับสัญญาณออกเป็น 2 แบบคือ

- ตัวรับสัญญาณแบบกระตุ้นเอง (Active receiver) ตัวรับสัญญาณชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายใน เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้ทำงานโดยปกติ เราจะสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้ตัวรับสัญญาณแบบกระตุ้นเองมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราสามารถออกแบบวงจรให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปีตัวรับสัญญาณชนิดนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลได้ไกลกว่าแท็กชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แต่ก็มีข้อเสียอยู่ที่ ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

- ตัวรับสัญญาณแบบถูกกระตุ้น (Passive receiver) จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายใน แต่จะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวส่งสัญญาณ จึงทำให้ตัวรับสัญญาณแบบถูกกระตุ้นมีน้ำหนักเบาว่าตัวรับสัญญาณแบบกระตุ้นเอง ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่มีข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ และตัวอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวสูง มักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนอีกด้วย

ส่วนสุดท้ายคือการเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูล ประกอบด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรมดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูลระบบคอมพิวเตอร์ต่างๆ เพื่อทำการบ่งชี้ข้อมูล ประมวลผล และแสดงข้อมูลตามต้องการ



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบหลักในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 หลักการทำงานเบื้องต้น

เริ่มแรกตัวส่งสัญญาณจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีตัวรับสัญญาณเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

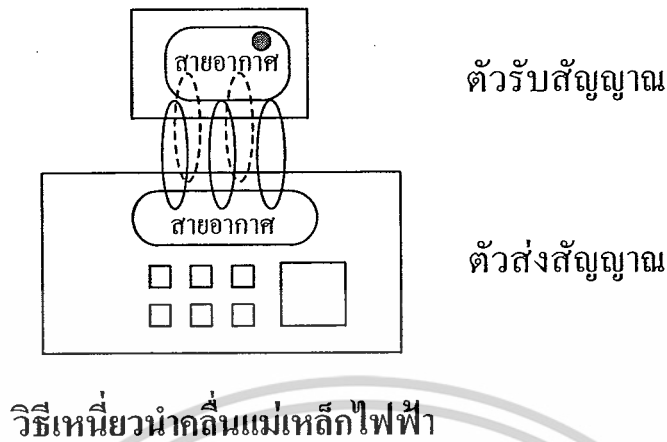
เมื่อมีตัวรับสัญญาณเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัวรับสัญญาณจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวส่งสัญญาณ จากนั้นตัวรับสัญญาณก็จะเริ่มทำงาน และส่งข้อมูลในหน่วยความจำของไมโครชิปที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในตัวรับสัญญาณ โดยคลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากตัวรับสัญญาณจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

สุดท้ายตัวส่งสัญญาณจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.4.3 การรับส่งข้อมูลระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ

2.4.3.1 วิธีการสื่อสารระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ

ในการสื่อสารข้อมูลของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ นั้นจะสื่อสารกันแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวส่งสัญญาณเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling) กับวิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วิธีการสื่อสารระหว่างตัวรับสัญญาณกับตัวส่งสัญญาณ

2.4.3.2 รูปแบบของการสื่อสารระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ

เราแบ่งรูปแบบของการสื่อสารตามทิศทางของการสื่อสารหรือจำนวนของช่องสื่อสารได้ 3 แบบ คือ

แบบทิศทางเดียว (Simplex; SPX) คือ ฝ่ายหนึ่งจะส่งเพียงอย่างเดียวและอีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นฝ่ายรับเพียงอย่างเดียว การสื่อสารแบบทิศทางเดียวนี้นี้ต้องการช่องสื่อสารเพียง 1 ช่อง ตัวอย่าง เช่น การส่งวิทยุกระจายเสียง (Broad casting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบกึ่งสองทาง (Half duplex: HDX) เป็นการสื่อสารแบบ 2 ทางแต่สลับเวลากันในขณะที่ฝ่ายหนึ่งเป็นฝ่ายส่ง อีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นฝ่ายรับ การสื่อสารแบบกึ่งสองทางนี้ต้องการช่องสื่อสารเพียงช่องเดียว ตัวอย่าง เช่น วิทยุโทรคมนาคม

แบบสองทาง (Full duplex; FDX) เป็นการสื่อสารแบบ 2 ทิศทาง โดยที่ทั้ง 2 ฝ่ายสามารถรับและส่งได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน การสื่อสารแบบ 2 ทิศทางนี้ ต้องการช่องสื่อสาร 2 ช่อง ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์ และ โทรศัพท์เคลื่อนที่

2.4.3.3 เทคนิคการมอดูเลต

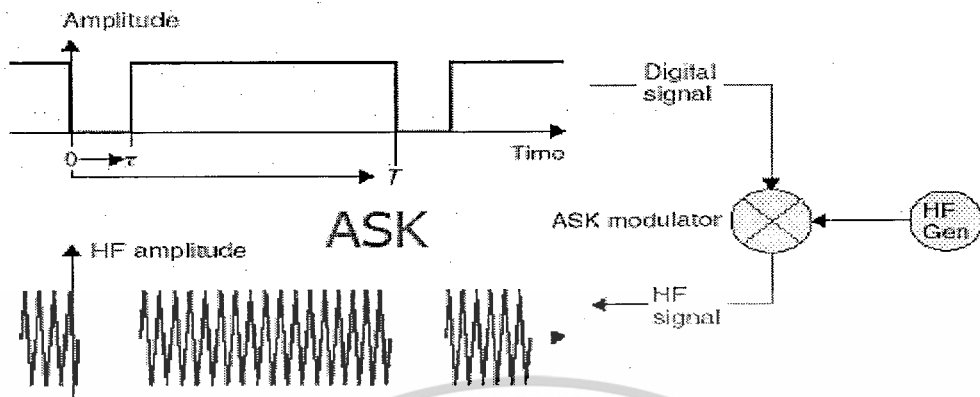
ความถี่ของข้อมูลหรือสัญญาณ โดยทั่วไปมักจะมีค่าต่ำ การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำจะกระทำไม่ได้ไม่ดี เพราะสัญญาณความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นมาก เราสามารถที่จะเลื่อนความถี่ของสัญญาณให้มีค่าสูงขึ้นได้ โดยการมอดูเลตสัญญาณที่ต้องการจะส่งกับคลื่นพาห้ (Carrier) ความถี่สูง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการมอดูเลตคือกระบวนการที่ทำให้สัญญาณที่จะส่ง (Modulating signal) มีคุณสมบัติของคลื่นพาห้ (ขนาด ความถี่ และเฟส) เปลี่ยนแปลงไปตามสถานะของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตเรียกว่าสัญญาณที่ถูกมอดูเลต (Modulated signal) โดยการมอดูเลตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

การมอดูเลตแบบอนาลอก (Analog)

- การมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude modulation; AM) ขนาดของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณ
- การมอดูเลตความถี่ (Frequency modulation; FM) และเฟสมอดูเลชัน (Phase modulation; PM) ความถี่ของคลื่นพาห้ หรือเฟสของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณ ลักษณะของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้ว ของเฟริควนซีมอดูเลชันกับเฟสมอดูเลชันจะคล้ายกัน
- การมอดูเลตพัลส์ (Pulse Modulation; PM) คลื่นพาห้จะเป็นพัลส์ สัญญาณจะทำให้คุณสมบัติต่างๆของพัลส์เปลี่ยนแปลงไป เช่น ขนาดของพัลส์ ความกว้างของพัลส์ เป็นต้น

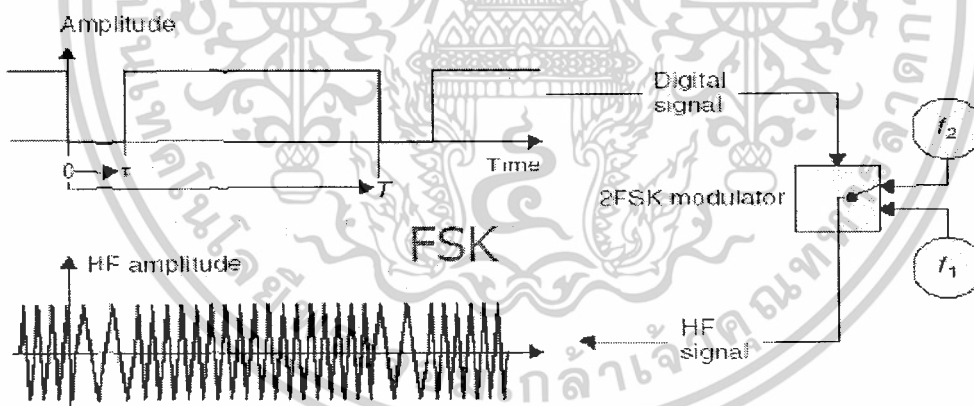
การมอดูเลตแบบดิจิทัล (Digital)

- การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude shift keying: ASK) ทำการมอดูเลตสัญญาณแบบไบนารีเข้ากับแอมพลิจูดของคลื่นพาห้ที่เป็นอนาลอกโดยตรง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณ AM เพียงแต่มีระดับแรงดันแค่ 2 ระดับ คือเมื่อข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห้จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห้จะตกลงกว่าปกติ



รูปที่ 2.8 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด

- การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency Shift Keying: FSK) โดยวิธีนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะระหว่าง 2 ความถี่ขึ้นอยู่กับสถานะของข้อมูล 0 กับ 1 โดยขนาดของแอมพลิจูดจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นพาหะนั้นจะเปลี่ยนแปลง คือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาหะจะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะต่ำกว่าปกติ

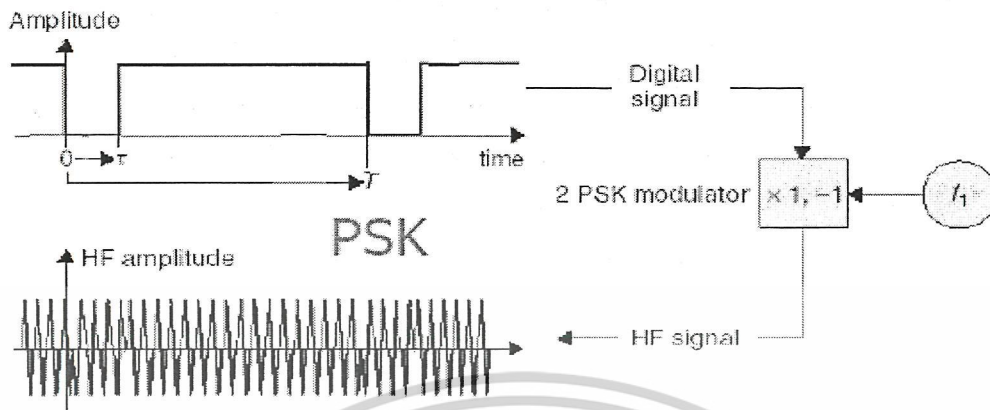


รูปที่ 2.9 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่

- การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying: PSK) หลักการคือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาหะจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ส่วนที่จะเปลี่ยนแปลง คือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยนไป 180 องศาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.10 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส

2.4.4 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวส่งสัญญาณ กำลังส่งของตัวรับสัญญาณ และสภาพแวดล้อม สำหรับการออกแบบสายอากาศของตัวส่งสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ

ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบต่อระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของตัวรับสัญญาณที่จะส่งกลับมายังตัวส่งข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของตัวส่งข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวส่งข้อมูลก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่

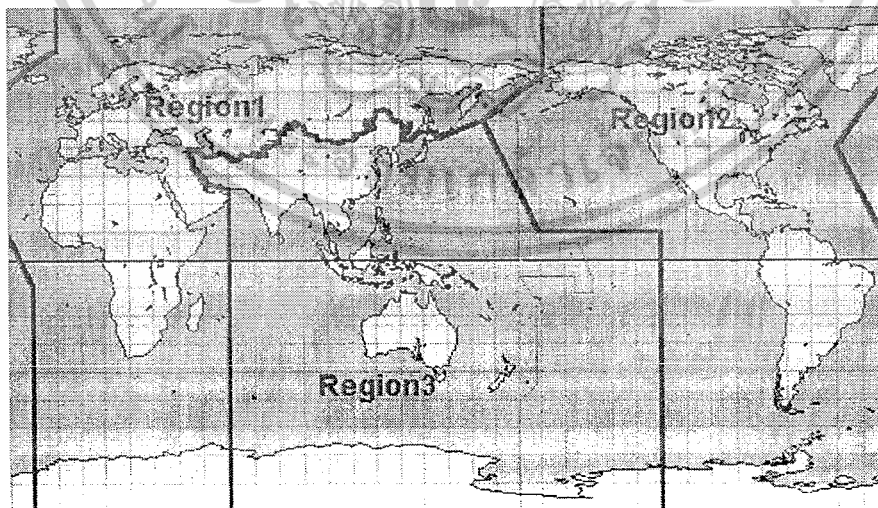
2.4.5 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์ หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิดท์ควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดท์ในช่วง 2.4 - 2.5 กิกะเฮิร์ต ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 เมกะบิตต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ อัตราส่วนของสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (S/N Ratio) ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดท์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.5 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.5.1 ย่านความถี่ที่ใช้งาน

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่ คลื่นพาหะของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

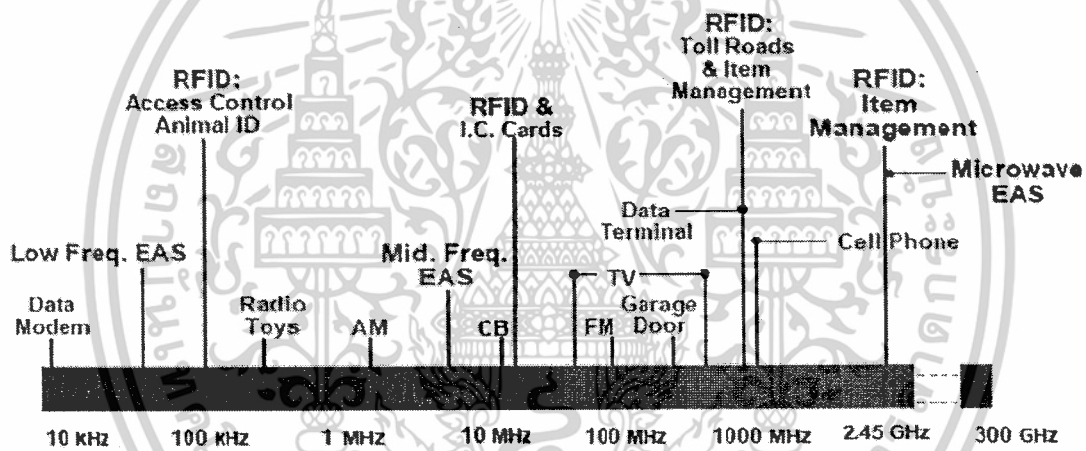


รูปที่ 2.11 บริเวณการแบ่งกลุ่มประเทศสำหรับการกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามความถี่ของคลื่นพาหะส่วนมากนิยมใช้งานกันในย่านความถี่ ISM Band (Industrial scientific medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่หลายประเทศกำหนดไว้สอดคล้องกันในการอนุญาตให้ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สำหรับย่านความถี่ใน ISM Band ที่กำหนดให้ใช้สำหรับระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีด้วยกัน 4 ย่านความถี่คือ

- ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) ต่ำกว่า 150 กิโลเฮิร์ต
- ย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56/27.125 เมกกะเฮิร์ต
- ย่านความถี่สูงมาก (Very high frequency: VHF) 433/868/915 เมกกะเฮิร์ต
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) 2.45/5.8 กิกะเฮิร์ต



รูปที่ 2.12 ย่านความถี่การใช้งานของระบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ย่านความถี่ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
<p>ย่านความถี่ต่ำ</p> <p>100-500 kHz</p> <p>ความถี่มาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปคือ 125 kHz</p>	<p>-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้</p> <p>-ต้นทุนไม่สูง</p> <p>-ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ</p> <p>-ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก</p>	<p>-Access Control</p> <p>-ปลุสตัดว์</p> <p>-ระบบคงคลัง</p>
<p>ย่านความถี่กลาง</p> <p>10-15 MHz</p> <p>ความถี่มาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปคือ 13.56 MHz</p>	<p>-ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง</p> <p>-ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต</p> <p>-ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง</p> <p>-ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก</p>	<p>-Access Control</p> <p>-สมาร์ทการ์ด</p> <p>-ห้องสมุด</p>
<p>ย่านความถี่สูง</p> <p>433/868/915 MHz</p>	<p>-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร)</p> <p>-ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง</p> <p>-ราคาแพง</p>	<p>-รถไฟฟ้า</p> <p>-ระบบเก็บค่าผ่านทาง</p>
<p>ย่านความถี่ไมโครเวฟ</p> <p>2.4-5.8 GHz</p>	<p>-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร)</p> <p>-ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง</p> <p>-ราคาแพง</p>	<p>-รถยนต์รถไฟฟ้า</p> <p>-ระบบเก็บค่าผ่านทาง</p>

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบย่านความถี่ต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ย่านความถี่	< 135 kHz	13.56 MHz	868/915 MHz, 2.45/5.8 GHz
ชนิดของแท็กส์	Passive Tag (ไม่มีแบตเตอรี่)		Active Tag (มีแบตเตอรี่)
การเหนี่ยวนำ	การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า		การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
กำลังส่ง	72 dB μ A/m	42 dB μ A/m	10 ถึง 100 mW, 500 mW, 4W
ชนิดหน่วยความจำ	EEPROM		SRAM มีแบตเตอรี่
ระยะอ่าน	0.5 – 1 เมตร		4-15 เมตร
อัตรารับส่งข้อมูล	ต่ำ	สูง	
ขนาดสายอากาศ	ใหญ่	เล็ก	
กำลังทะลุทะลวงวัตถุ	ดี	ไม่ดี	
สามารถผ่านความชื้น	ต่ำ	สูง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 มาตรฐานในการใช้งาน

มาตรฐานของการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีหลายมาตรฐาน ได้แก่ American national standards Institute (ANSI), Automotive industry action group (AIAG), European article numbering association international, European telecommunications standards institute (ETSI), European radio communications office (ERO), American society for testing and materials (ASTM) และ Electronic product code global (EPCglobal) เป็นต้น โดยมาตรฐานหลักที่นิยมใช้กันคือ International Organization of standard (ISO) (<http://www.ISO.org>) โดยได้กำหนดมาตรฐานไว้ 4 ด้านดังนี้

- มาตรฐานด้านเทคโนโลยี (Technology standard)

ISO/IEC 18001 เทคโนโลยีด้านข่าวสารสำหรับการจัดการในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ แบ่งออกเป็น 6 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศสำหรับความถี่ที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

ส่วนที่ 2 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 135 กิโลเฮิร์ต

ส่วนที่ 3 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่ 13.56 เมกะเฮิร์ต

ส่วนที่ 4 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต

ส่วนที่ 5 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่ 5.80 กิกะเฮิร์ต

ส่วนที่ 6 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency:

UHF)

- มาตรฐานด้านรูปแบบข้อมูล (Data format standard)

ISO/IEC 15418 การเจาะจงชุดของข้อมูลและแอปพลิเคชันสำหรับจุดประสงค์การเข้ารหัสข้อมูล รวมถึงการระบุงองค์การรับผิดชอบสำหรับการผู้ดูแลรักษา

ISO/IEC 15434 เทคโนโลยีด้านข่าวสารแบบเฉพาะเจาะจงในการส่งผ่านสำหรับการสื่อสารที่มีความจุสูง

ISO/IEC 15459 ว่าด้วยมาตรฐานเกี่ยวกับเทคนิค ทฤษฎี และมาตรฐานเกี่ยวกับขั้นตอนกระบวนการส่งข้อมูล

- มาตรฐานด้านการทดสอบ (Conformance standard)

ISO/IEC 18047 โครงสร้างของอุปกรณ์การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุสำหรับการทดสอบ

- มาตรฐานด้านการใช้งาน (Application standard) ปัจจุบันมีด้วยกันหลายมาตรฐาน ได้แก่

ISO 10374 มาตรฐานการขนส่งสินค้าแบบระบุตัวตนอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISO 11785 มาตรฐานการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้กับสัตว์
 ISO 18185 มาตรฐานการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุสำหรับอุปกรณ์
 อิเล็กทรอนิกส์

2.5.3 การอนุญาตใช้งานในประเทศไทย

ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 10 ง ลงวันที่ 24 มกราคม 2549 ว่าหากผู้ผลิต ผลิตตัวส่งและตัวรับสัญญาณ ที่ใช้ กำลังส่งต่ำกว่า 1 วัตต์ ถือว่าไม่ต้องขออนุญาต แต่ถ้าอยู่ระหว่าง 1-4 วัตต์ต้องขออนุญาต และถ้า กำลังส่งสูงกว่า 4 วัตต์ คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติต้องพิจารณาอีกครั้งว่าจะเกิดการรบกวนคลื่นอื่น ๆ หรือไม่ การใช้อุปกรณ์ในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน หากก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรง ต่อการใช้ความถี่วิทยุของข่ายสื่อสารวิทยุคมนาคมอื่นในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ผู้ใช้ต้องระงับการใช้อุปกรณ์ในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นทันที

ส่วนใบอนุญาตจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ใบอนุญาตนำเข้าเพื่อใช้งานในประเทศไทย และใบอนุญาตเพื่อผลิตและส่งออก ซึ่งได้ให้ศูนย์คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National electronics and computer technology center: NECTEC) ไปศึกษาถึงการสนับสนุนเอกชนเพื่อผลิตตัวส่งและตัวรับสัญญาณ ส่วนสำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ (Software industry promotion agency: SIPA) จะศึกษาแนวทางสนับสนุนการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุนี้

2.6 การประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

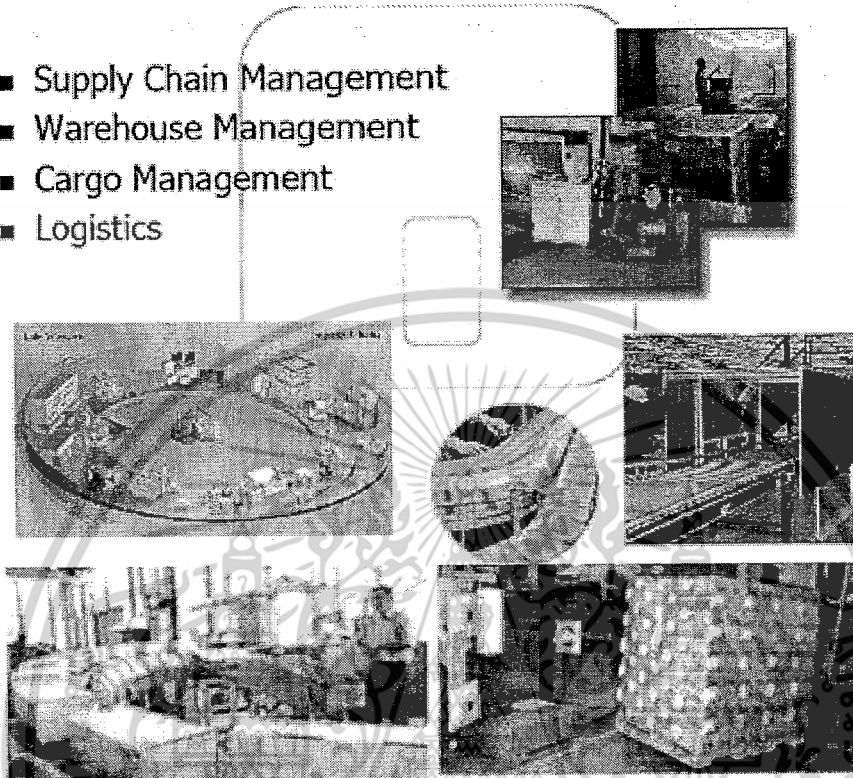
2.6.1 การใช้งานภาคอุตสาหกรรม

วงการอุตสาหกรรมม โดยเฉพาอย่างยิ่งในโรงงานหรือสายงานการผลิตต่างๆ เป็นอีกกลุ่มเป้าหมายหนึ่งที่เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเข้าไปมีบทบาทเพิ่มประสิทธิผลให้เป็นอย่างมาก โดยจะมีความเที่ยงตรงและลดความคลาดเคลื่อนของสินค้าในสายงานการผลิตให้มีความแตกต่างระหว่างชิ้นงานน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังช่วยในการระบุรายละเอียดและประวัติของสินค้าในแต่ละครั้งที่ผลิตด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Supply Chain Management / Logistics

