สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบแผนการประเมินผลการวัดของการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในแถบไมโครเวฟสำหรับระบบระยะสั้น

EXPERIMENTAL EVALUATION SCHEME OF RFID TRANSMISSION IN MICROWAVE BAND FOR SHORT RANGE SYSTEM

T103074

โดย

นางสาวเกศรา จุลพันธ์

ว่าที่ร้อยตรีโกมล โกสี

นายฐาปกรณ์ โภคาวัฒนา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 103074
วัน,เดือน,ปี 27 ส.ค. 2552

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL EVALUATION SCHEME OF RFID TRANSMISSION IN MICROWAVE BAND FOR SHORT RANGE SYSTEM

BY

MISS KATESARA JUNLAPAN

ACTING SUB LT. KOMOL KOSEE

MR. THAPPAKORN POKAWATTANA

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	แบบแผนการประเมินผลการวัดของการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในแถบไมโครเวฟสำหรับระบบระยะสั้น
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเกศรา จุลพันธ์ รหัสนักศึกษา 49015441
	ว่าที่ร้อยตรีโกมล โกสี รหัสนักศึกษา 49015442
	นายฐาปกรณ์ โภคาวัฒนา รหัสนักศึกษา 49015448
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.พิชญ สุพรรณกูล
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2551

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

ผศ.พิชญ สุพรรณกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แบบแผนการประเมินผลการวัดของการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในแถบไมโครเวฟสำหรับระบบระยะสั้น
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเกศรา จุลพันธ์ รหัสนักศึกษา 49015441
	ว่าที่ร้อยตรีโกมล โกสี รหัสนักศึกษา 49015442
	นายฐาปกรณ์ โภคาวัฒนา รหัสนักศึกษา 49015448
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.พิชญ สุพรรณกูล
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2551

บทคัดย่อ

ระบบการสื่อสารแบบไร้สายมีสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง คือการสูญเสียจากการแพร่กระจายของคลื่นในตัวกลางอวกาศว่าง ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการวิจัยคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุของระบบแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุระหว่างเครื่องอ่านกับฉลากอิเล็กทรอนิกส์ที่ขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางที่แตกต่างกันที่ความถี่ 2.45 GHz ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ได้วัดฟังก์ชั่นการถ่ายโอนช่องสัญญาณของระบบสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในช่วงความถี่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz และได้ใช้สายอากาศแบบแผ่นไมโครสตริปที่ย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับของแบบจำลองแต่ละแบบ ได้ทำการประเมินหาค่าขนาดและเฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี อัตราการขยายเชิงวิถี สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าความผิดพลาดของบิต แบบแผนการประเมินผลการวัดที่ได้นำเสนอนี้สามารถนำมาใช้ศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุให้ดีขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Experimental Evaluation Scheme of RFID Transmission in Microwave Band for Short Range System		
Student	Miss Katesara	Junlapan	Student ID. 49015441
	Acting Sub Lt. Komol	Kosee	Student ID. 49015442
	Mr. Thapakorn	Pokawattana	Student ID. 49015448
Thesis Advisor	Asst. Prof. Pitchaya Suphankoon		
Thesis Co-Advisor	Mr. Sathaporn Promwong		
Degree	Bachelor Degree of Information Engineering		
Program	Information Engineering		
Year	2008		

ABSTRACT

One important consideration in wireless communication systems is the loss in free space propagation. This thesis focuses on the radio propagation behavior of radio frequency identification (RFID) systems between reader and tags operating in the frequency of 2.45 GHz and placed at different angles and distances in the indoor environment. The channel transfer functions of RFID systems are measured using the vector network analyzer (VNA) from 2.3 GHz to 2.6 GHz frequency range. The microwave-band microstrip antennas are used as both transmitter and receiver antennas in all models. The magnitude and phase of channel transfer function, past loss, path gain, correlation coefficient and bit error rate are evaluated. This proposed experimental evaluation scheme can be used to study and improve the performances of RFID systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ สุพรรณกูล ดร.พนารัตน์ เชิญณอมวงศ์ และอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศอย่างเป็นที่สุด ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ เนื่องจากการอนุเคราะห์ อบรมสั่งสอน ดูแลลูกศิษย์ คอยแนะนำชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัยอย่างดีเยี่ยม ตลอดจนความเป็นห่วงที่คอยสอบถามปัญหาของงานวิจัยมาโดยตลอด ทำให้ผู้จัดทำมีความรู้และสามารถ ผู้เขียนมีความซาบซึ้งจากใจจริงต่อความเป็นอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้าอย่างต่อเนื่อง

ขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่คอยให้ข้อเสนอแนะ และคอยสอบถามถึงความคืบหน้าของงานวิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ ที่ผู้จัดทำมิอาจลืมได้คือพระคุณของ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง มาโดยตลอด ที่ทำให้ทางคณะผู้จัดทำสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญรูป ..... ช

สารบัญตาง ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 3

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

1.5 การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน 3

1.6 ขอบเขตการวิจัย 4

1.7 ขั้นตอนของการดำเนินโครงงาน 4

1.8 ขั้นตอนการศึกษา 5

บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับ RFID 6

2.1 กล่าวนำ 6

2.2 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสาร RFID 8

2.3 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID 9

2.3.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags/Transponder) ของระบบ RFID 10

2.3.1.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กตีฟ (Active Tag) 13

2.3.1.2 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) 14

2.3.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator) 15

2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID 17

2.4.1 การสื่อสารแบบไร้สายของเทคโนโลยี RFID 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 การเข้ารหัส (Coding) 19