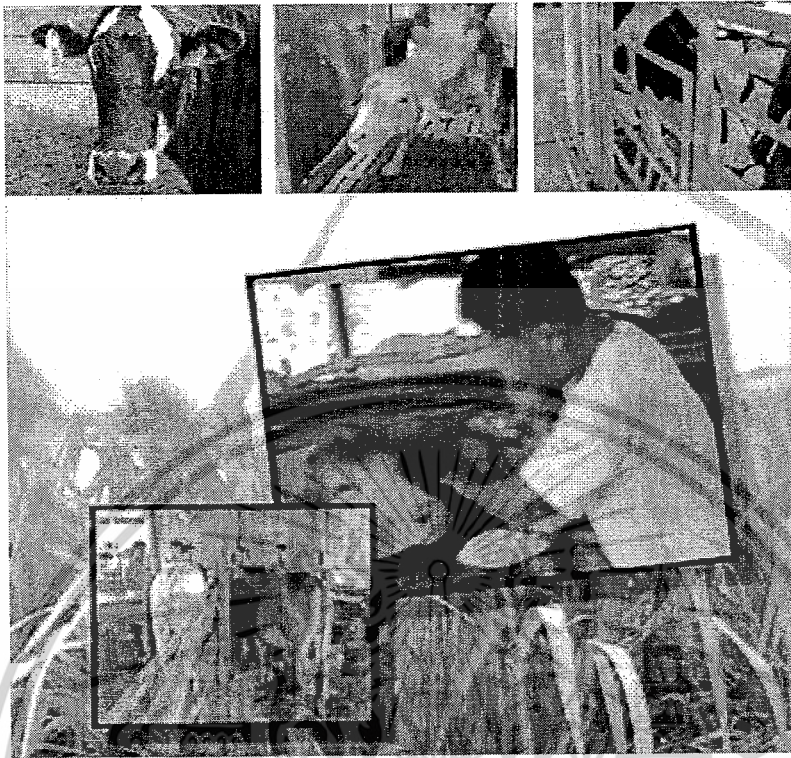
- Supply Chain Management
- Warehouse Management
- Cargo Management
- Logistics



รูปที่ 2.13 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้งานในอุตสาหกรรม

2.6.2 การใช้งานด้านการปศุสัตว์

ปัจจุบันมีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ชิ้นเล็กๆ สำหรับติดหรือฝังไว้กับตัวสัตว์เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบข้อมูลต่างๆ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ตรวจสอบแหล่งที่มาและแสดงสายพันธุ์ของสัตว์ ทั้งนี้มีการกำหนดมาตรฐานการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณตามข้อกำหนด ISO 11784-5 โดยลักษณะการติดตั้งตัวรับสัญญาณไว้กับสัตว์แสดงดังรูปที่ 2.14

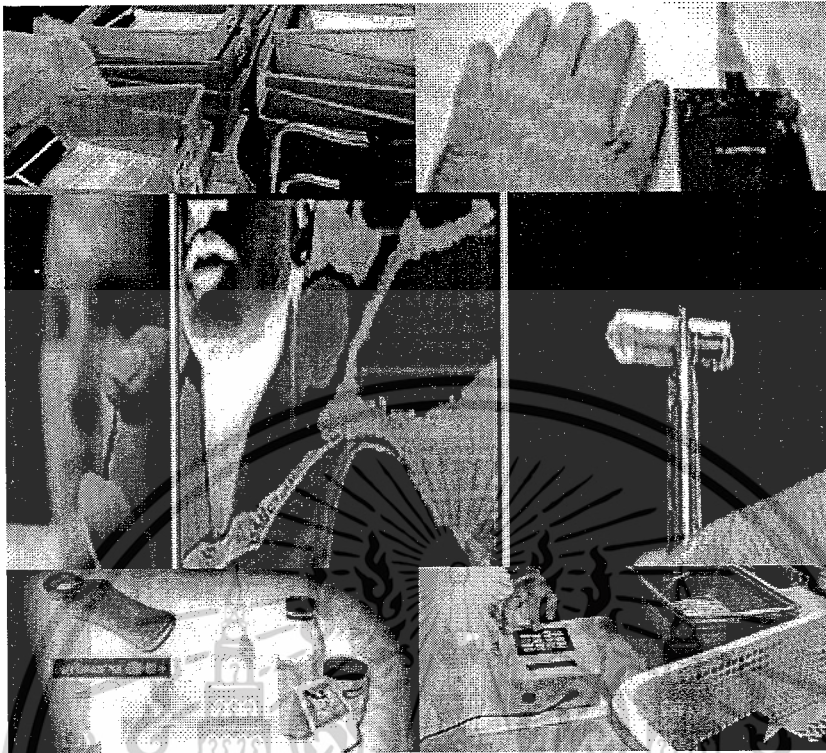


รูปที่ 2.14 การตัดข้าวรับสัญญาณไว้กับสัตว์แต่ละชนิด

2.6.3 การใช้งานในวงการแพทย์

มีการใช้งานสำหรับทำทะเบียนเครื่องมือแพทย์ที่มีราคาแพง ทำให้สามารถตรวจสอบการเก็บรักษาเครื่องมือแพทย์ได้สะดวกรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้ในการผลิตสุกษณ์ที่ยาเพื่อตรวจสอบยาปลอมได้ เป็นการป้องกันความสูญเสียของผู้ผลิตจากสินค้าเลียนแบบ และป้องกันไม่ให้ผู้ป่วยได้รับยาที่ไม่มีคุณภาพหรือยาปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

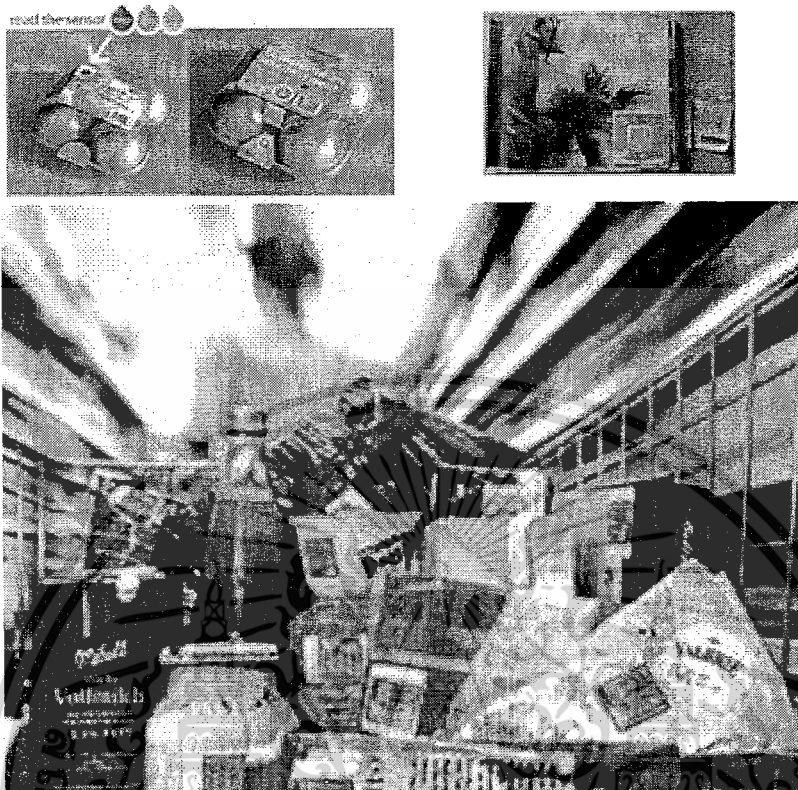


รูปที่ 2.15 ตัวอย่างอุปกรณ์การแพทย์กับฉลากยาที่ติดตัวรับสัญญาณ

2.6.4 การใช้งานสำหรับบรรจุกัมมันต์

ในกิจการที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งบรรจุกัมมันต์จำนวนมากๆ การนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาประยุกต์ใช้จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถเก็บรวบรวมข้อมูล เปลี่ยนแปลงรายละเอียด และประวัติของบรรจุกัมมันต์ได้ดีกว่าเทคโนโลยีรหัสแบบแท่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มาตั้งแต่ดั้งเดิม ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลและบริหารจัดการระบบฐานข้อมูลให้กับกิจการได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

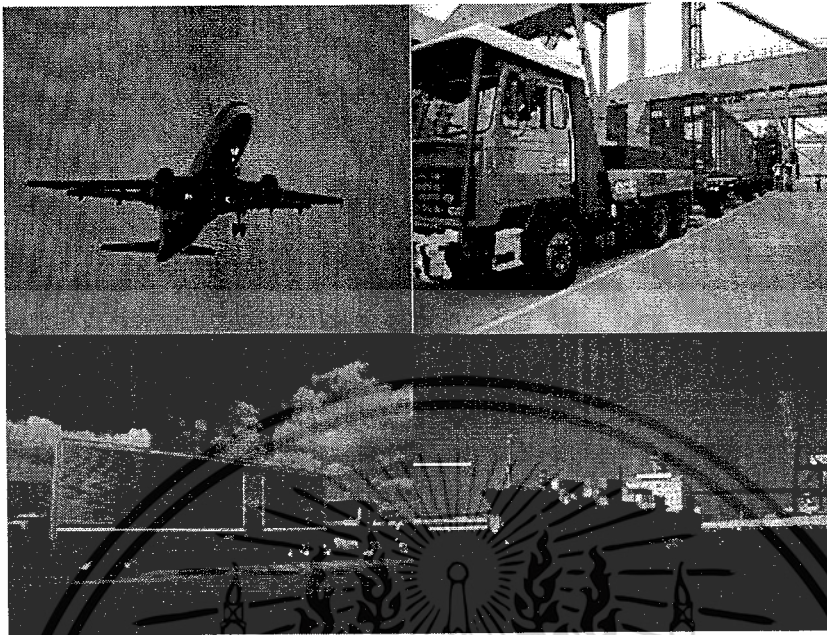


รูปที่ 2.16 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ติดตัวรับสัญญาณ

2.6.5 การใช้งานด้านการคมนาคม

ระบบบริหารจัดการการจราจรและขนส่งได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้งาน ซึ่งมีทั้งแบบตัวรับถูกกระตุ้นและตัวรับกระตุ้นเองจะสามารถอ่านเขียนข้อมูลได้ในระยะไกล ช่วยให้การจัดการเรื่องระบบจราจรและการขนส่งได้ข้อมูลที่รวดเร็วทันต่อเหตุการณ์สามารถวิเคราะห์สภาพปัญหาในระบบการจราจรได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีการนำไปคิดไว้บนแผ่นป้ายทะเบียน เพื่อระบุหมายเลขทะเบียนรถยนต์ในระยะไกล ทำให้สามารถระบุข้อมูลจากรถยนต์แต่ละคันรวมทั้งยังสามารถจ่ายค่าผ่านทางได้ โดยระบบนี้มีต้นแบบจากบริษัท Sirit Inc. สหรัฐอเมริกา ส่วนในประเทศไทยได้มีการนำมาใช้ร่วมกับรถไฟฟ้ามหานคร

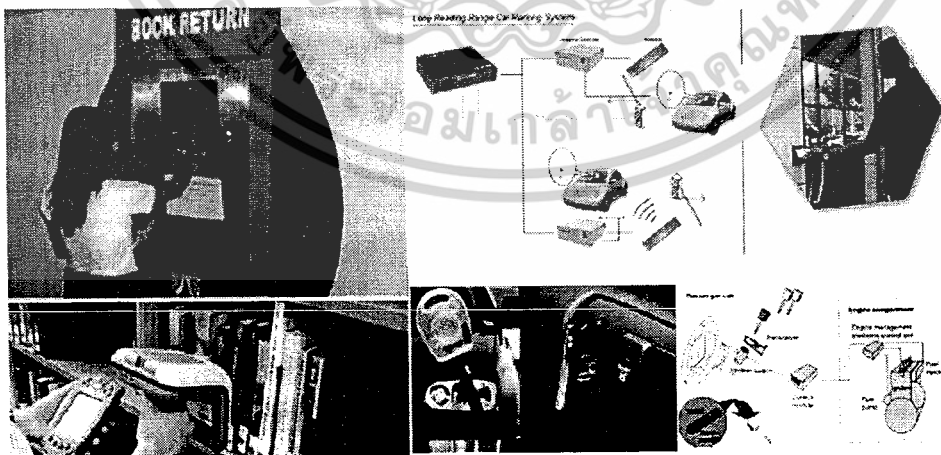
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การคมนาคมที่มีการนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้

2.6.6 การใช้งานด้านการรักษาความปลอดภัย

เนื่องจากการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีความเที่ยงตรง มีขนาดเล็ก ราคาถูก และยังสามารถใช้ไกลพอสมควร จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย ตัวอย่างเช่น ระบบการจัดการหนังสือภายในห้องสมุด กุญแจอัจฉริยะ-ตลอดจนระบบการจัดการเข้า-ออกสถานที่ของรถยนต์และพนักงาน เป็นต้น



รูปที่ 2.18 การนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนไปใช้ด้านการรักษาความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 บทสรุป

ในยุคของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ทำให้หลายองค์กรพยายามที่จะนำเอาระบบการสื่อสารที่สะดวก รวดเร็ว และทันสมัยมาประยุกต์ใช้กับองค์กรของตนเอง ตลอดจนการพยายามที่จะลดต้นทุนการซื้อเทคโนโลยีต่างๆ จึงทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการประยุกต์เทคโนโลยีนี้มาใช้งานมีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกันแต่อยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน นั่นคือการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการระบุเอกลักษณ์ระบุตัวตนของคน สัตว์ และสิ่งของแทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่น ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน องค์ประกอบ หลักการทำงาน รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้งานไว้พอสังเขป เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อไป



บทที่ 3

ทฤษฎีและการวิเคราะห์การสูญเสียในการส่งผ่านของการ สื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

3.1 กล่าวนำ

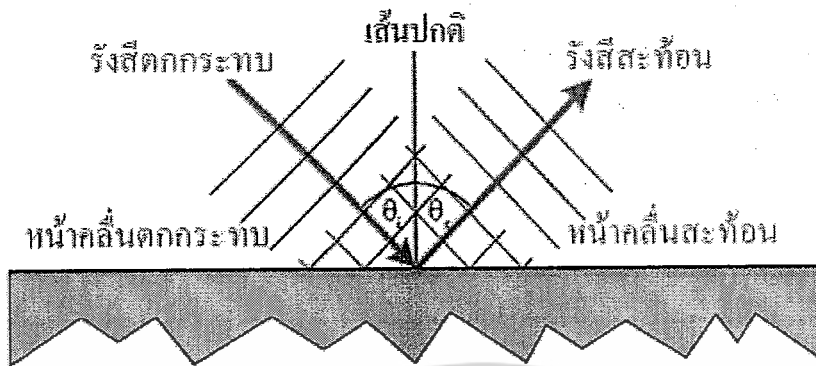
ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้นมีปัจจัยต่างๆที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับของสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน ความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้ หรือเวลาประวิงที่เกิดขึ้น เมื่อมีการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัด จากนั้นจึงนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่างๆ และคำนวณค่าสัญญาณตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยขั้นตอนการตรวจสอบนี้สำคัญพอๆ กับขั้นตอนการทดลองวิจัยเพื่อทำการวัด จึงจำเป็นต้องศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะเพื่อให้ได้ผลการทดลองวิจัยที่ถูกต้องซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์หมีดังนี้

3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นวิทยุ

คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ 4 ประการ ดังนี้

3.2.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

การสะท้อนของคลื่น หมายถึง การเปลี่ยนทิศทางการเดินทางของคลื่นโดยทันทีทันใดเมื่อคลื่นนั้นเดินทางตกกระทบที่ผิวของตัวกลางนั้นคือคลื่นกระดอนออกจากผิวสะท้อนของตัวกลาง ในลักษณะเดียวกับแสงสะท้อนจากกระจกเงา

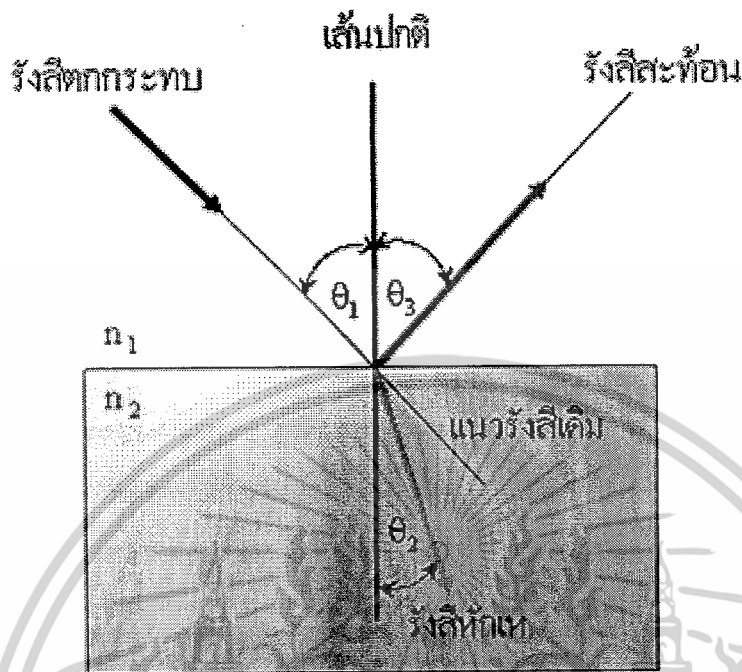


รูปที่ 3.1 การสะท้อนของคลื่นวิทยุ

จากรูปที่ 3.1 แสดงปรากฏการณ์ของการสะท้อนของคลื่นวิทยุ สังเกตได้ว่ามุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

3.2.2 การหักเหของคลื่น (refraction)

การหักเหของคลื่นวิทยุ เกิดขึ้นเมื่อคลื่นวิทยุเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าไม่เหมือนกัน โดยที่มุมตกกระทบ ณ ตัวกลางที่สองไม่เป็นมุมฉาก พลังงานคลื่นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับเข้าไปยังตัวกลางที่หนึ่ง โดยมีมุมตกเท่ากับมุมสะท้อน แต่ยังมีพลังงานคลื่นอีกส่วนหนึ่งเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สอง การเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สองนี้ จะไม่เป็นแนวเส้นตรงต่อไปจากแนวทางเดินในด้านตัวกลางแรก แต่จะหักเหออกไปมากขึ้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวกลางทั้งสอง สาเหตุที่เกิดการหักเหของทางเดินของคลื่นวิทยุ เนื่องจาก ความเร็วของคลื่นวิทยุในตัวกลางที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกันจะไม่เท่ากัน เช่น คลื่นวิทยุจะเดินทางในน้ำบริสุทธิ์จะช้ากว่าเดินทางในอากาศถึง 9 เท่า เป็นต้น



รูปที่ 3.2 การหักเหของคลื่น

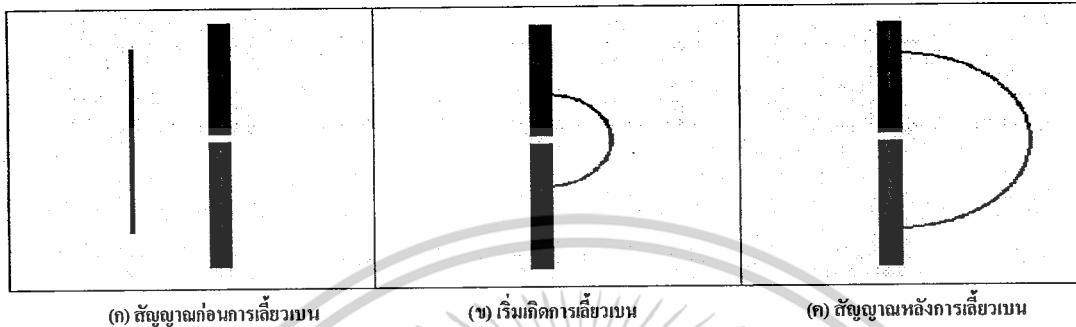
จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำคลื่น (Wave front) ตกกระทบพื้นผิวระหว่างตัวกลางทั้งสองนั้นส่วนของคลื่นที่สัมผัสผิวน้ำก็จะเริ่มเดินทางเข้าไปในน้ำด้วยความเร็วช้าลง ในขณะที่น้ำคลื่นอีกส่วนหนึ่งยังคงอยู่ในอากาศจะเดินทางเร็วกว่า ตัวอย่างคลื่นที่ใช้ติดต่อสื่อสารที่อาศัยการหักเหของคลื่น คือ การสื่อสารในย่านความถี่สูง (HF) ซึ่งอาศัยเพดานไฟฟ้า (Ionosphere) เมื่อกลิ้นวิทยุเดินทางจากพื้นโลกผ่านเข้าไปยังเพดานไฟฟ้าลำคลื่นจะค่อย ๆ หักเหไปเรื่อย ๆ จนในที่สุดคลื่นก็จะกลับออกมาจากเพดาน ไฟฟ้าและกลับมายังพื้นโลกอีก

3.2.3 การแพร่กระจายคลื่น (Diffraction)

การแพร่กระจายคลื่น มีชื่อเรียกได้ต่างๆกันไป เช่น การเลี้ยวเบนของคลื่น หรือ การเบี่ยงเบนของคลื่น การเบี่ยงเบนของคลื่นเกิดขึ้น เมื่อกลิ้นเดินทางผ่านมุมหรือขอบของตัวกลางทึบ ที่คลื่นนั้นไม่สามารถผ่านได้ เช่น คลื่นวิทยุความถี่สูงมากเดินทางผ่านยอดเขาคลื่นนี้มีคุณสมบัติเดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้นถ้าเราลากเส้นตรงจากสายอากาศไปยังยอดเขาส่วนที่อยู่หลังยอดเขาและต่ำกว่าเส้นนี้ลงมาไม่ควรที่จะได้รับคลื่นได้เลย แต่บางส่วนที่อยู่หลังยอดเขาสามารถรับคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงได้ เนื่องจากความถี่สูงขึ้น การเบี่ยงเบนของคลื่นก็ยิ่งลดลง กล่าวคือคลื่นจะเดินทางเป็นแนวเส้นตรงแต่บางส่วนของคลื่นเกิดการกระทบกับสลิตแคบๆ (ยอดเขา) ทำให้คลื่นเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

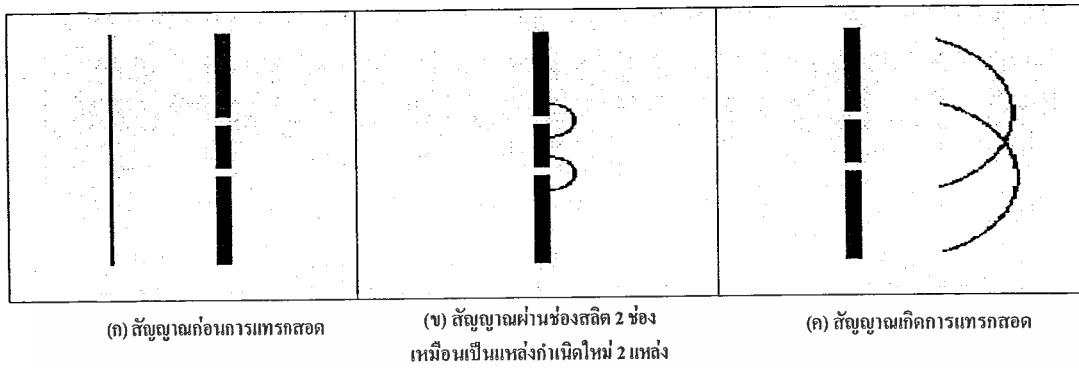
แตกกระจายออกไปโดยรอบเสมือนกับเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่นั้นเอง ดังรูปที่ 3.3 แสดงคลื่นเคลื่อนที่ผ่านช่องสลิตที่แคบ



รูปที่ 3.3 การเลี้ยวเบนของคลื่น

3.2.4 การแทรกสอดของคลื่น (Interference)

การแทรกสอดของคลื่นเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทาง optical ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ 2 คลื่นที่ออกจากแหล่งจ่ายอันเดียวและเดินทางมาด้วยเส้นทางที่ต่างกันมาถึงจุดหนึ่ง พร้อมกัน โดยเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นบ่อยมากในการเดินทางของการแพร่กระจายคลื่นความถี่สูงบนฟ้า (High frequency sky - wave propagation) และในการแพร่กระจายคลื่นไมโครเวฟ (Microwave space - wave propagation) สามารถอธิบายได้โดยการที่คลื่นผ่านช่องสลิตเล็กๆ 2 ช่องที่ใกล้เคียงกัน คลื่นที่ผ่านสลิตนี้จะทำให้เกิดแหล่งกำเนิดคลื่นขึ้นมาใหม่จำนวน 2 แหล่งด้วยกัน ดังนั้นจากหลักการพื้นฐานที่ทราบกันว่าคลื่นเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบๆ แหล่งกำเนิด จึงทำให้คลื่นที่ผ่านสลิตแคบๆ มีลักษณะเป็นวงกลมด้วย เมื่อมีแหล่งกำเนิด 2 แหล่งที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดการแทรกสอดของคลื่นได้เช่นกัน ดังแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การแทรกสอดของคลื่น

3.2.5 คุณสมบัติอื่นๆ ที่เกิดขึ้นกับคลื่นวิทยุ

การดูดกลืน (Absorption)

เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลาง พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในลักษณะที่กลายเป็นความร้อนเรียกว่า คลื่นวิทยุถูกดูดกลืนโดยตัวกลาง ตัวกลางนั้นไม่ว่าจะเป็นตัวนำหรือมีสภาพเป็นตัวต้านทานต่อคลื่นวิทยุ อาคารตึก และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ บนพื้นโลก อุณหภูมิของอากาศ น้ำ และฝุ่นละออง ซึ่งประกอบกันเป็นชั้นบรรยากาศสามารถเป็นตัวดูดกลืนพลังงาน ได้ทั้งสิ้น

การกระจัดกระจาย (Scattering)

เมื่อคลื่นเดินทางตกกระทบบนตัวกลางที่รวมกันเป็นกลุ่ม พลังงานส่วนหนึ่งจะสะท้อน ออกมาและบางส่วนเดินทางหักเหเข้าไปในตัวกลาง ส่วนหนึ่งของพลังงานที่เข้าไปในตัวกลางจะถูกดูดกลืนแปลงรูปเป็นความร้อน และมีอีกส่วนหนึ่งถูกตัวกลางคาย ออกมาในรูปของการกระจายพลังงานคลื่น เนื่องจากคลื่นที่กระจายออกมานี้ไม่ค่อยเป็นระเบียบจึงเรียกว่า คลื่นกระจัดกระจาย การกระจัดกระจายของคลื่นนี้บางครั้งก็นำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ในระบบการสื่อสารที่เรียกว่าการกระจัดกระจาย โทร โฟ สเฟียร์ (Tropospheric Scattering) ซึ่งอาศัยการกระจัดกระจายของคลื่นวิทยุจากกลุ่มอากาศที่หนาแน่นในชั้นบรรยากาศโทร โฟ สเฟียร์ (Troposphere) ซึ่งอยู่ห่างจากผิวโลกประมาณ 10 กิโลเมตร ในบางครั้งการกระจัดกระจายของคลื่นก็มีผลเสีย เช่น การสื่อสารย่านความถี่ไมโครเวฟ เมื่อคลื่นตกกระทบเมฆฝนจะทำให้คลื่นเกิดการสูญเสีย เป็นผลจากการกระจัดกระจายและ การหักเหทำให้คลื่น ไม่สามารถเดินทางไปยังปลายทางได้หมด

การลดทอนพลังงาน (Attenuation)

ของคลื่นจะมีความหมายหรือสาเหตุคล้ายคลึงกับการดูดกลืนคือการลดทอนพลังงานคลื่นอันเนื่องมาจากการถ่างออกของลำคลื่นวิทยุในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการ ถ่างออก

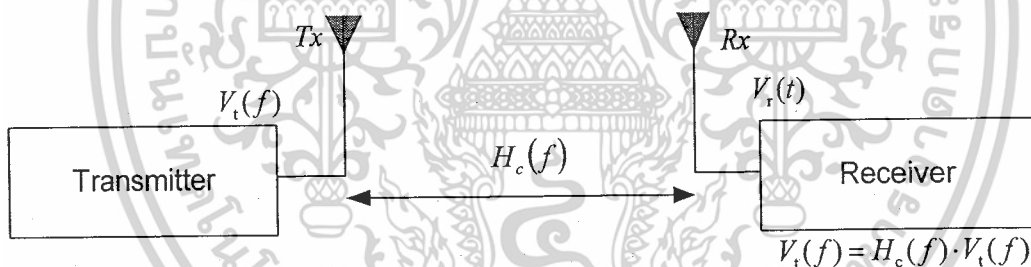
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของลำแสงไฟฟ้า ปรากฏการณ์เช่นนี้จะทำให้ความเข้มของพลังงานคลื่นวิทยุ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ลดลงไปเรื่อยๆ เมื่อคลื่นเดินทางห่างจากจุดกำเนิดออกไปถ้าแหล่งกำเนิดคลื่นมีลักษณะที่สามารถกระจายคลื่นได้ทุกทิศทางรอบตัว คลื่นที่ถูกสร้าง ขึ้นจะลดความเข้มลงไปเรื่อยๆ เมื่อคลื่นเดินทางห่างออกไป โดยความเข้มจะแปรกลับ กับระยะทางกำลังสองนั่นเอง

3.3 ทฤษฎีการส่งผ่านในอวกาศว่างของฟรีส

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาช่องสัญญาณการส่งผ่านในอวกาศว่างภายในอาคาร โดยใช้สมการของฟรีสในการประมาณหาค่าแถบสัญญาณในช่องแคบ (Narrow band) ที่อยู่ในระดับสายอากาศตัวส่งและตัวรับ (Line of sight; LOS) เนื่องจากสมการของฟรีสเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในการสื่อสารแบบไร้สาย โดยสมการฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่างสามารถอธิบายได้ดังนี้

ฟังก์ชันการส่งผ่านในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง แสดงดังสมการที่ 3.1 ซึ่ง $V_t(f)$ และ $V_r(f)$ คือ โวลต์ของทางด้านส่งและด้านรับตามลำดับ



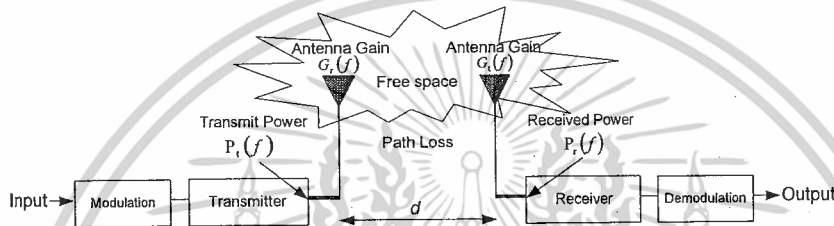
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างของฟรีส

$$H_{\text{Friis}}(f) = \frac{V_r(f)}{V_t(f)} = H_c(f) H_r(f) \cdot H_t(f) \quad (3.1)$$

โดยที่ $H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด
 $H_r(f)$ คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ทางด้านรับ
 $H_t(f)$ คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ทางด้านส่ง

3.4 การวิเคราะห์การส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาสมการของฟรีสม่าใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดย สัญญาณส่งจะเป็นสัญญาณไซน์ (Sine wave) และได้ทำการมอดูเลตทางด้านแอมปริจูด เนื่องจากการมอดูเลตที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนโดยพิจารณาแค่บิต 0 กับ 1 ซึ่งวิธีการมอดูเลตได้กล่าวไว้ใน บทที่ผ่านมา จากนั้นก็ส่งสัญญาณออกจากเสาอากาศส่งผ่านอวกาศว่าง เมื่อสายอากาศทางด้านรับ รับสัญญาณได้ก็จะผ่านการดีมอดูเลตจะได้สัญญาณที่รับได้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

สูตรของฟรีสม่าที่เขียนรูปแบบกำลังงานของสัญญาณ สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$P_r = G_t G_r G_c P_t \quad (3.2)$$

โดยที่

- P_t คือ เป็นกำลังงานทางด้านส่ง
- P_r คือ เป็นกำลังงานทางด้านรับ
- G_t คือ เกณฑ์ของสายอากาศส่ง
- G_r คือ เกณฑ์ของสายอากาศรับ

3.4.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถี ระหว่าง ตัวรับ และตัวส่งสัญญาณ คือ อัตราส่วนของกำลัง ตัวส่งสัญญาณ และกำลังของตัวรับสัญญาณ ปกติจะแสดงออกมาใน หน่วย เดซิเบล (dB) ซึ่งรวม ไป ถึง การสูญเสียเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยาระหว่าง การแพร่กระจายคลื่น ซึ่งทั้งหมดอยู่ในการ ส่ง สัญญาณและรับสัญญาณ ในกรณีนี้ ช่องสัญญาณขนาดใหญ่ก็จะเกิดการจางหายของสัญญาณ หรือ การเคลื่อนที่ของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถีจะมีมากขณะที่ทำการวัดโดยตรงจนถึงการสูญเสีย แบบต่างๆ อัตราการขยายของระบบคลื่นวิทยุ ดังนั้น จึงมีการพิจารณาอย่างละเอียด โดยที่จะทำการ ตรวจสอบอย่างละเอียดสำหรับ โครงสร้างของลิงค์บัพเจท ซึ่งขั้นตอนแรกจะทำการวิเคราะห์ระบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารไร้สาย สำหรับในส่วน การสูญเสียเชิงวิถี จะดูคุณลักษณะ และอัตราขยายในระบบเป็น ส่วนที่สำคัญ โดยที่ค่า การสูญเสียเชิงวิถีสามารถเขียนเป็นสมการ ได้คือ

$$P_L \text{ (dB)} = 10 \log \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} |v_t(t)|^2 dt} \right] \quad (3.3)$$

โดยที่ $P_L \text{ (dB)}$ คือ การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในหน่วย เดซิเบล
 $v_r(t)$ ค่าแรงดันทางด้านรับ
 $v_t(t)$ ค่าแรงดันทางด้านส่ง

3.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันหรือไม่ มากน้อยเพียงใด โดยนำข้อมูลของตัวแปรทั้ง 2 ตัวนั้นมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งบอกถึงทิศทางและระดับของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร 2 ตัว (สัญญาณทางด้านรับและสัญญาณทางด้านส่ง) ใช้สัญลักษณ์ c_c จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เครื่องหมายของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบอกทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ถ้าเป็นลบแสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในทางตรงข้าม ถ้าเป็นบวกแสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทางตามกัน ส่วนระดับความสัมพันธ์ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 ไม่ว่าจะ + หรือ - แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันเลย ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.5

$$C_c = \frac{\max |r_{v_r, v_t}(\tau)|}{\max |r_{v_r}(\tau)| \cdot \max |r_{v_t}(\tau)|} \quad (3.4)$$

เมื่อ $r_{v_r, v_t}(\tau)$ เป็นสหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างสัญญาณ $v_r(t)$ และ $v_t(t)$ และ r_{v_r, v_r} เป็นสหสัมพันธ์แบบออโต้ฟังก์ชัน $v_r(t)$ ซึ่งนิยามเป็น

$$r_{v_r(t)v_r(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} v_r^*(t) \cdot (v_r + \tau) dt$$

$$r_{v_r(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} v_r^*(t) \cdot v_r(t) dt$$

โดยที่ $v_r(t)$ คือสัญญาณทางด้านส่ง
 $v_r(t)$ คือสัญญาณทางด้านรับ

3.4.3 อัตราความผิดพลาดต่อบิต BER (Bite Error Rate)

สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารทำให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดลง โดยสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุเช่นเกิดกระทำของมนุษย์ หรือโดยธรรมชาติในระบบ เราจะใช้อัตราความผิดพลาดต่อบิต เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบระบบ RFID โดยที่ค่าของอัตราความผิดพลาดต่อบิต ยิ่งมีค่ามากขึ้นเท่าใดจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นค่าอัตราความผิดพลาดเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$BER = Q \left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b}{b_r}} \right] \quad (3.5)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt ; x \geq 0 \quad (3.6)$$

โดยที่ Q คือ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด
 C_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
 b_r คือ อัตราการส่งข้อมูล (bit rate)
 f_b คือ ช่วงของความถี่
 E_b คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิต
 N_0 คือ ความหนาแน่นของสัญญาณรบกวน

3.5 บทสรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้สมการของฟรีสในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เราต้องการพิจารณา ทั้งการสูญเสียในการส่งผ่านและประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เนื่องจากสมการของฟรีสเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย นอกจากนี้เราได้ใช้เมตต์แล็บโปรแกรม(MATLAB) รุ่น R2006b เป็นตัวช่วยในการคำนวณ และประมวลผลออกมาในรูปของกราฟที่เราต้องการพิจารณา ซึ่งสิ่งต่างๆ ที่กล่าวมาทั้งหมดในบทนี้ ล้วนแล้วแต่เป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์การทำงานของ การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

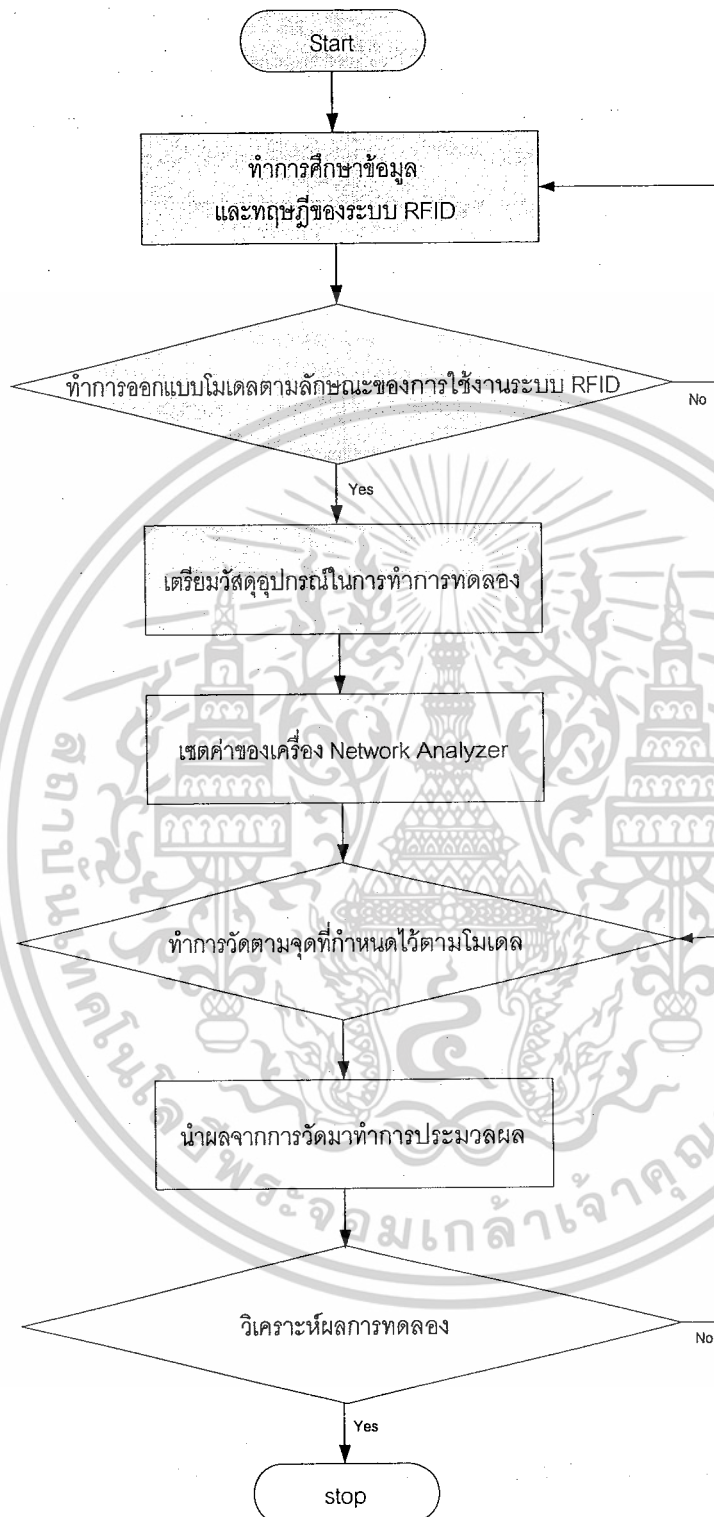


บทที่ 4

แบบจำลองและขั้นตอนการทดลองวิจัย

4.1 กล่าวนำ

รายละเอียดในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองและขั้นตอนการทดลอง รวมทั้งวัสดุอุปกรณ์และพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยมีการกำหนดแบบจำลองการทดลองวัดสัญญาณ รวมถึงการเลือกใช้สถานที่ที่ใช้วัดสัญญาณเราจะต้องคำนึงถึงผลกระทบของสัญญาณ และยังมีการกำหนดตำแหน่งของสายอากาศสำหรับการวัดสัญญาณให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการวัด โดยในการทดลองได้กำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับอยู่สูงจากพื้นในระดับเท่ากัน มีการออกแบบแบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณเพื่อเป็นต้นแบบในการทดลองและนำค่าสัญญาณที่วัดได้มาวิเคราะห์เพื่อหาการลดทอนและการบิดเบี้ยวของสัญญาณออกมาในรูปแบบของพารามิเตอร์ต่างๆ และนำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ตามหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่อไป



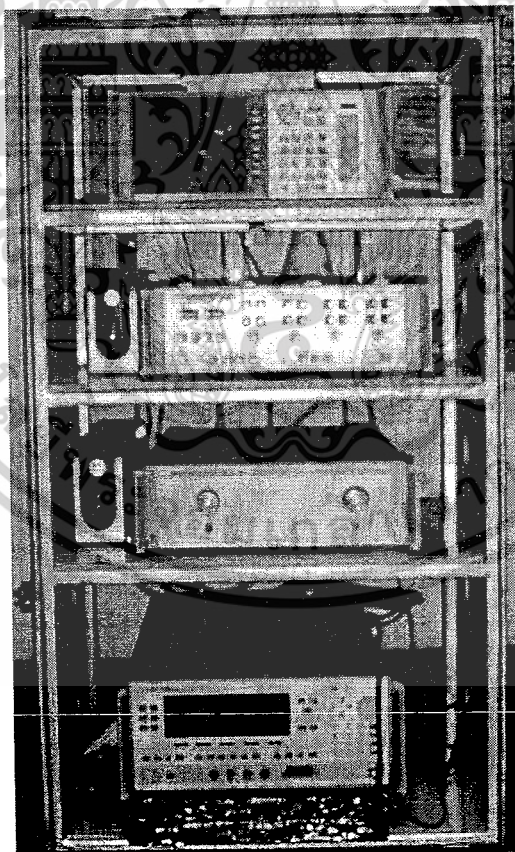
รูปที่ 4.1 แบบแผนการศึกษาทดลองวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเตรียมการทดลองวัดสัญญาณ

4.2.1 รูปแบบของการทดลองวัดสัญญาณ

ในการวัดช่องสัญญาณเราจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางประกอบด้วย เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น HP-8510C ,ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-83620B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทำการทดลอง ซึ่งควบคุมการทำงานของเครื่องผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) ที่มีคุณสมบัติสามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ตได้ ซึ่งในการทดลองนี้ จะกำหนดให้พอร์ตหนึ่งใช้สำหรับส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองใช้สำหรับรับสัญญาณ (Rx) ที่ปลายทั้งสองพอร์ตจะถูกต่อเข้ากับสายอากาศแบบไมโครสตริป จากนั้นจึงทำการวัดในรูปของความถี่และนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวัดไปทำการวิเคราะห์

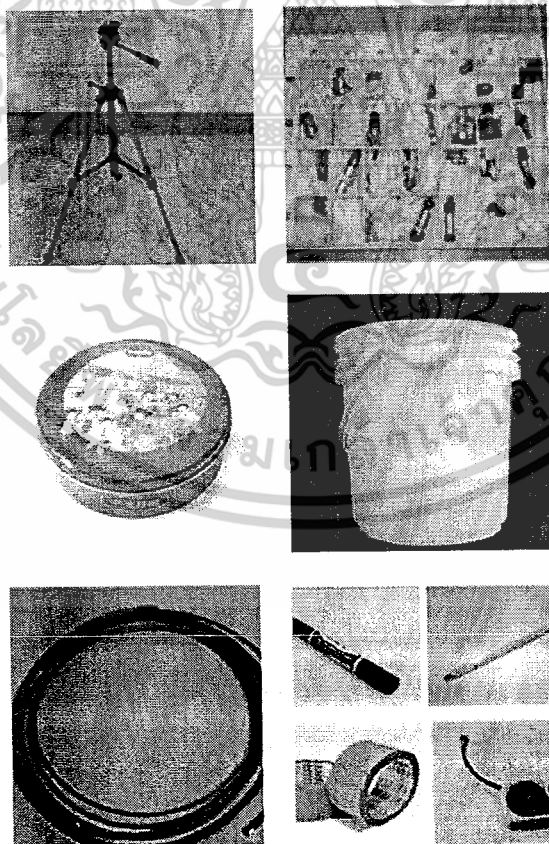


รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลองวัดสัญญาณ

- ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้
- กำหนดความถี่ใช้งานของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบเวกเตอร์ที่ 2.3 กิกะเฮิร์ต ถึง 2.6 กิกะเฮิร์ต เพื่อให้ครอบคลุมความถี่ที่เราจะทำการทดลองวัด
- กำหนดความละเอียดของเครื่องวัดที่ 801 จุด (ความละเอียดสูงสุดของเครื่องวัด)
- ทำการเชื่อมต่อปลายสายเซมิลิจิต (Semiligit cable) ของพอร์ตหนึ่ง (Tx) ต่อเข้ากับตัวเชื่อมต่อแบบเปิดวงจร (Open connector), ตัวเชื่อมต่อแบบลัดวงจร (Short connector) และตัวเชื่อมต่อแบบความต้านทานรวม (Load connector) จากนั้นทำการปรับเทียบกับตัวเชื่อมต่อที่ละตัวตามลำดับ สำหรับปลายสายเซมิลิจิตของพอร์ตสอง (Rx) ต่อเข้ากับตัวเชื่อมต่อทั้ง 3 ตัวข้างต้นและทำการปรับเทียบที่ละตัวเช่นเดียวกันกับพอร์ตหนึ่ง (Tx) จากนั้นนำปลายสายเซมิลิจิตทั้งสองเส้นมาเชื่อมต่อกันด้วยตัวเชื่อมต่อแบบ SN เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนออกไป
- ต่อสายอากาศแบบไมโครสตริปเข้ากับปลายสายเซมิลิจิตทั้งสอง แล้วทำการทดลองวัดตามแบบจำลอง

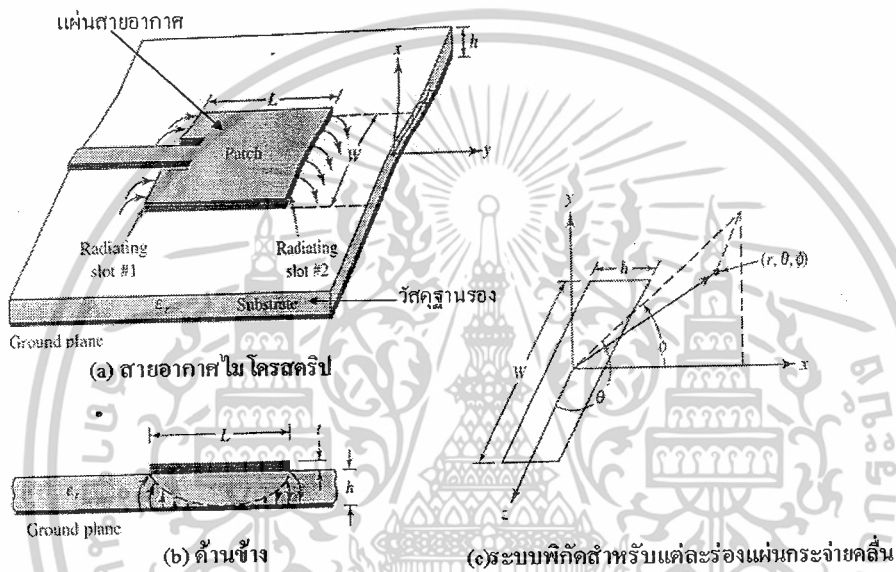


รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ต่างๆ และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัดสัญญาณ

สายอากาศจะเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากตัวส่งสัญญาณให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศตัวรับสัญญาณแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม โดยในการทดลองจะใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปทั้งด้านส่งและด้านรับซึ่งสายอากาศไมโครสตริปมีลักษณะดังรูปที่ 4.4

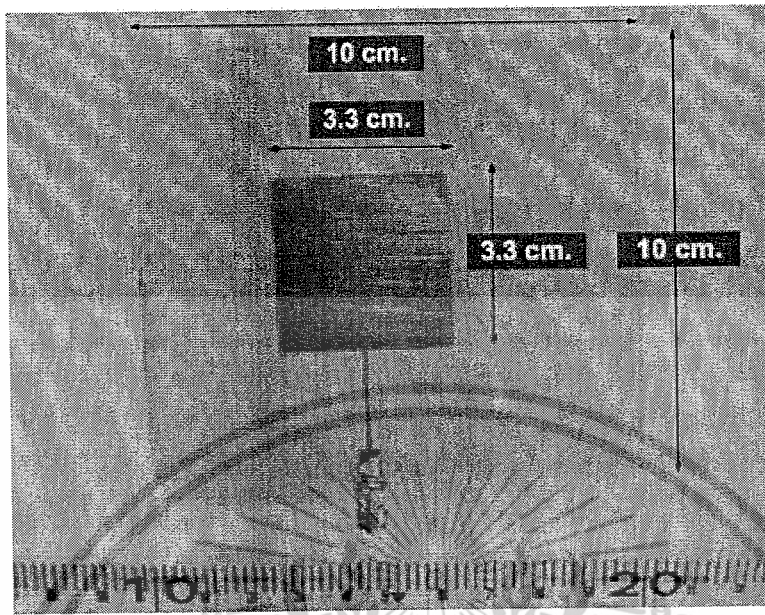


รูปที่ 4.4 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด

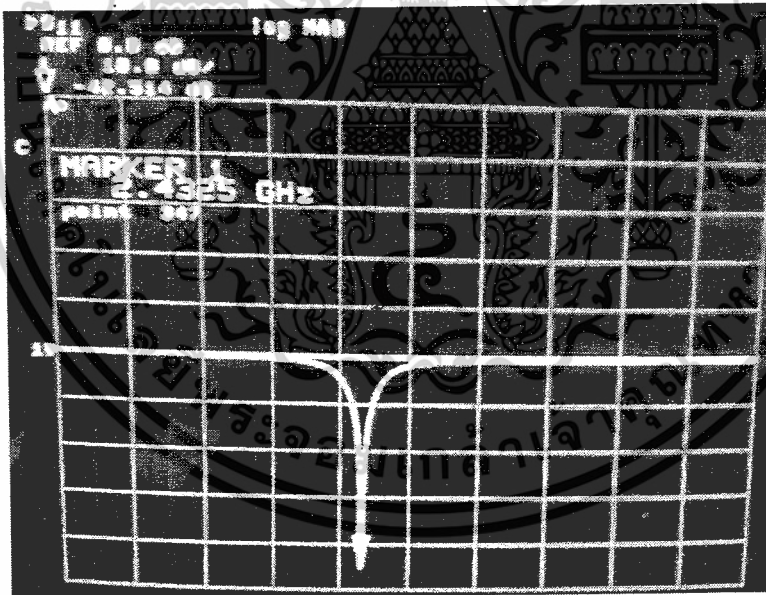
สายอากาศแบบไมโครสตริปหรือที่มักเรียกว่า สายอากาศแผ่น (Patch antenna) ประกอบด้วยแผ่นตัวนำที่บางมากวางอยู่บนวัสดุฐานรอง ส่วนอีกด้านหนึ่งของวัสดุฐานรองจะเป็นระนาบเงา วัสดุฐานรองนั้นมีด้วยกันหลายลักษณะ โดยปกติสภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกนั้นอยู่ในช่วง $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ สำหรับวัสดุฐานรองที่บางและมีสภาพยอมสัมพัทธ์สูงส่วนใหญ่จะนำมาใช้ร่วมกับวงจรทางไมโครเวฟ เนื่องจากจะทำให้วงจรมีขนาดเล็กลง แต่จะทำให้เกิดการสูญเสียที่มากขึ้น ดังนั้นสายอากาศแบบไมโครสตริปและวงจรไมโครเวฟจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยส่วนที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นและส่วนที่ใช้ในการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศจะอยู่บนวัสดุฐานรองเดียวกัน

ในการทดลองนี้จะใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรต์ มีขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต



รูปที่ 4.6 คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต

สายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตถูกสร้างและพัฒนาขึ้นโดย
 ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการ
 ทดลองจะใช้เป็นทั้งตัวส่งสัญญาณและรับสัญญาณตามแบบจำลอง เนื่องจากเป็นสายอากาศที่
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายคลื่นในแนวตรง สร้างได้ง่าย และมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลอง สำหรับรูปที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรต์ ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าสายอากาศตอบสนองดีที่สุดที่ 2.43 กิกะเฮิรต์

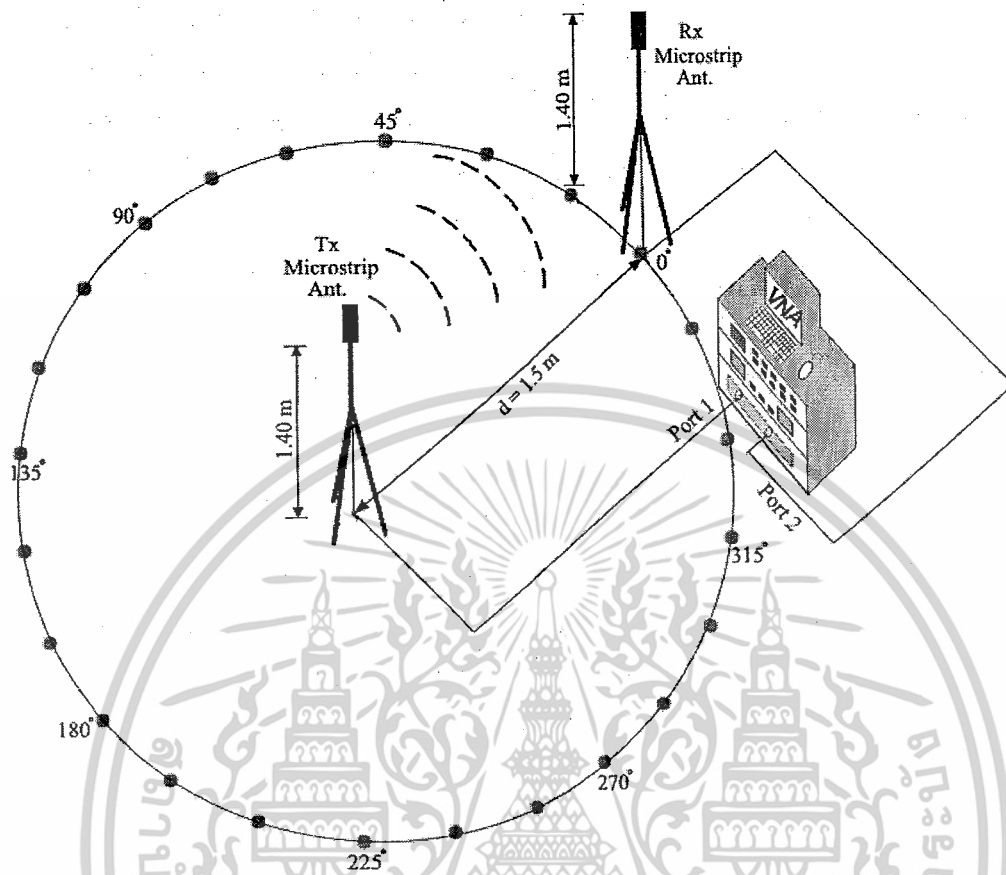
4.3 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ

ทำการวัดสัญญาณการสื่อสารด้วยความถี่วิทยุแบบไม่มีตัวบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้องที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรต์ โดยทำการทดลองวัดในรูปแบบภายในอาคาร ไม่มีวัตถุใดขวางกั้น ไม่มีสัญญาณอื่นรบกวน และพิจารณาในสัญญาณวิธีแรกที่รับได้เท่านั้น ซึ่งใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดสัญญาณ

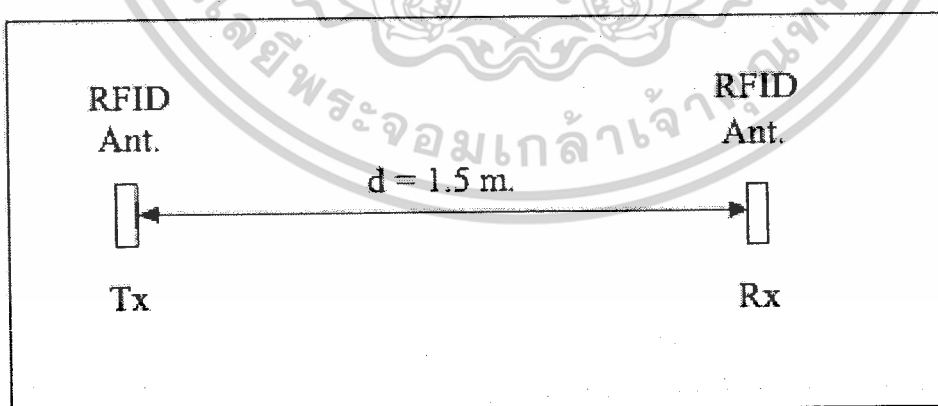
4.3.1 ขั้นตอนการทดลองวัด

4.3.1.1 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีวัสดุ

สำหรับการทดลองตามรูปที่ 4.7 จะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวิเคราะห์สัญญาณ โดยให้พอร์ตหนึ่งต่อเข้ากับสายอากาศตัวส่ง พอร์ตสองต่อเข้ากับสายอากาศตัวรับ จากนั้นติดตั้งสายอากาศทั้งตัวส่งและตัวรับให้อยู่สูงจากพื้นเป็นระยะ 1.40 เมตรและกำหนดให้สายอากาศตัวส่งห่างจากตัวรับเป็นระยะทาง 1.50 เมตร ดังรูปที่ 4.8 สำหรับการทดลองวัดได้ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปทั้งด้านส่งและด้านรับ จากนั้นเริ่มต้นทำการวัดจากตำแหน่ง 0 องศาจนถึง 360 องศา โดยเพิ่มขึ้นทีละ 15 องศา เหตุที่กำหนดขนาดของมุมระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งต่างกันเพื่อพิจารณาผลการวัดที่เกิดขึ้น แล้วทำการเก็บบันทึกผลที่ได้จากการวัด และจะนำเอาข้อมูลที่ได้อามาพิจารณาเพื่อวิเคราะห์หาการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้



รูปที่ 4.7 แบบจำลองการวัดของสัญญาณกรณีที่ไม่มีวัสดุ



รูปที่ 4.8 การจัดวางสายอากาศด้านรับและด้านส่ง (พิจารณาจากด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดกรณีที่ไม่มีวัสดุ

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญสำหรับการทดลองวัดจะถูกกำหนดตามตารางที่ 4.1

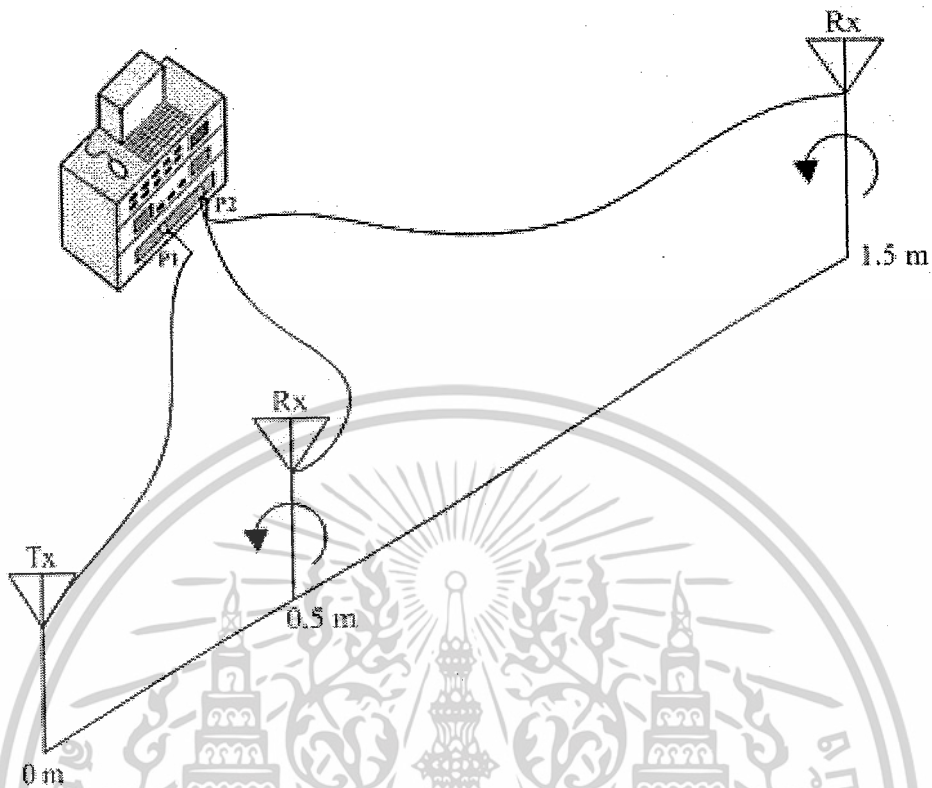
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีวัสดุ

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
ย่านความถี่	2.3 – 2.6 กิกะเฮิรต์
จำนวนจุดในการวัด	801
ค่ากำลังพลวัตของเครื่อง	80 dB
ความสูงของสายอากาศตัวส่ง	1.40 เมตร
ความสูงของสายอากาศตัวรับ	1.40 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับตัวรับ	1.50 เมตร

4.3.1.3 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกาย

มนุษย์, กล้องโลหะ, ถังพลาสติก)

จากรูปที่ 4.9 จะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวิเคราะห์สัญญาณ โดยให้พอร์ตหนึ่งต่อเข้ากับสายอากาศตัวส่ง พอร์ตสองต่อเข้ากับสายอากาศตัวรับ จากนั้นติดตั้งสายอากาศทั้งตัวส่งและตัวรับให้อยู่สูงจากพื้นเป็นระยะ 1.40 เมตร สำหรับการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปทั้งด้านส่งและด้านรับ โดยทำการติดตั้งสายอากาศตัวรับไว้กับวัสดุที่ต้องการทดสอบ และกำหนดให้สายอากาศตัวส่งห่างจากสายอากาศตัวรับเป็นระยะทาง 0.50 เมตร ละ 1.50 เมตรตามลำดับ จากนั้นเริ่มทำการวัดจากตำแหน่งที่สายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับทำมุมกัน 0 องศา จนถึง 360 องศาโดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา เหตุที่กำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับและสายอากาศตัวส่งเป็นสองระยะ และมีการเพิ่มขนาดของมุมในการวัดขึ้นเรื่อยๆ เพื่อจะนำผลการวัดที่ได้มาพิจารณา วิเคราะห์หาการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้



รูปที่ 4.9 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, ก่ออิฐ, ผนังพลาสติก)

4.3.1.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, ก่ออิฐ, ผนังพลาสติก)

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญสำหรับการทดลองวัดจะถูกกำหนดตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, ก่ออิฐ, ผนังพลาสติก)

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
ย่านความถี่	2.3 – 2.6 กิกะเฮิรต์
จำนวนจุดในการวัด	801
ค่ากำลังพลวัตของเครื่อง	80 dB
ความสูงของสายอากาศตัวส่ง	1.40 เมตร
ความสูงของสายอากาศตัวรับ	1.40 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับตัวรับ	0.50 เมตร, 1.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 บทสรุป

ในการทดลองจำเป็นต้องมีการกำหนดแบบแผนการวัด เพราะสภาวะแวดล้อม ในขณะที่ทำการทดลองล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อค่าที่ได้จากการทดลองทั้งสิ้น ซึ่งในการทดลองจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ สถานที่ที่ทำการวัด ลักษณะและชนิดของสายอากาศที่ใช้ งาน ความถูกต้องในการติดตั้งสายอากาศ สภาวะแวดล้อมรอบข้าง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้เครื่องมือวัดเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำไปวิเคราะห์หาผลกระทบจากการวัดช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เพื่อหาการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณออกมาในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ และนำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ตามหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่อไป



บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 กล่าวนำ

เมื่อเราทำแบบจำลองและขั้นตอนการวิจัยของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่
ในบทที่ผ่านมาแล้วนั้น ในส่วนของบทนี้เราจะเอาข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัดสัญญาณมาทำการ
วิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วนำค่าเหล่านั้นมาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาการ
สูญเสียของสัญญาณ โดยในบทนี้เราจะศึกษาค่า ขนาดกับเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของ
สายอากาศจากการวัด การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ รวมทั้งอัตราความ
ผิดพลาดบิต โดยจะแสดงดังต่อไปนี้

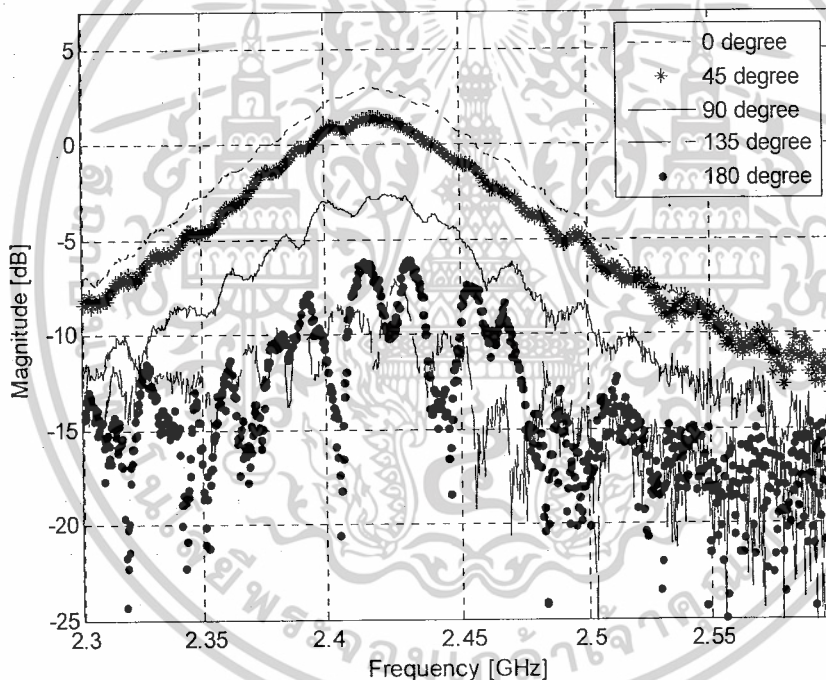
5.2 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ

5.2.1 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีวัสดุ

การทดลองวัดช่องสัญญาณนี้ได้ทำภายในห้องเรียนขนาดใหญ่ ของภาควิชา
วิศวกรรม สารสนเทศ โดยจะทำการพิจารณาไปในแต่ละส่วนตามลำดับ

5.2.1.1 ผลการวัดขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ

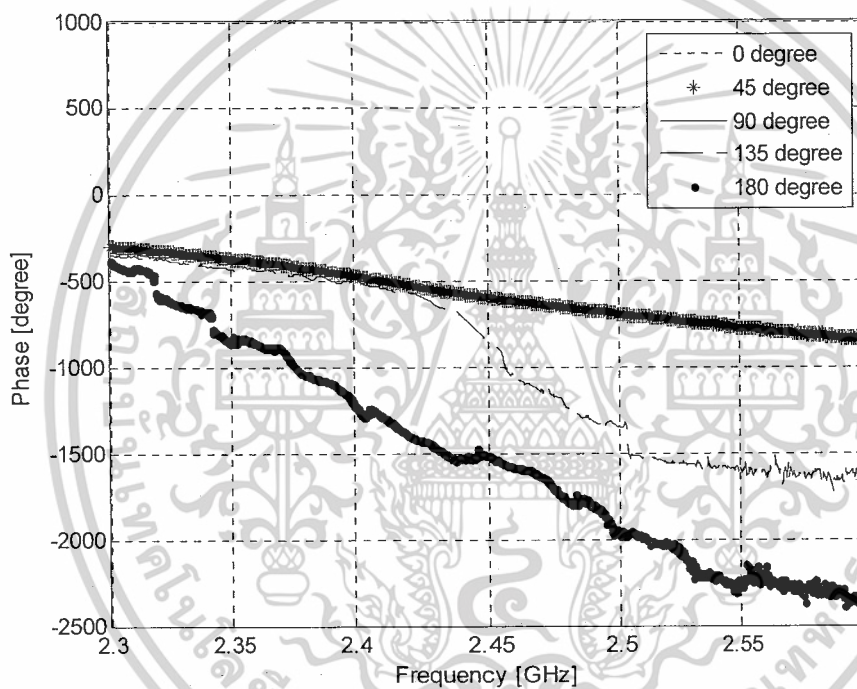
ผลจากการวัดช่องสัญญาณการถ่ายโอนของสายอากาศของระบบการสื่อสารแบบ ระบุตัวตนด้วย ความถี่ วิทยุ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกัน 0 องศา สัญญาณจะมีขนาดสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 2.43 กิกะเฮิรต์ ซึ่งถือได้ว่ามีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง เพราะมีค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ในการทดสอบ และจากนั้นขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะมีขนาดลดลง ตามขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้จากที่ตำแหน่งสายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 180 องศา (สายอากาศตัวรับตั้งอยู่ทางด้านหลังของสายอากาศตัวส่ง) สัญญาณจะมีค่าน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุ โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับทำมุมต่างกัน (0 ~ 360 องศา)

5.2.1.2 ผลการวัดเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ

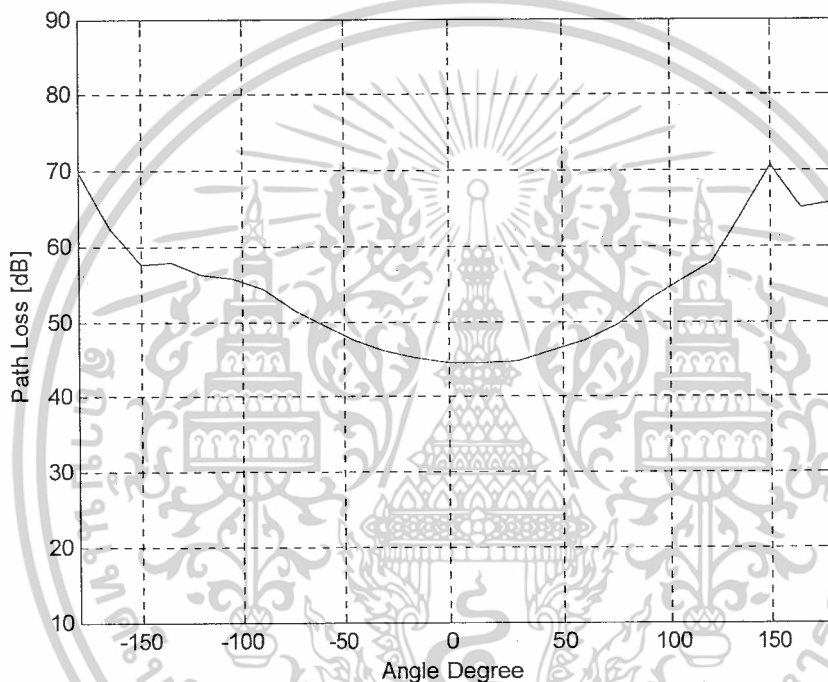
ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกัน 0 องศา จะเห็นได้ว่าเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศมีลักษณะเป็นเส้นตรง และเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกันเพิ่มขึ้น ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศมีแนวโน้มไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งพิจารณาได้จากในรูปที่ 5.2 จะเห็นว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกัน 135 องศา และ 180 องศา เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะไม่เป็นเส้นตรง



รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุ โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับทำมุมต่างกัน (0 ~ 360 องศา)

5.2.1.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

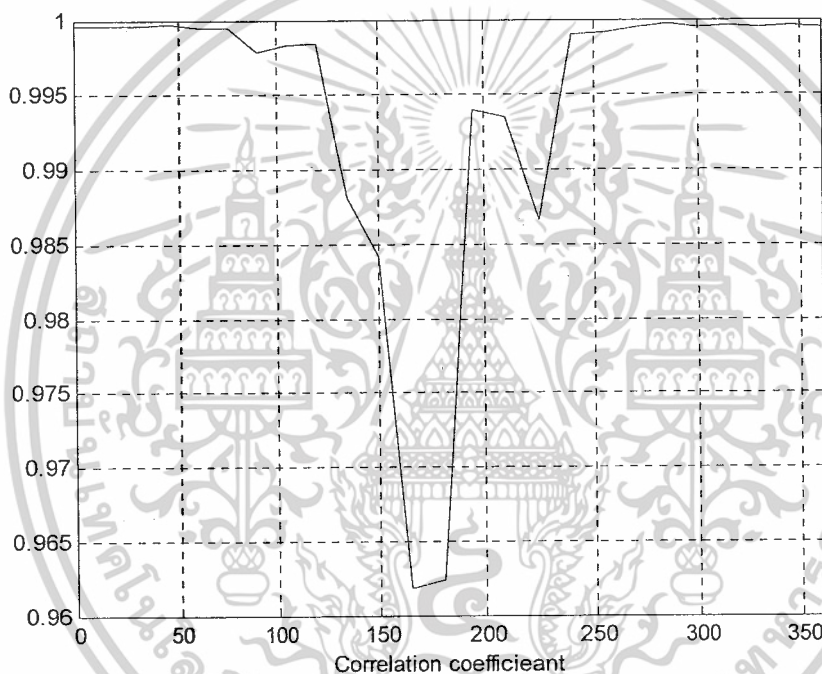
จากการทดลองพบว่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ จะเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกัน 0 องศา จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณต่ำที่สุด และจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณมากขึ้น โดยแปรผันตรงกับขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าการสูญเสียของสัญญาณ



รูปที่ 5.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุ

5.2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

จากการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกัน 0 องศา ถึง 360 องศา จะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุดที่มุม 0 องศาซึ่งมีค่าเป็น 0.99 และจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยที่สุดมุม 165 องศาซึ่งมีค่าเป็น 0.96 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะมีค่าลดลงในช่วง 90 องศา ถึง 270 องศา เนื่องจากเป็นมุมทางด้านหลังของสายอากาศ

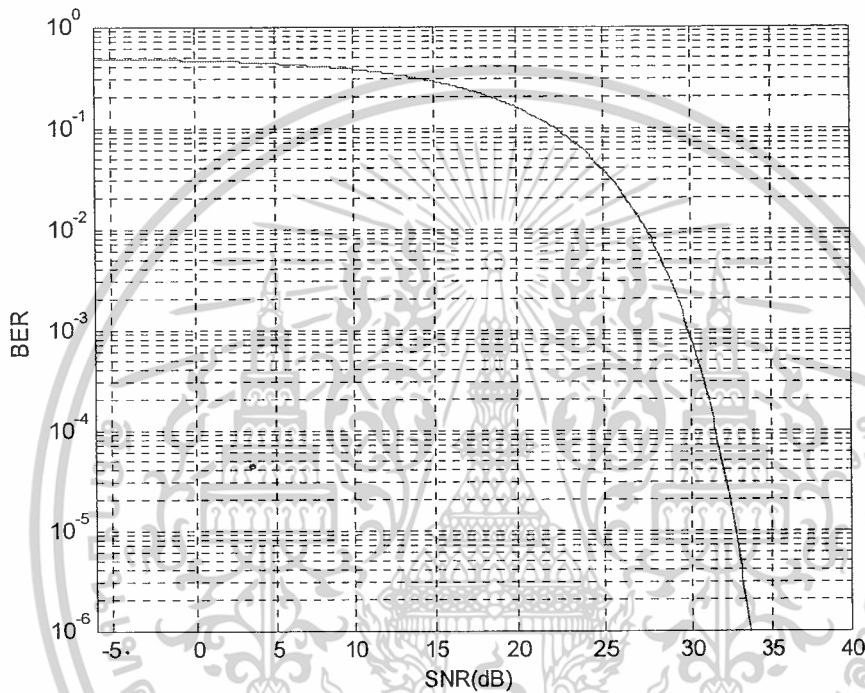


รูปที่ 5.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัสดุที่มุม 0 องศา ถึง 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.5 อัตราความผิดพลาดบิต

จากรูปที่ 5.5 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองในกรณีที่ไม่มีวัศดูในช่วง SNR ตั้งแต่ -6 dB ถึง 40 dB จะเห็นได้ว่าที่ SNR เท่ากับ 29.90 dB จะมีอัตราความผิดพลาดบิตเท่ากับ 10^{-3}



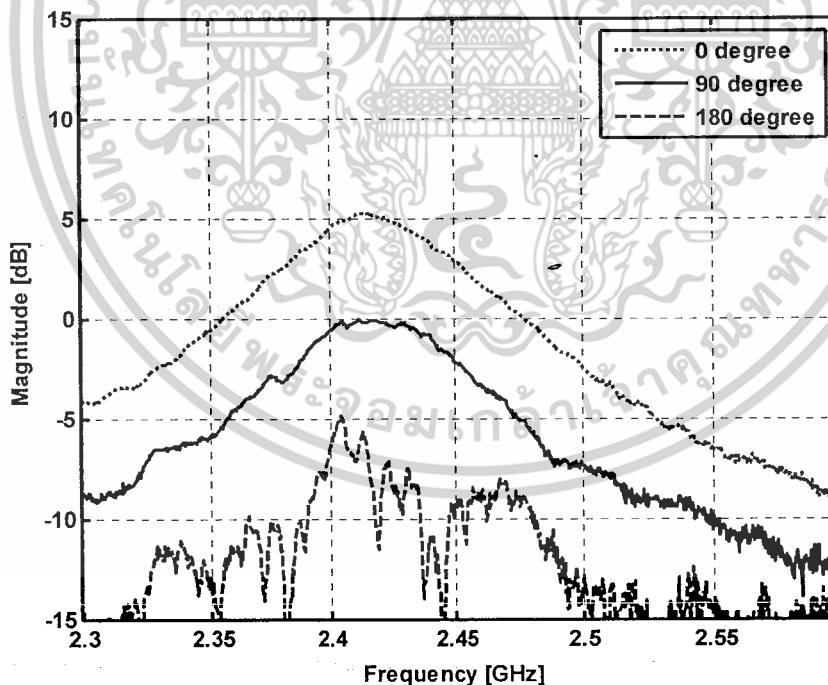
รูปที่ 5.5 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่ไม่มีวัศดูในช่วง SNR ตั้งแต่ -6 dB ถึง 40 dB

5.2.2 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, กล้องโทรหะ, ถังพลาสติก)

การทดลองวัดช่องสัญญาณนี้ทำได้ภายในห้องเรียนขนาดใหญ่ ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ โดยจะทำการพิจารณาไปในแต่ละส่วนตามลำดับ

5.2.2.1 ผลการวัดขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 0.5 เมตร

ผลจากการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวต้นด้วยความถี่วิทยุที่ระยะ 0.5 เมตรของกราฟรูปที่ 5.6 ถึงรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 2.43 GHz ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ในการทดลองและขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะลดลงตามขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้นซึ่งเห็นได้จากกราฟ ณ ตำแหน่งสายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 180 องศาสัญญาณจะมีค่าน้อยที่สุด

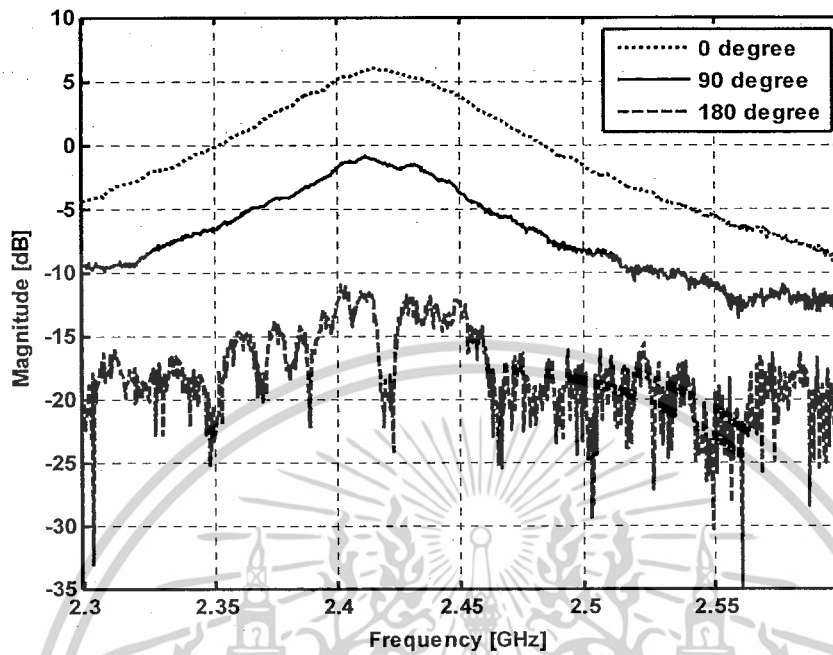


รูปที่ 5.6 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ

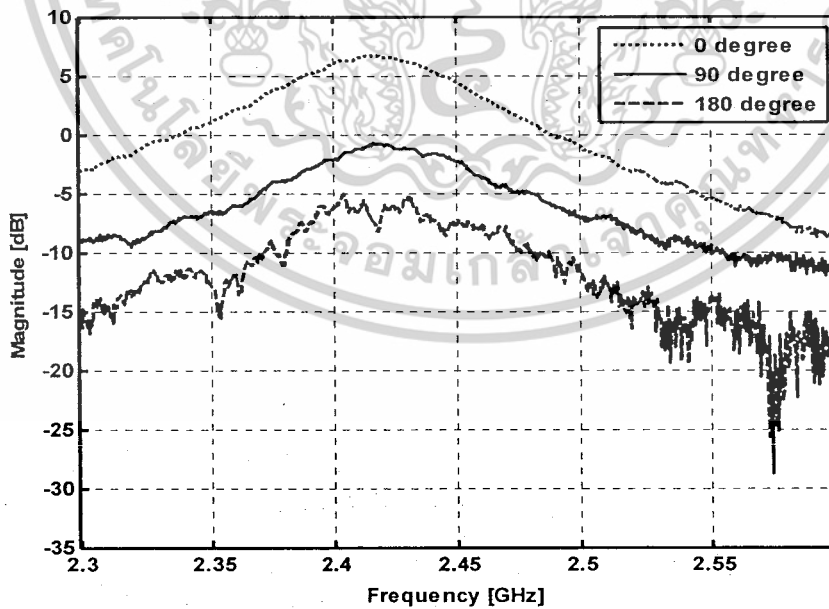
(สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่าง

เท่ากับ 0.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

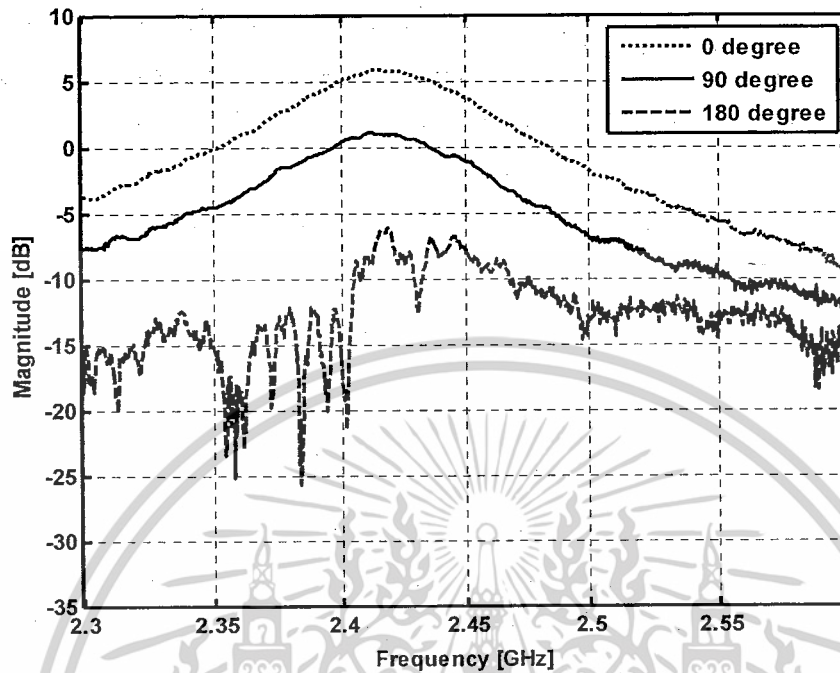


รูปที่ 5.7 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร



รูปที่ 5.8 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

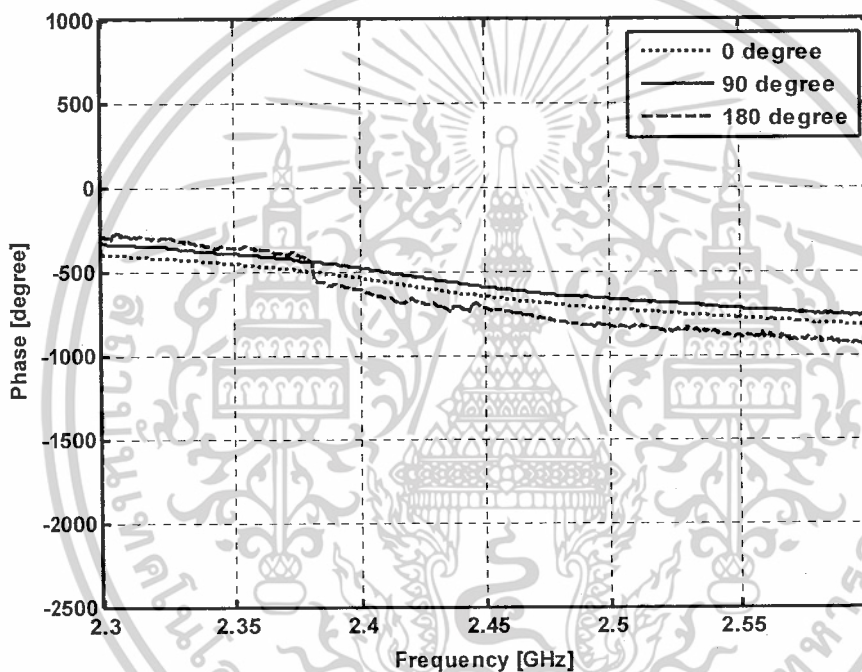


รูปที่ 5.9 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถึงพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

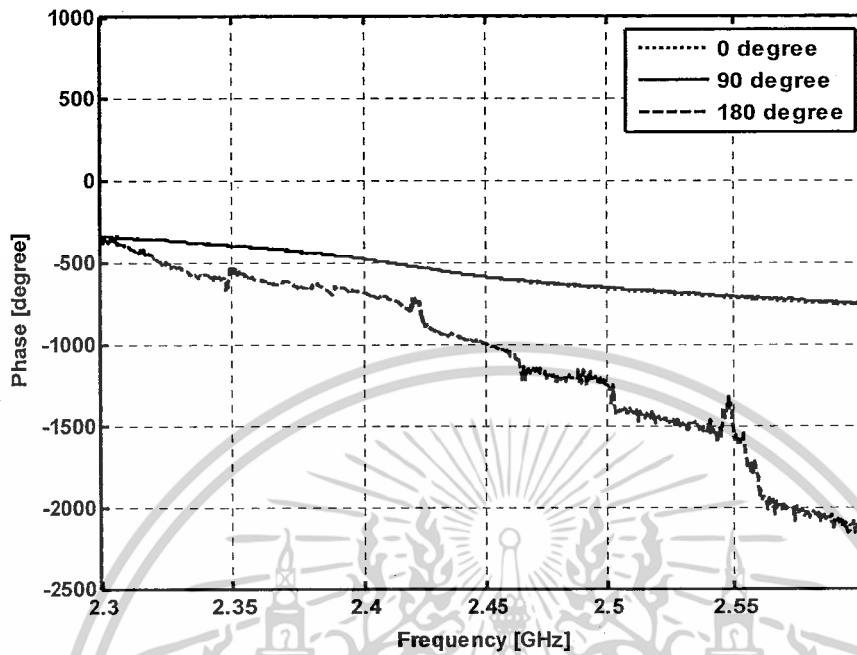
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2 ผลการวัดเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 0.5 เมตร

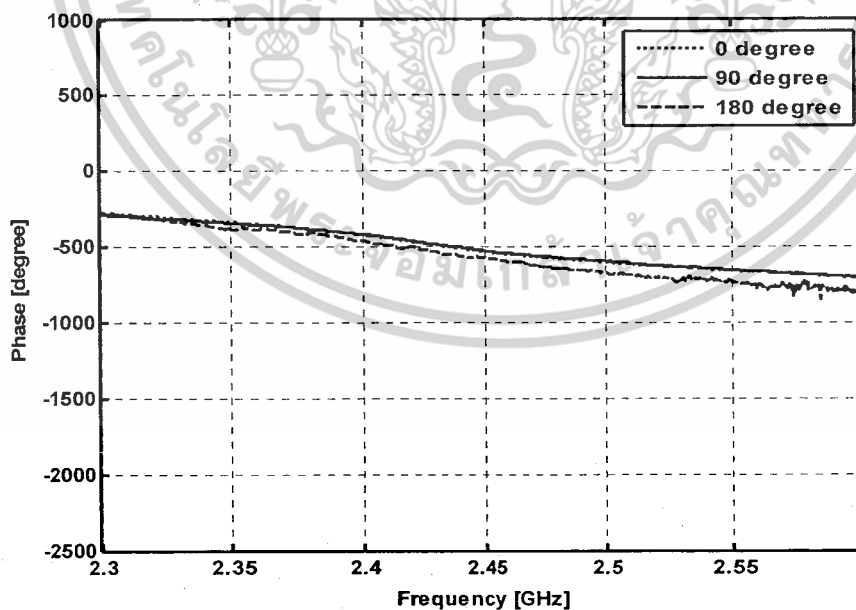
จากการทดลองที่ระยะ 0.5 เมตรพบว่าเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของกราฟรูปที่ 5.10 ถึงรูปที่ 5.13 เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาและ 90 องศาจะได้เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ส่วนตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 180 องศาเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากเป็นมุมทางด้านหลังของสายอากาศ



รูปที่ 5.10 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

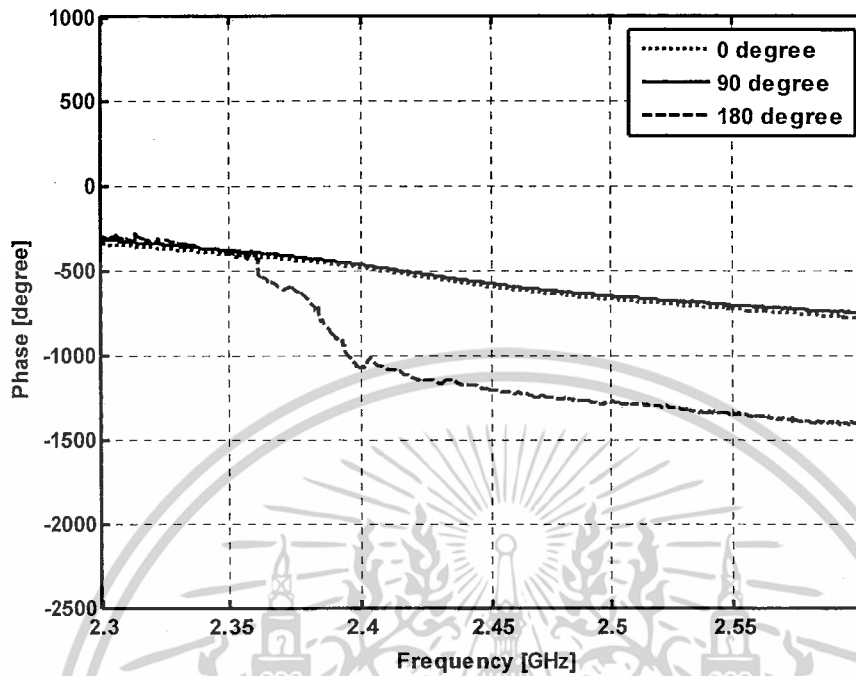


รูปที่ 5.11 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร



รูปที่ 5.12 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

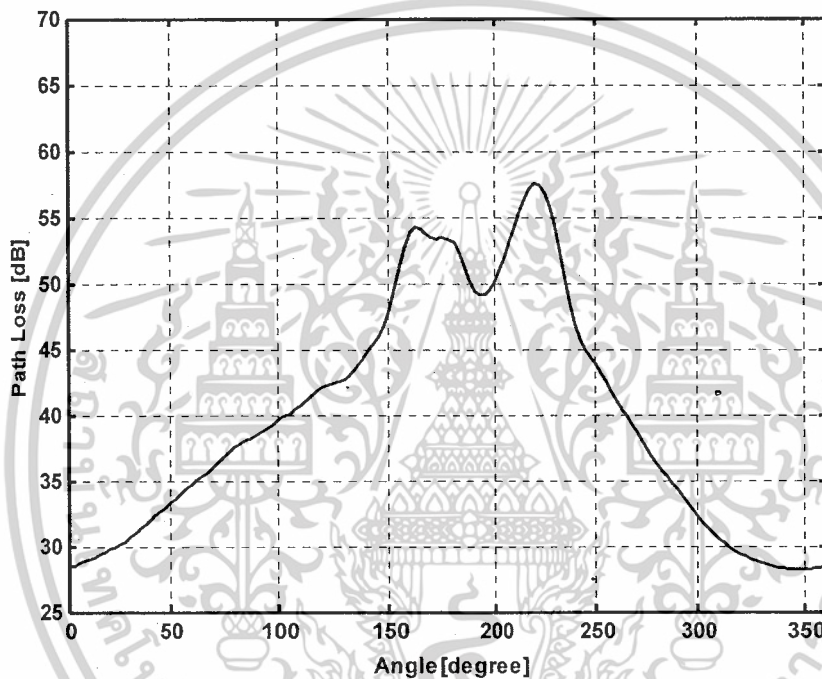


รูปที่ 5.13 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

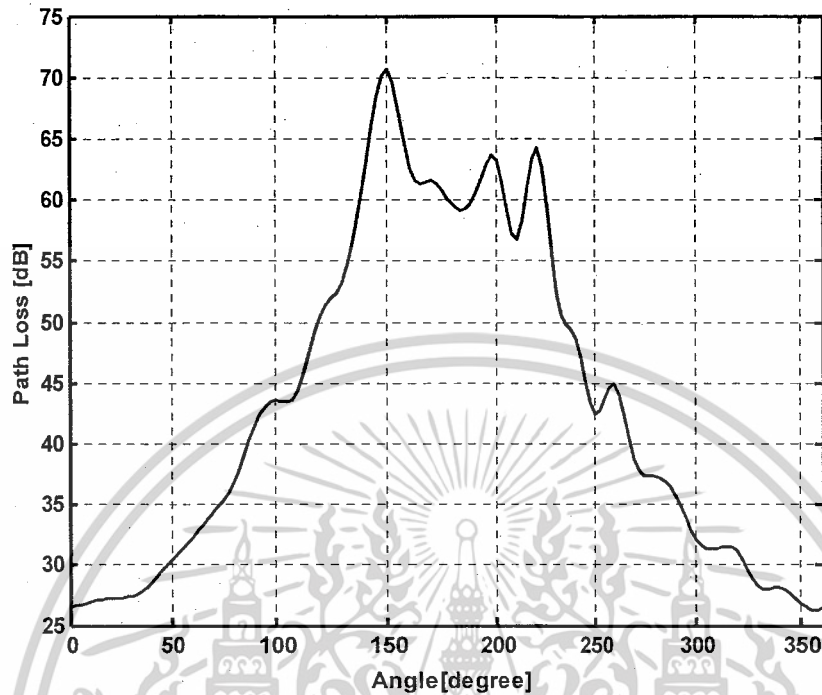
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะ 0.5 เมตร

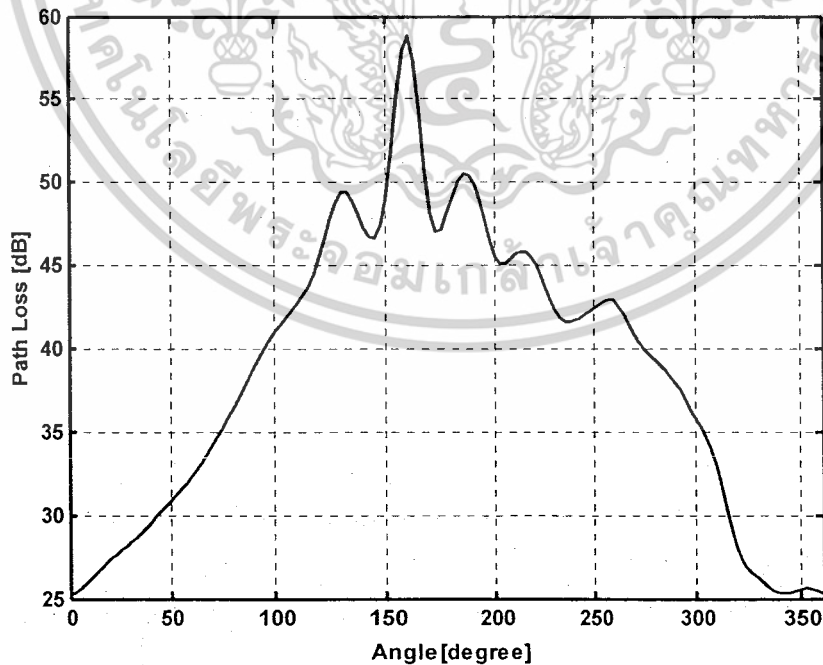
จากการทดลองเมื่อพิจารณาถึงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของวัสดุแต่ ละชนิดจะเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาจะมีค่าการสูญเสีย เชิงวิถีของสัญญาณต่ำที่สุด และค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจะมากขึ้นโดยแปรผันตรงกับ ขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.14 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล้า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร



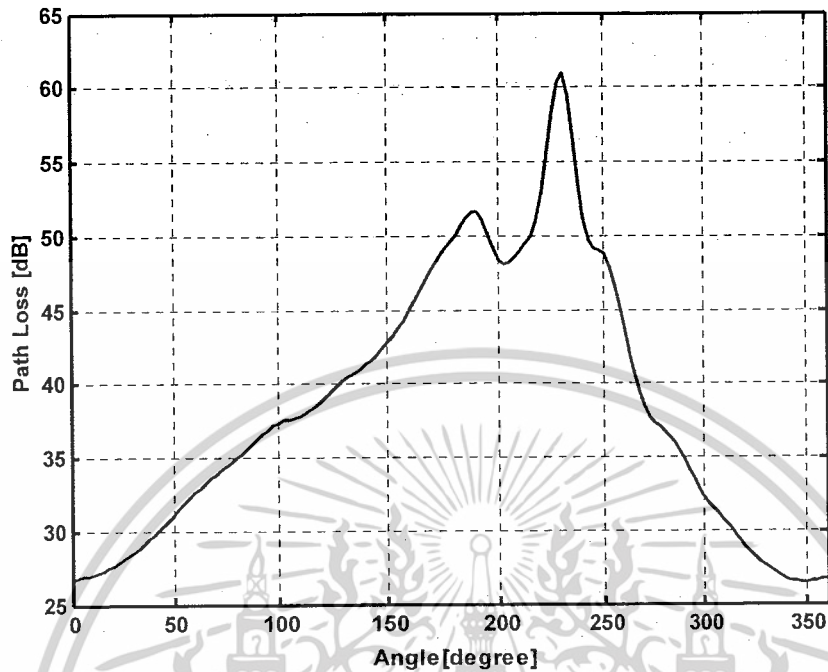
รูปที่ 5.15 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร



รูปที่ 5.16 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กลองโลหะ)

โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

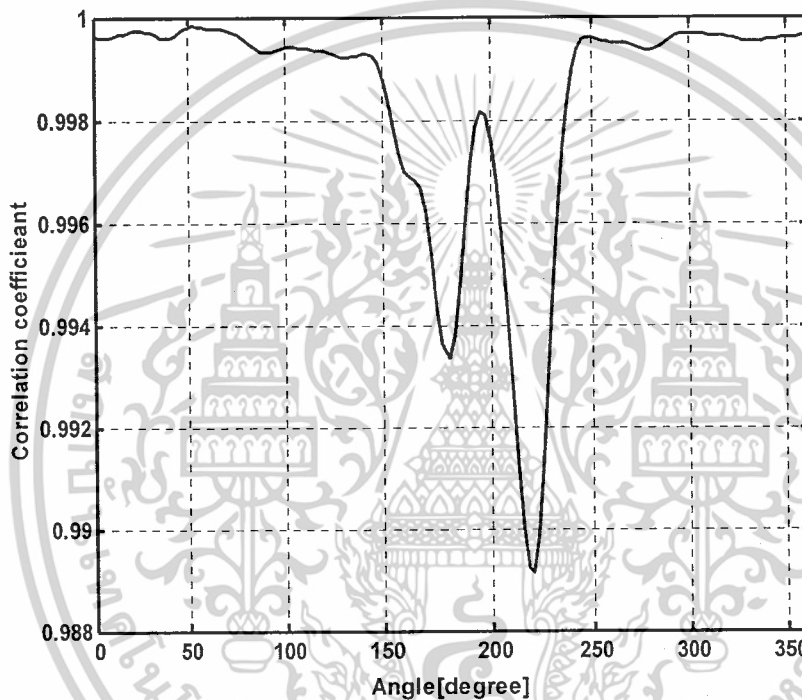


รูปที่ 5.17 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

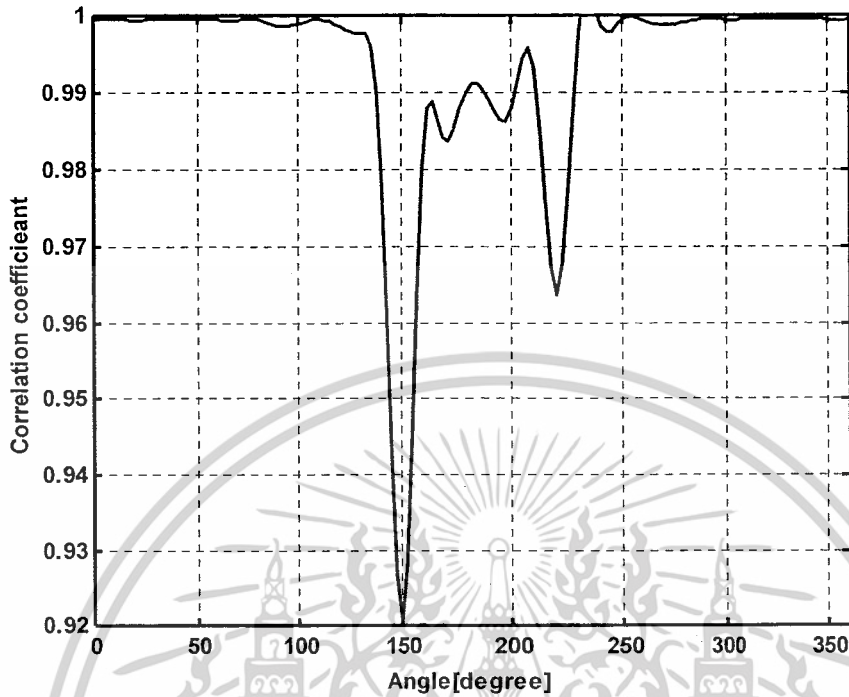
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 0.5 เมตร

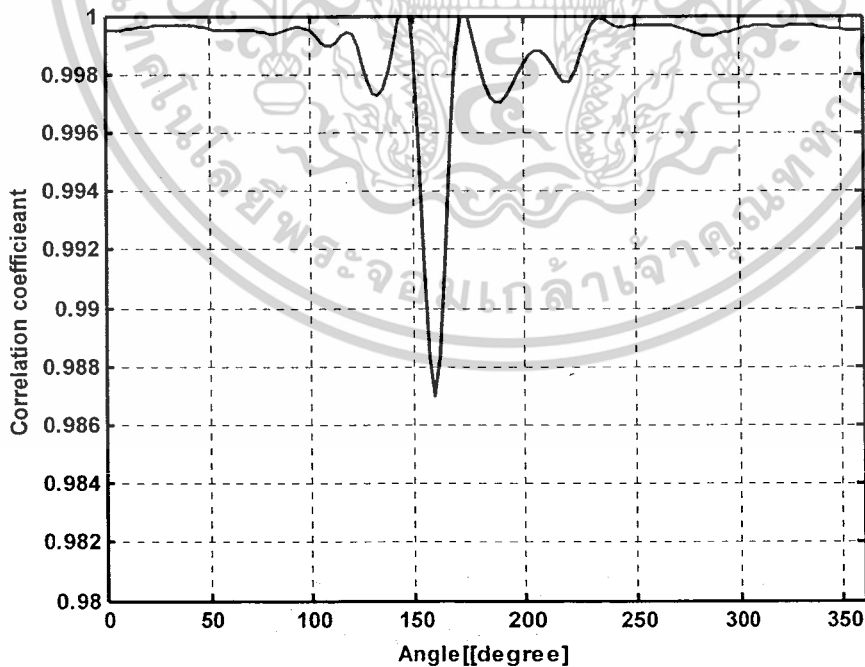
จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุดมีค่าเป็น 0.99 ซึ่งถือว่าเข้าใกล้ 1 มากและจะมีค่าลดลงในช่วง 90 องศาถึง 270 องศา เนื่องจากเป็นมุมทางด้านหลังของสายอากาศ



รูปที่ 5.18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

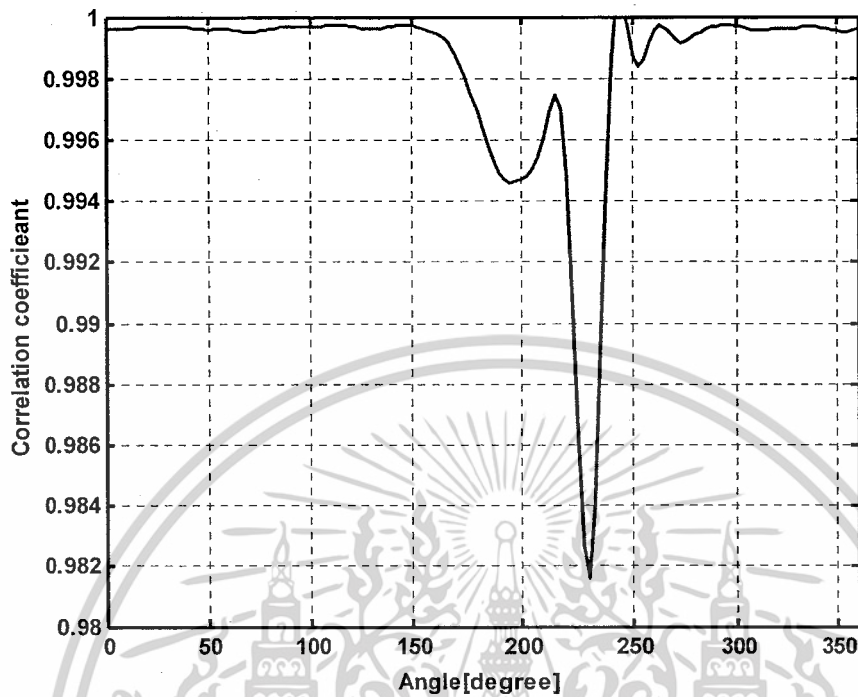


รูปที่ 5.19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร



รูปที่ 5.20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

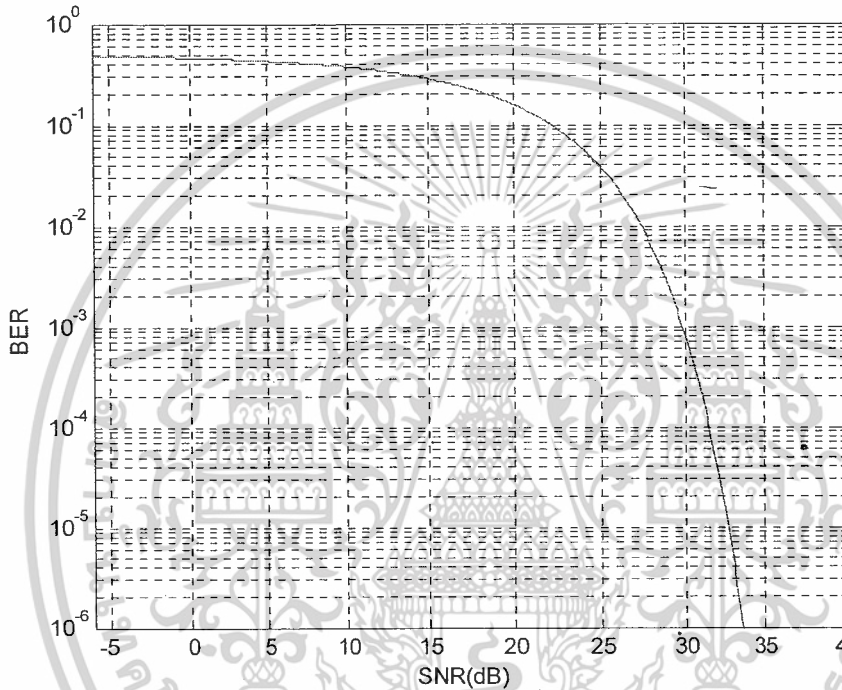


รูปที่ 5.21 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

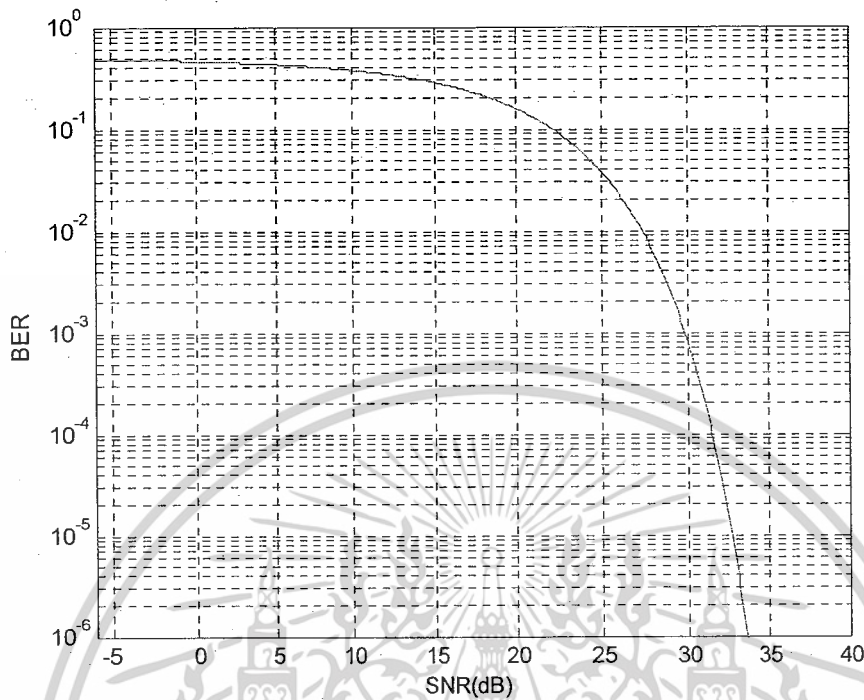
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.5 อัตราความผิดพลาดบิตที่ระยะ 0.5 เมตร

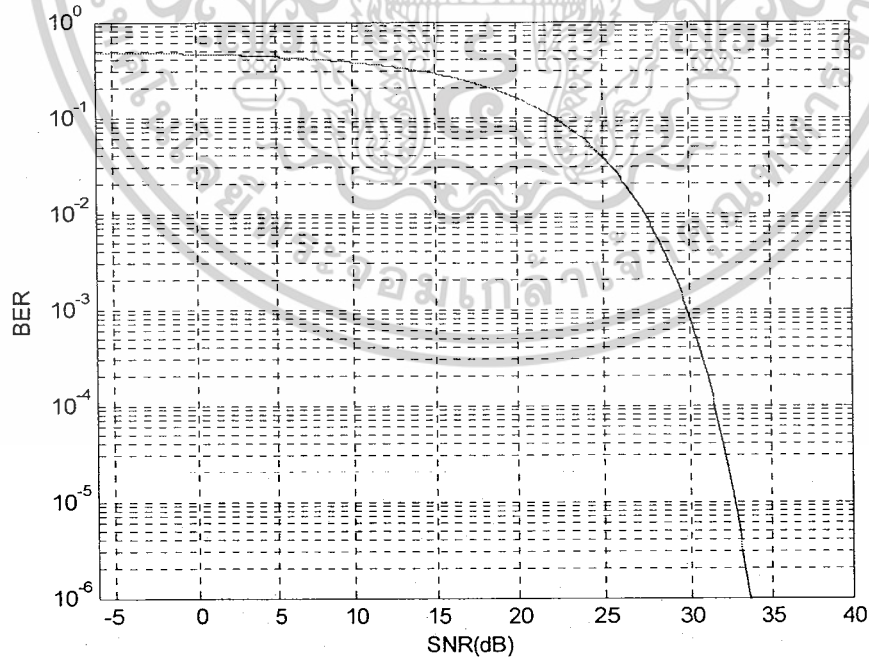
จากกราฟแสดงอัตราความผิดพลาดบิตของวัสดุต่างๆที่นำมาทดลองพบว่า ในช่วง SNR ตั้งแต่ -6 dB ถึง 40 dB จะเห็นได้ว่าที่ SNR เท่ากับ 29.9 dB จะมีอัตราความผิดพลาดบิตเท่ากับ 10^{-3} ซึ่งพบว่าที่มีค่าเท่ากันในทุกวัสดุที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 5.22 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

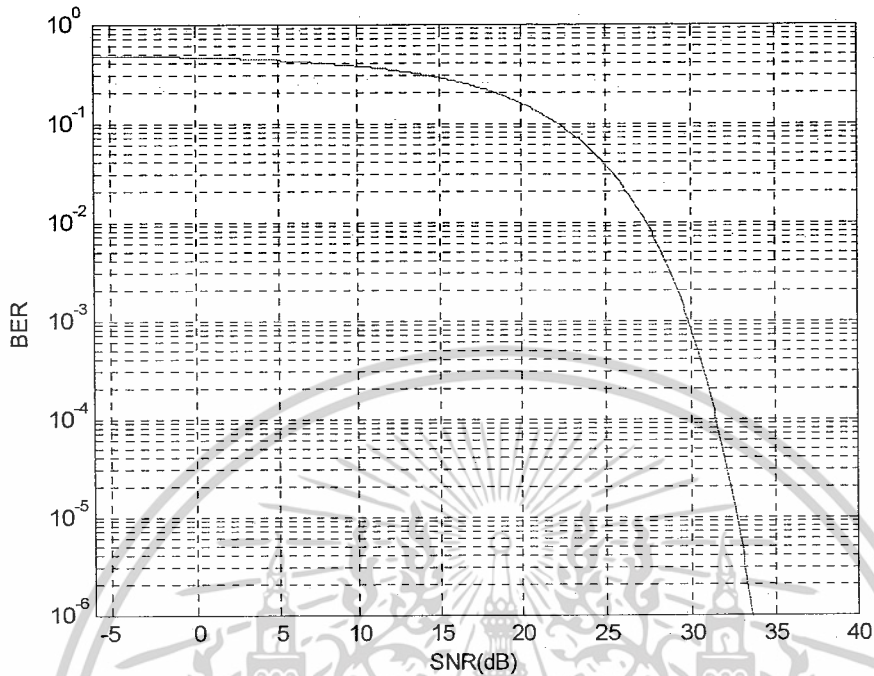


รูปที่ 5.23 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร



รูปที่ 5.24 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

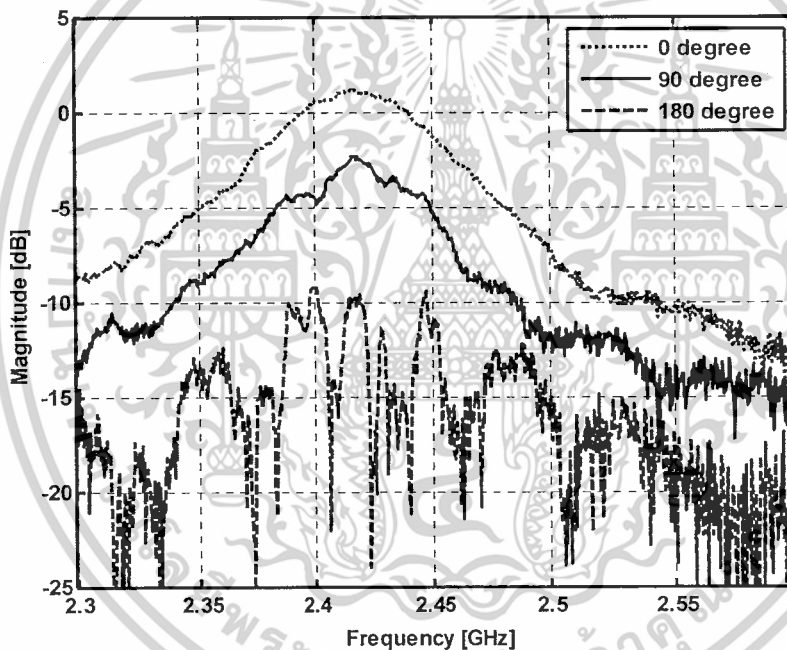


รูปที่ 5.25 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 0.50 เมตร

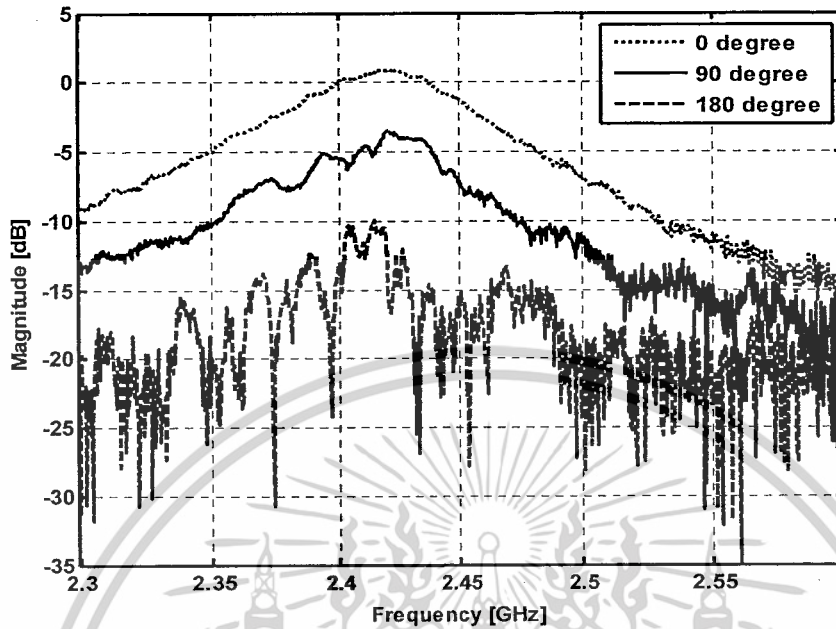
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.6 ผลการวัดขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1.5 เมตร

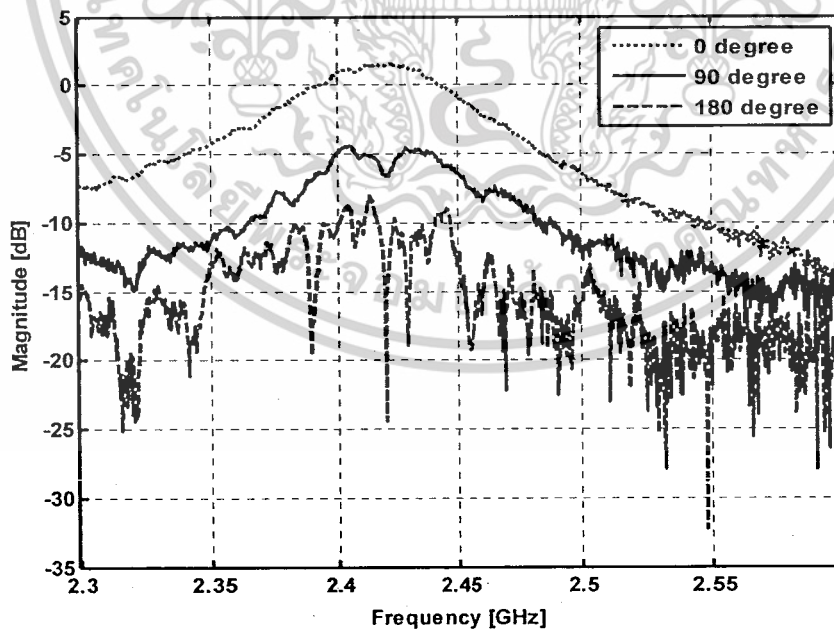
ผลจากการวัดช่องสัญญาณการถ่ายโอนของสายอากาศของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ระยะ 0.5 เมตรของกราฟรูปที่ 5.26 ถึงรูปที่ 5.29 จะเห็นว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 2.43 GHz ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ในการทดลองและขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะลดลงตามขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้นซึ่งเห็นได้จากกราฟ ณ ตำแหน่งสายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 180 องศาสัญญาณจะมีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 5.26 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

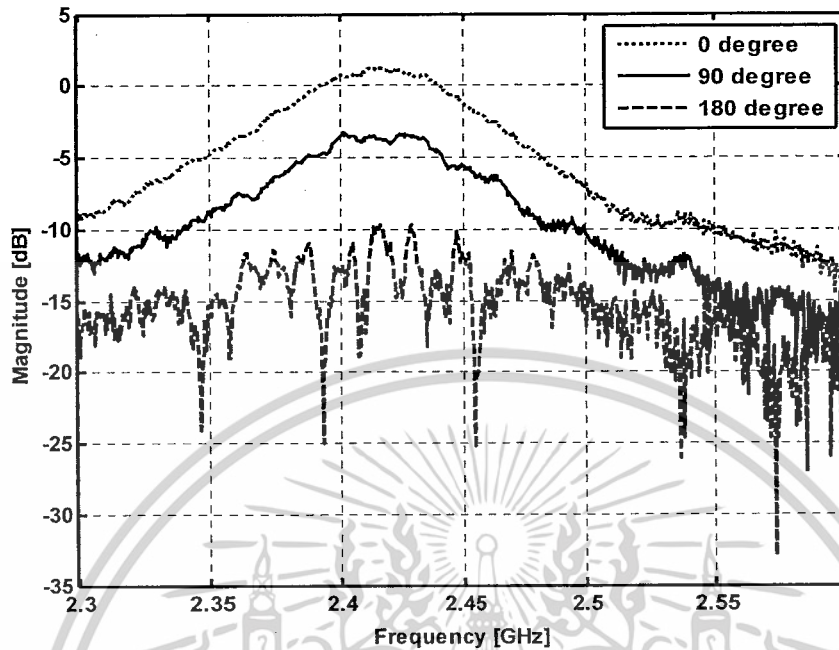


รูปที่ 5.27 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร



รูปที่ 5.28 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

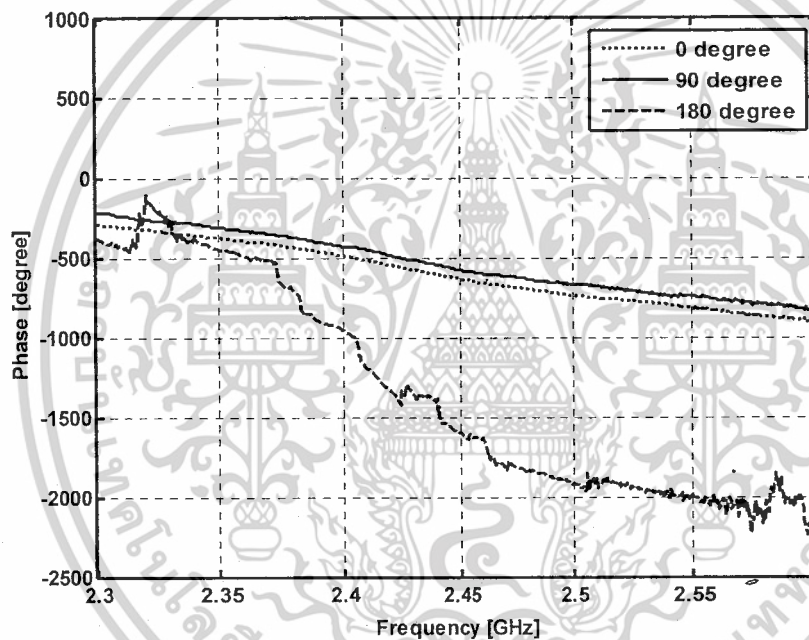
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



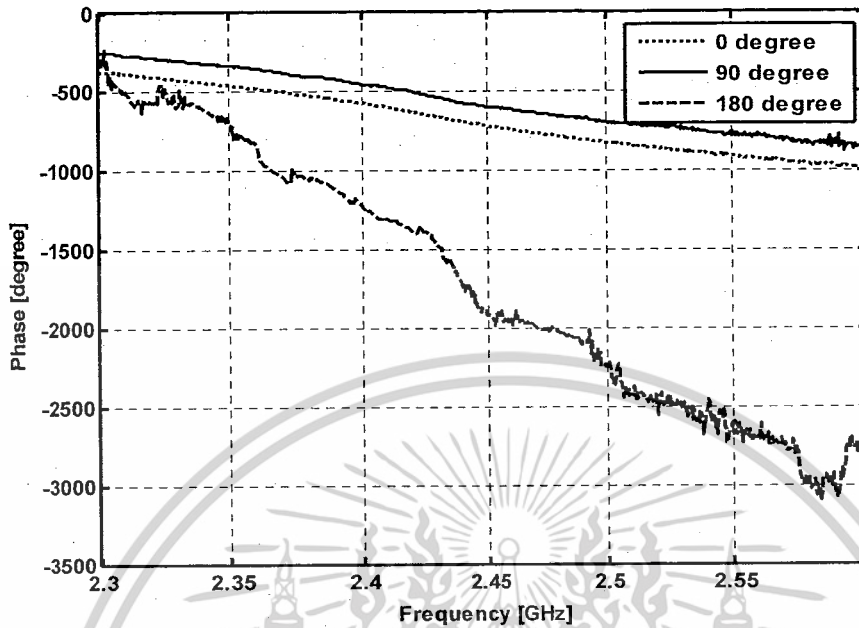
รูปที่ 5.29 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

5.2.2.7 ผลการวัดเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1.5 เมตร

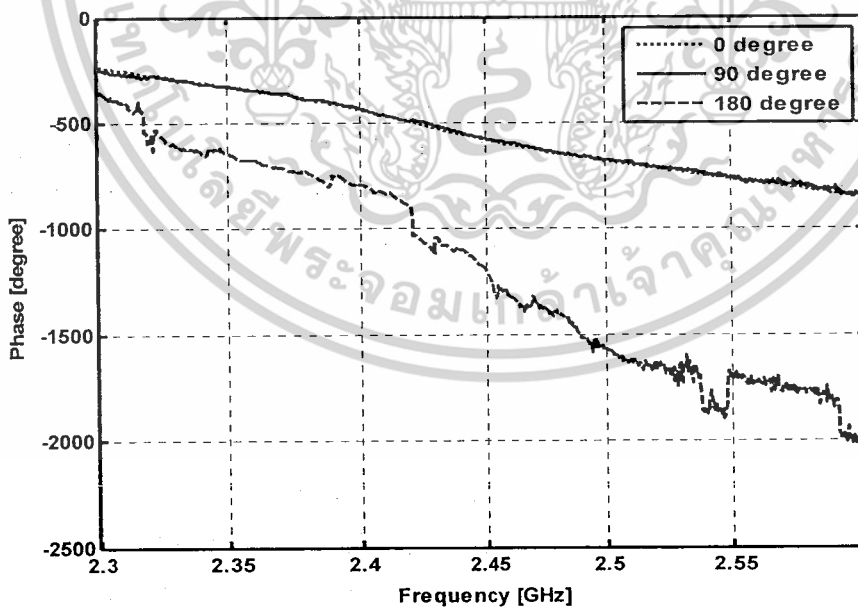
จากการทดลองที่ระยะ 1.5 เมตรเมื่อพิจารณากราฟของวัสดุที่ใช้ทดลองแต่ละชนิดจะเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกันมากขึ้น เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะมีแนวโน้มไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการวัด ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 180 องศา (เป็นมุมทางด้านหลังของสายอากาศ) จะพบว่าเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศไม่เป็นเส้นตรง



รูปที่ 5.30 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

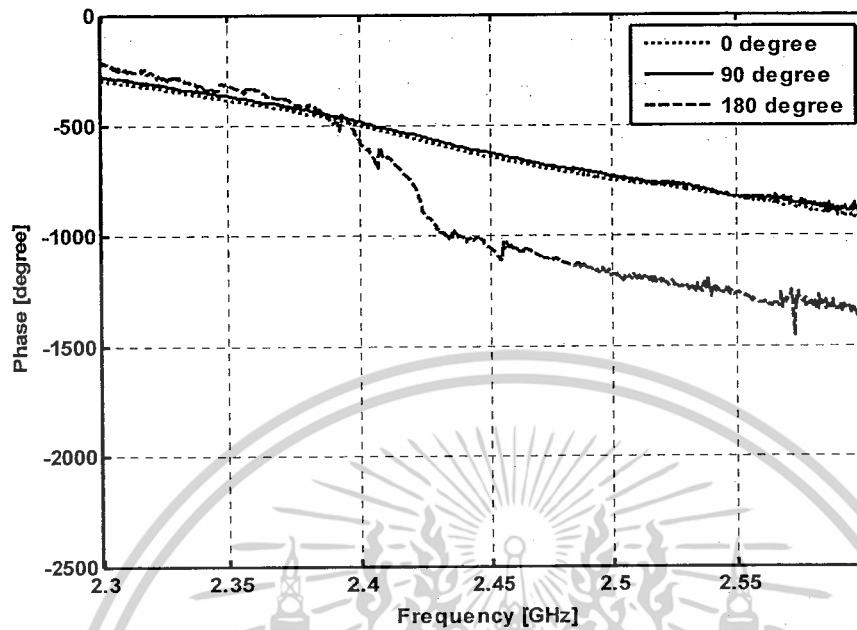


รูปที่ 5.31 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร



รูปที่ 5.32 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

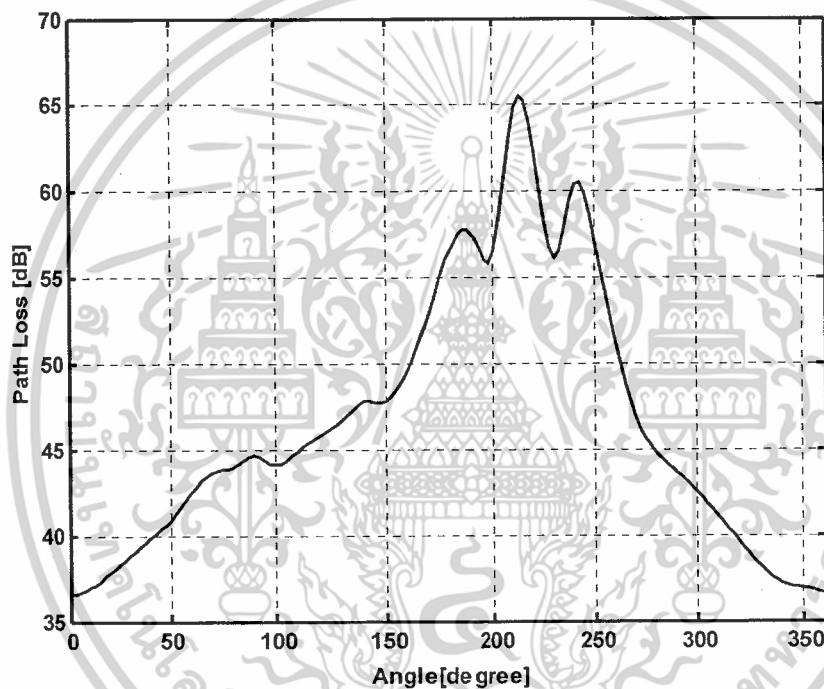


รูปที่ 5.33 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

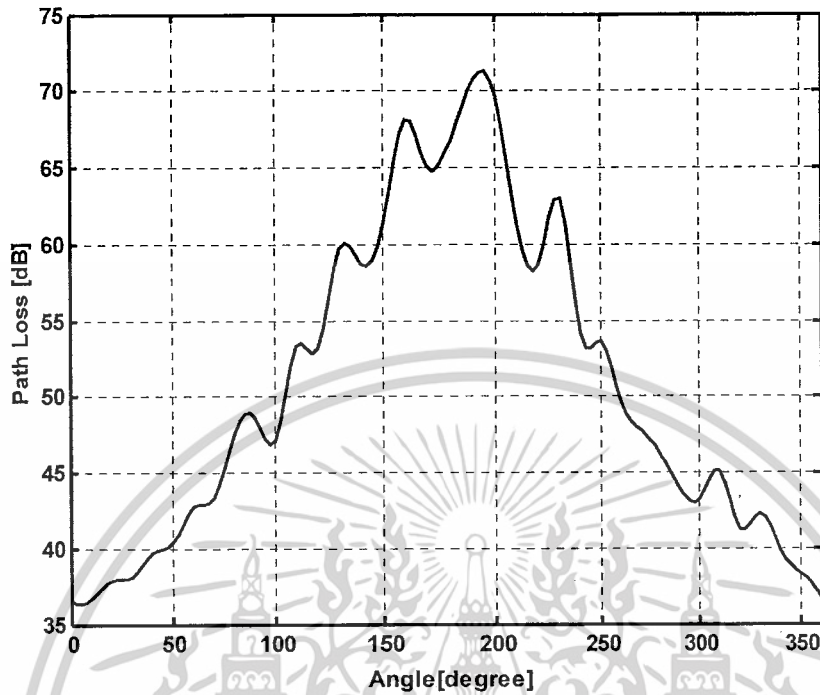
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.8 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะ 1.5 เมตร

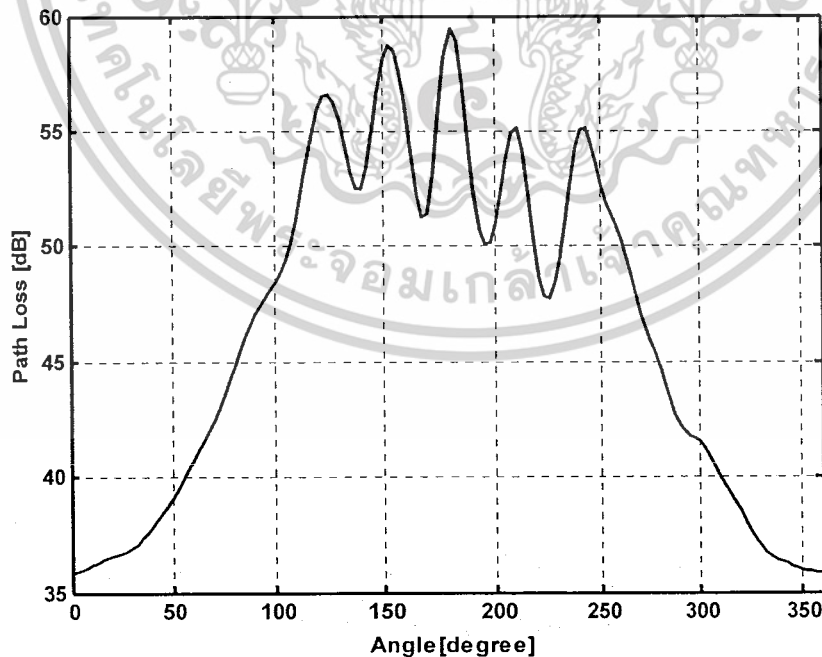
จากกราฟแสดงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของวัสดุแต่ละชนิดที่ระยะ 1.5 เมตรพบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณต่ำที่สุดและจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณมากขึ้นตามขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นถึงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณได้ชัดเจนในช่วงมุม 90 องศาถึง 270 องศา เพราะเป็นมุมทางด้านหลังของสายอากาศ



รูปที่ 5.34 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล้า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร



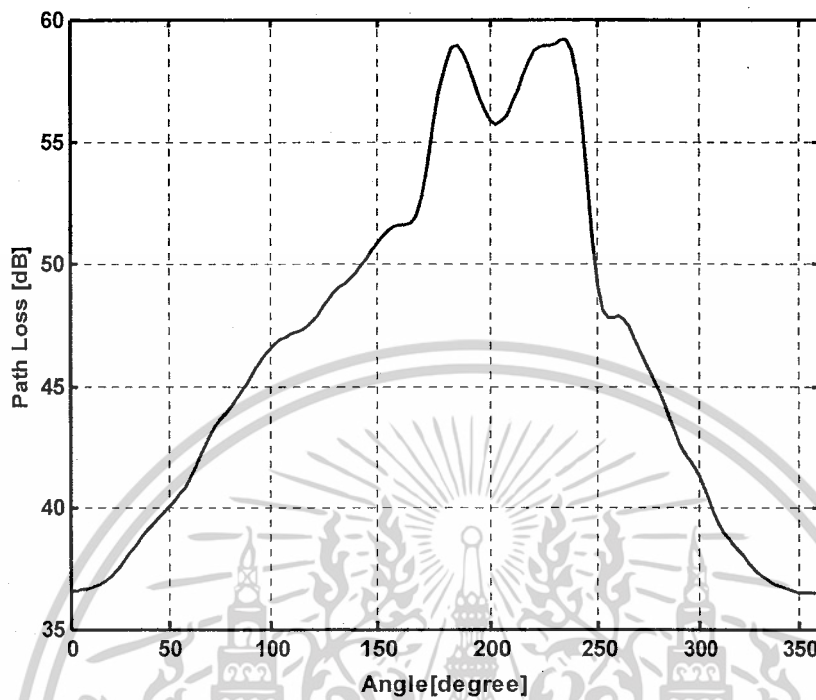
รูปที่ 5.35 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร



รูปที่ 5.36 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ)

โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

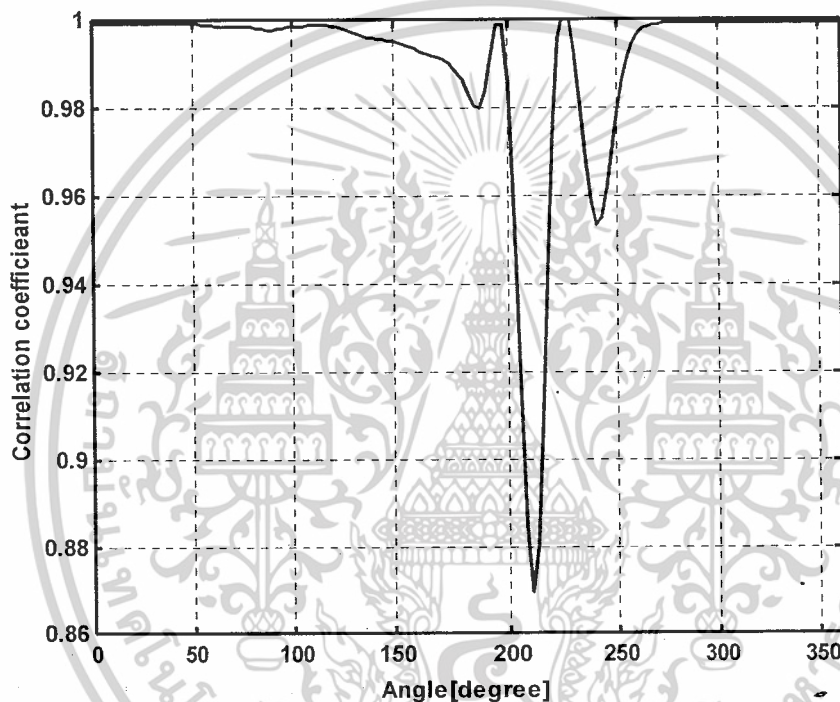


รูปที่ 5.37 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

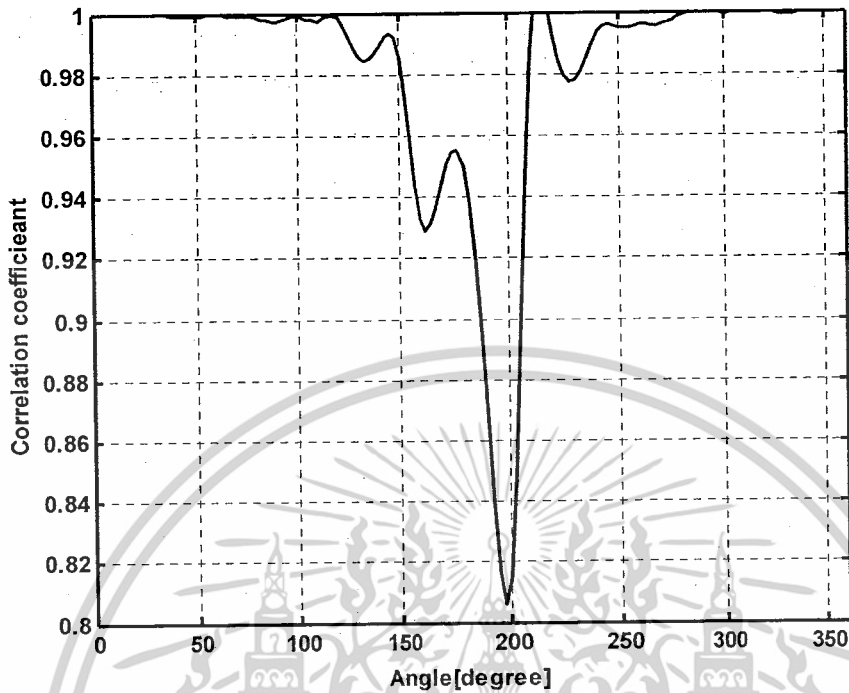
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.5 เมตร

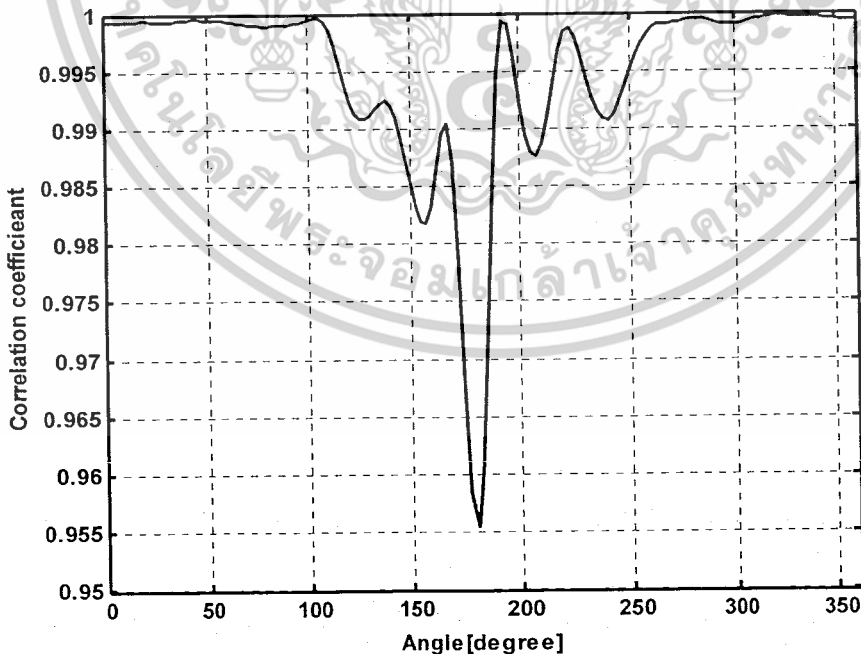
จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุดมีค่าเป็น 0.99 ซึ่งถือว่าเข้าใกล้ 1 มากและจะมีค่าลดลงในช่วง 90 องศาถึง 270 องศาเนื่องจากเป็นมุมทางด้านหลังของสายอากาศ



รูปที่ 5.38 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัตถุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

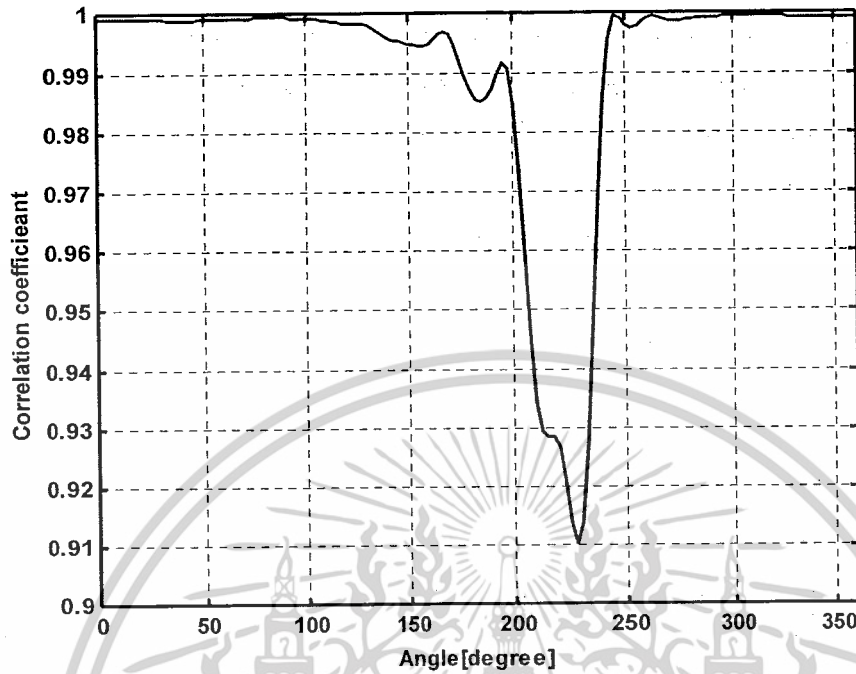


รูปที่ 5.39 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร



รูปที่ 5.40 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กลองโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

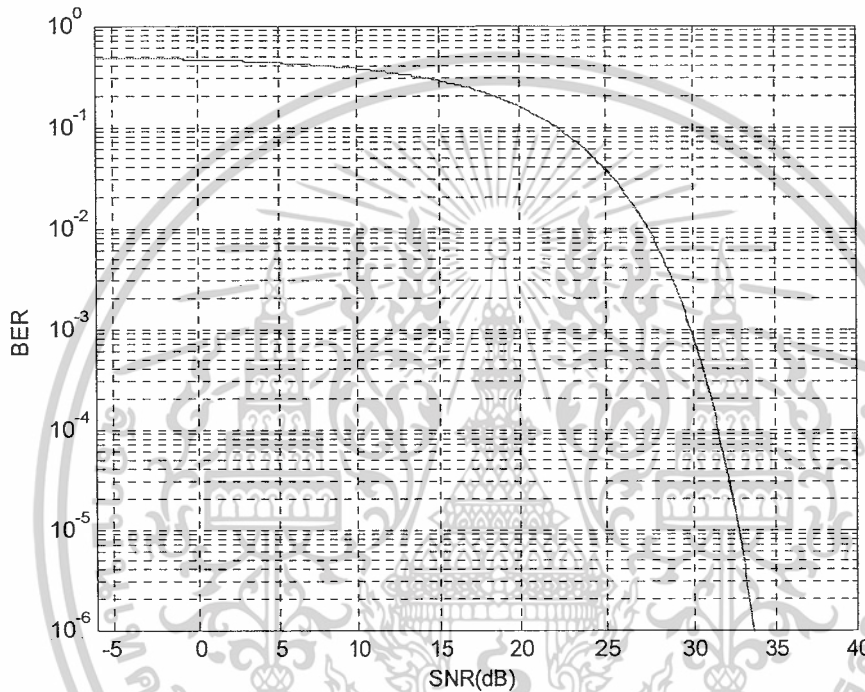


รูปที่ 5.41 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

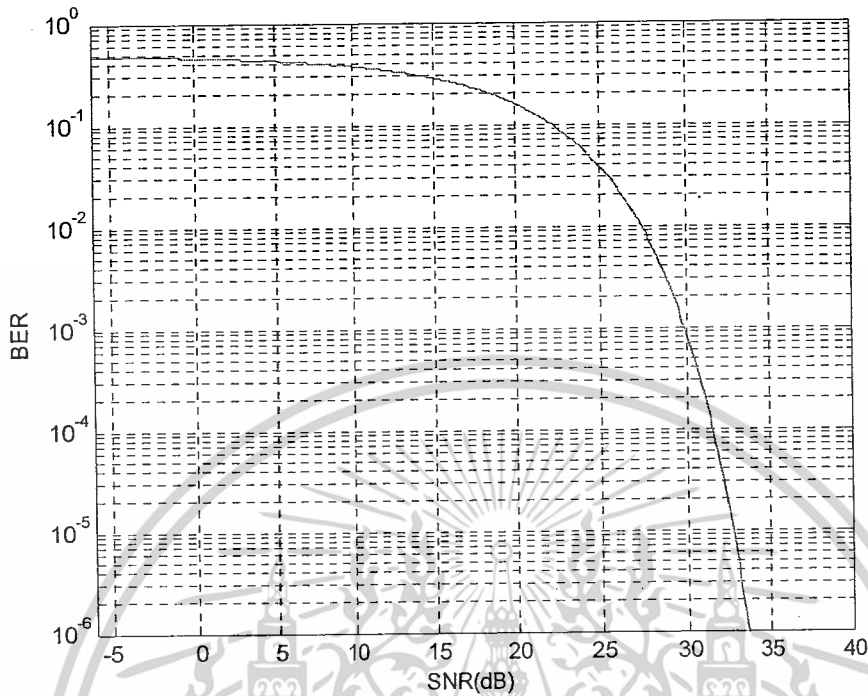
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.10 อัตราความผิดพลาดบิตที่ระยะ 1.5 เมตร

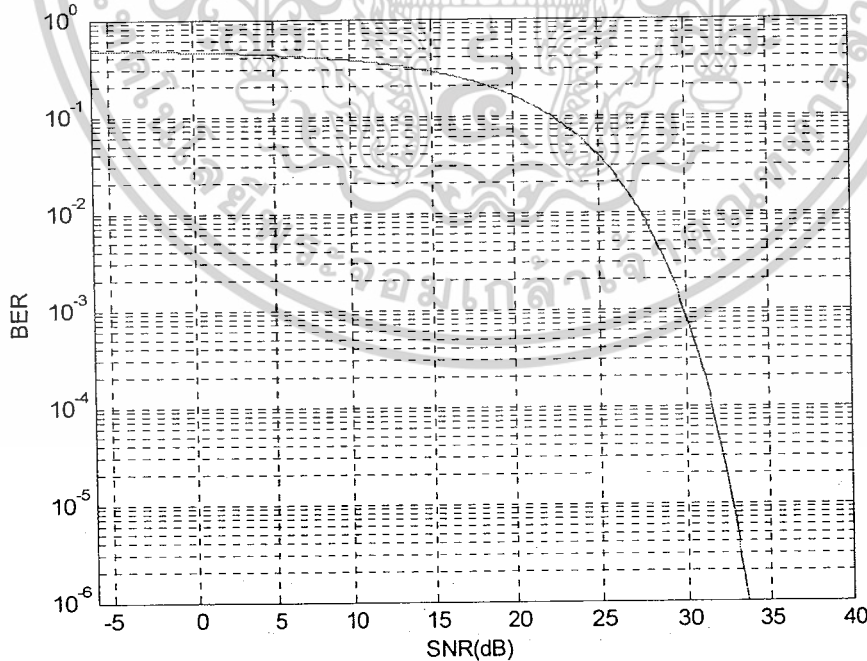
จากกราฟแสดงอัตราความผิดพลาดบิตของวัสดุต่างๆที่นำมาทดลองพบว่า ในช่วง SNR ตั้งแต่ -6 dB ถึง 40 dB จะเห็นได้ว่าที่ SNR เท่ากับ 29.9 dB จะมีอัตราความผิดพลาดบิตเท่ากับ 10^{-3} ซึ่งพบว่าที่มีค่าเท่ากันในทุกวัสดุที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 5.42 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

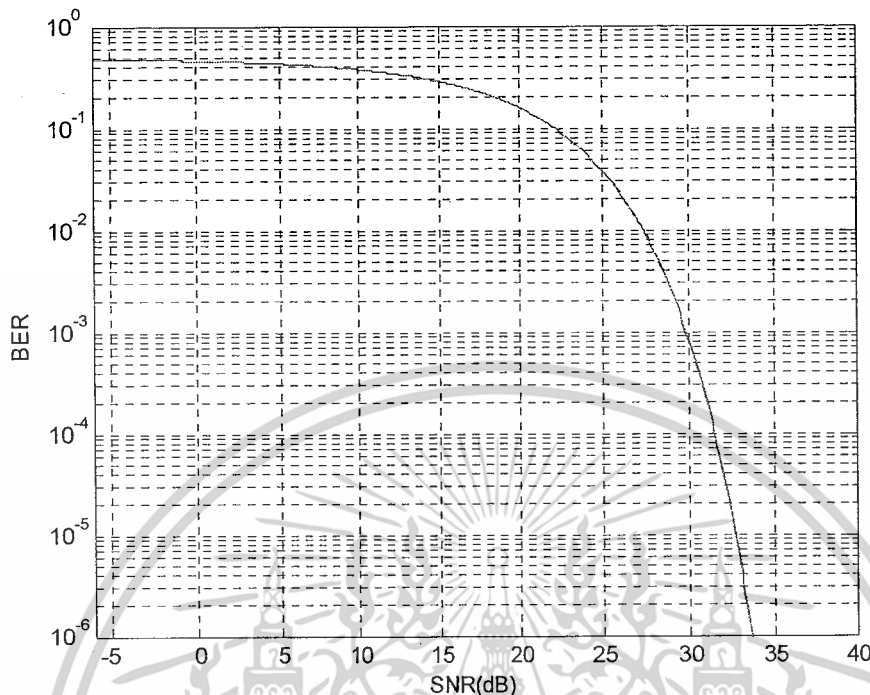


รูปที่ 5.43 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ร่างกายมนุษย์) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร



รูปที่ 5.44 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (กล่องโลหะ) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.45 อัตราความผิดพลาดบิตของแบบจำลองกรณีที่มีวัสดุ (ถังพลาสติก) โดยสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีระยะห่างเท่ากับ 1.50 เมตร

5.3 บทสรุป

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 แบบจำลองด้วยกันซึ่งจากการทดลองตามแบบจำลองทั้งสองสามารถสรุปได้ว่า ยิ่งขนาดของมุมที่ทำกันระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการส่งผ่านก็จะยิ่งลดต่ำลง (สัญญาณถูกลดทอน) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอาจเกิดการดูดกลืนสัญญาณและการสะท้อนของสัญญาณดังเห็นได้จากที่มุม 0 องศา จะสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุด เนื่องมาจากระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่าน้อยกว่าที่มุมอื่นๆ อีกทั้งสายอากาศแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรต์ที่ใช้ทดลองนั้น มีคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบตรง จึงทำให้ที่ตำแหน่ง 0 องศา รับสัญญาณได้ดีกว่ามุมอื่นๆ

ดังนั้นการนำเอาข้อมูลจากการทดลองวิจัยมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทำให้ทราบถึงผลที่ได้จากการทดลองวิจัยเพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการวิจัยและการออกแบบระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในอนาคตข้างหน้าได้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

เนื่องจากปัจจุบันมีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายประกอบกับในอนาคตเทคโนโลยีนี้จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของทุกคน ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิเคราะห์การส่งผ่านของสัญญาณการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีและสนองความต้องการของมนุษย์ ดังนั้นปริญาพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการศึกษาของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งในการหาคุณสมบัติต่างๆนี้ได้วิเคราะห์บนพื้นฐานทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีส และพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการหาค่าการสูญเสียของสัญญาณการส่งผ่าน ในส่วนของการทดลองวิจัยเราได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์สำหรับวัดค่าและเก็บข้อมูล นอกจากนี้ยังได้ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ย่านความถี่ไมโครเวฟที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบตรงในการทดลองวิจัย โดยได้ทำการวัดช่องสัญญาณจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการสูญเสียในการส่งผ่านของกรณีต่างๆ ตลอดจนคำนึงถึงการนำไปใช้งานจริงของการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุด้วย

6.2 สรุปผลการวิจัยของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ

ปริญาพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการทดลองออกเป็น 2 แบบจำลองด้วยกัน โดยแบบจำลองทั้งสองนี้ได้ทำการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณาหาการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุในย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต

6.2.1 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีการสูญเสีย

พิจารณาขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ พบว่าได้ว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและ ด้านรับ ทำมุมกัน 0 องศา สัญญาณจะมีขนาดสูงที่สุดและจากนั้นขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะมีขนาดลดลงตามขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้จากที่ตำแหน่งสายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 180 องศา สัญญาณจะมีค่าน้อยที่สุด

พิจารณาเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศพบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกัน 0 องศาเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศมีลักษณะเป็นเส้นตรง และเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกันเพิ่มขึ้น ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะมีแนวโน้มไม่เป็นเส้นตรง เห็นได้จาก ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกัน 135 องศา และ 180 องศา เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะไม่เป็นเส้นตรง

พิจารณาการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมกัน 0 องศา ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจะมีค่าต่ำที่สุด และจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณมากขึ้น ตามขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการสูญเสียของสัญญาณ

พิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับ ทำมุมที่มุมใดๆ จะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งที่สายอากาศทำมุมกัน 0 องศา มีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด

พิจารณาค่าอัตราความผิดพลาดบิตพบว่า ค่าอัตราความผิดพลาดบิตกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กัน โดยที่จุดซึ่งค่าอัตราความผิดพลาดบิตต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าสูง

6.2.2 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณกรณีที่มีวัสดุ (สายอากาศเปล่า, ร่างกายมนุษย์, ก่อถ่วงโลหะ, ถังพลาสติก)

พิจารณาขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศทั้งในระยะ 0.50 เมตรและ 1.50 เมตรพบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับทำมุมกัน 0 องศาจะมีขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 2.43 กิกะเฮิรตต์เท่ากันในทุกๆวัสดุที่ใช้ทดลอง

พิจารณาเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศของวัสดุที่ใช้ทดลองทั้งในระยะ 0.50 เมตรและ 1.50 เมตร พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศา และ 90 องศาเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นส่วนตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 180 องศา เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศจะไม่เป็นเชิงเส้น

พิจารณาการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมกัน 0 องศาของทุกวัสดุที่ใช้ทดลองทั้งในระยะ 0.50 เมตรและ 1.50 เมตรจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณต่ำที่สุดและเมื่อขนาดของมุมเพิ่มขึ้นค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจะแปรผันตรงกับขนาดของมุมที่เพิ่มขึ้น

พิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ทั้งในระยะ 0.50 เมตรและ 1.50 เมตรของวัสดุ แต่ละชนิดพบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับทำมุมกัน 0 องศา สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 1 และจะมีค่าลดลงเมื่อขนาดของมุมเพิ่มขึ้น

พิจารณาค่าอัตราความผิดพลาดบิต ของทุกๆวัสดุทั้งในระยะ 0.50 เมตรและ 1.50 เมตรพบว่า ในช่วง SNR ตั้งแต่ -6 dB ถึง 40 dB จะเห็นได้ว่าที่ SNR เท่ากับ 29.8 dB จะมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตเท่ากับ 10^{-3} ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากันในทุกๆวัสดุที่ใช้ทดลอง

ดังนั้นจากการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมา ซึ่งเป็นการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 กิกะเฮิร์ต โดยในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 แบบจำลองด้วยกัน ซึ่งจากการทดลองกรณีที่ไม่มียวสตุ สามารถสรุปได้ว่า ยิ่งขนาดของมุมที่ทำกันระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการส่งผ่านก็จะยิ่งลดต่ำลง (สัญญาณถูกลดทอน) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอาจเกิดการคูกคลื่นสัญญาณ และการสะท้อนของสัญญาณ ดังเห็นได้จากที่มุม 0 องศา จะสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุด เนื่องมาจากระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่งมีค่าน้อยกว่าที่มุมอื่นๆ อีกทั้งสายอากาศแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตที่ใช้ทดลองนั้น มีคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบตรง จึงทำให้ที่ตำแหน่ง 0 องศา รับสัญญาณได้ดีกว่ามุมอื่นๆ

นอกจากนี้เรายังสรุปได้อีกว่าสายอากาศแบบไมโครสตริปมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ เนื่องจากมีขนาดเล็ก สร้างง่าย ราคาถูก และมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรง ซึ่งปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองวิจัยในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป โดยข้อมูลที่ได้อาจทั้งหมดนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้ร่วมกับมนุษย์ในอนาคตข้างหน้าได้เป็นอย่างดี

6.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินโครงการ

1. สามารถรู้หลักการทำงานของระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ
2. สามารถนำเทคโนโลยีระบบการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้ในชีวิตประจำวันได้
3. สามารถนำผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ ไปพัฒนาและเลือกใช้สายอากาศที่เหมาะสมได้

เหมาะสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ

สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง ไม่เหมาะสมมากเพียงพอ เนื่องจากเกิดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม

6.5 แนวทางการแก้ปัญหา

ควรเปลี่ยนไปใช้สถานที่ที่มีการสะท้อนของสัญญาณต่ำ เพื่อการวิเคราะห์สัญญาณที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

6.6 ข้อเสนอแนะ

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองการส่งผ่านของสัญญาณ โดยได้พิจารณาการสูญเสียของช่องสัญญาณการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุโดยทำการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวยังไม่ได้ครอบคลุมการใช้งานจริงทั้งหมด ดังนั้นเราต้องคำนึงถึงปัจจัยในหลายๆ ด้านที่ส่งผลต่อช่องสัญญาณอัน ได้แก่ สภาวะแวดล้อมแบบต่างๆ เช่น สภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร สภาวะแวดล้อมแบบ โครงข่ายท้องถิ่น รวมทั้งสิ่งแวดล้อมรอบข้างก็ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณได้ เช่น สภาพอากาศขณะใช้งาน วัสดุอุปกรณ์ที่อยู่ในบริเวณการใช้งาน ตลอดจนการรบกวนจากการสื่อสารไร้สายแบบอื่นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำให้เกิดการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุทั้งสิ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการพิจารณาศึกษากันต่อไป

ท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูล กระบวนการและเทคนิคที่ได้นำเสนอไปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประ โยชน์ในการศึกษาค้นคว้า เพื่อพัฒนาระบบการสื่อสารแบบระบบตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้ร่วมกับมนุษย์ต่อไปในอนาคตข้างหน้าได้

เอกสารอ้างอิง

B. Manish, M. Shahram, "RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems," 2005, Ltd ISBN: 0-13-185355-4.

K. Finkenzerler, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification," 2003, Ltd ISBN: 0-470-84402-7.

M.L Ng,P.H Cole, "The reader collision problem in RFID systems", presented in MAPE 2005, Beijing, August 2005.

S. Lahiri "RFID Sourcebook," August 2005, Ltd ISBN: 0-13-185137-3.

M.L Ng,P.H Cole, "The reader collision problem in RFID systems," presented in MAPE 2005, Beijing, August 2005.

"A Basic Introduction to RFID Technology and its use in the Supply Chain," January 2004.

H. T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," Vol. 34, no 5, May 1946.

T.S Rappaport, "Wireless Communication - Principles and Practice," Practice Hall, Second Edition, 2002.

Leon W.Couch 2, "Digital and Analog Communication Systems," Sixth Edition, 2002.

"Advanced Wireless Communications 4G Technologies," Savo Glisic University of Oulu, Finland, 2004

RFID Explained A Primer on Radio Frequency Identification Technologies Roy Want
www.morganclaypool.com A Publication in the Morgan and Claypool Publishers series.

P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamantanti and P. Juengkittigul, "An Indoor Measurement of RFID Transmission Gain for Wireless Body Area Network," The 1st Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT2007), Vol. 1, pp. 21-24, 19-22 Dec 2007.

P. Malison, S. Promwong and N. Sukutamantanti, "Characterization of Double Directional RFID in an Indoor Environment with Human Body," International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE-2008), Vol. 2, pp. 1027-1031, 13-15 May 2008.

P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamantanti and T. Banpotjit, "Indoor Measurement and Modeling of RFID Transmission Loss at 5.8 GHz with Human Body," The fifth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication and Information Technology (ECTI-CON 2008), Vol. 5, pp. 421-424, 14-17 May 2008.

Ghaddar, M.; Talbi, L.; Denidni, T.A.; Charbonneau, A. Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on Volume 3, Issue, 2-5 May 2004 Page(s): 1357 - 1360 Vol.3 “Modeling human body effects for indoor radio channel using UTD ”

B. Gyselinckx, C. Van Hoof, J. Ryckaert, R.F. Yazicioglu, P. Fiorini, V. Leonov IMEC “Human++: Autonomous Wireless Sensors for Body Area Networks”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้