2.4.3 การผสมข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital Modulation Procedure) 21

2.4.3.1การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude Shift Keying: ASK)..21

2.4.3.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency Shift Keying: FSK)..... 22

2.4.3.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase Shift Keying: PSK) 22

2.5 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID 24

2.5.1 คลื่นพาหะของระบบ RFID 24

2.5.2 มาตรฐานของระบบ RFID 26

2.5.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบ RFID ในประเทศไทย 29

2.5.4 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิดกับระบบปิด 30

2.6 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision) 31

2.7 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์ 31

2.8 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง 31

2.9 จุดเด่นของระบบการสื่อสาร RFID 32

2.10 การนำระบบ RFIDไปใช้งาน 34

2.11 ข้อจำกัดของ RFID 40

2.12 บทสรุป 42

บทที่ 3 ทฤษฎีและการวิเคราะห์การถ่ายโอนช่องสัญญาณของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 43

3.1 กล่าวนำ 43

3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นวิทยุ 43

3.2.1 การสะท้อนของคลื่น 43

3.2.2 การหักเหของคลื่น 44

3.2.3 การแพร่กระจายคลื่น 45

3.3 ทฤษฎีการส่งผ่านในอวกาศว่างของฟรีส 45

3.4 การวิเคราะห์การส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) 47

3.4.2 อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain) 48

3.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) 48

3.4.4 อัตราความผิดพลาดต่อบิต BER (Bite Error Rate) 49

3.5 บทสรุป 50

บทที่ 4 การวัดและแบบจำลอง 51

4.1 กล่าวนำ 51

4.2 สิ่งที่ควรคำนึงในการออกแบบและการวัดค่าในการทดลอง 51

4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ 51

4.4 ขั้นตอนการออกแบบโมเดล 54

4.5 การออกแบบโมเดลวัดแบบรูปตัวแอล ระบบ RFID 2.45 GHz 55

4.6 การออกแบบโมเดลวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลม ระบบ RFID 2.45 GHz 56

4.7 การออกแบบโมเดลวัดแบบระยะทางควงกลม ระบบ RFID 2.45 GHz 58

4.8 บทสรุป 59

บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล 60

5.1 กล่าวนำ 60

5.2 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร แบบที่ 1 60

5.2.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน 60

5.2.2 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี 62

5.2.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 65

5.2.4 การหาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิต 66

5.3 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดสัญญาณภายในอาคาร แบบที่ 2 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน 68
5.3.2 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี 69
5.3.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 77
5.3.4 การหาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิต 81
5.4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดสัญญาณภายในอาคาร แบบที่ 3 85
5.4.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน 85
5.4.2 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี 86
5.4.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 90
5.4.4 การหาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิต 93

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 97
6.1 สรุปผลการทดลอง 97
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง 98

เอกสารอ้างอิง 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ 1
1.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการ 4
2.1 เทคโนโลยีระบบ Auto ID ในปัจจุบัน 6
2.2 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID 9
2.3 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบRFID 10
2.4 โครงสร้างภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบRFID 11
2.5 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กตีฟ (Active Tag) 13
2.6 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ (Passive tag) 14
2.7 เครื่องอ่านของระบบ RFID 15
2.8 ตัวโครงสร้างภายในของเครื่องอ่านระบบ RFID 16
2.9 แผนผังการทำงานของระบบ RFID 17
2.10 การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบ RFID 18
2.11 บล็อกไดอะแกรมในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล 19
2.12 ชนิดของ Line code ที่ใช้ในระบบ RFID 20
2.13 สัญญาณรูปคลื่นที่เข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester) 21
2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude shift keying) 22
2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying) 22
2.16 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying) 23
2.17 ตำแหน่งที่เหมาะสมของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ในระบบ RFID 23
2.18 ย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID 25
2.19 ระบบตรวจสอบการเข้าออก (Security access control) 34
2.20 ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-passport) 35
2.21 ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์และบัตรสมาชิก (E-ticket/Member card/Toll tags) 35
2.22 ระบบกุญแจอิลีกทรอนิกส์ (Electronic immobilizer) 36
2.23 ระบบ Animal tracking 36
2.24 ระบบ Logistic 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.25 ตัวอย่างชิป RFID ที่ฝังไว้ในผิวหนังมนุษย์ 38
2.26 การใช้ RFID ในการตรวจสอบชั้นหนังสือ 40
3.1 การสะท้อนของคลื่นวิทยุ 43
3.2 การหักเหของคลื่นวิทยุ 44
3.3 การเลี้ยวเบนของคลื่น 45
3.4 บล็อกไดอะแกรมการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างของฟรีส 46
3.5 บล็อกไดอะแกรมการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 46
4.1 สายอากาศแบบสายอากาศไมโครสตริป 52
4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ 8510 C 52
4.3 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองวิจัย 53
4.4 แบบแผนและขั้นตอนการทดลองวิจัย 54
4.5 แบบจำลองการทดลองวัดเป็นแบบรูปตัวแอล 55
4.6 แบบจำลองการทดลองวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลม 57
4.7 แบบจำลองการทดลองวัดแบบระยะทางวงกลม 58
5.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน 61
5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน 61
5.3 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง Line Of Sight 62
5.4 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง Non Line Of Sight 63
5.5 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง Line Of Sight 64
5.6 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง Non Line Of Sight 64
5.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง Line Of Sight 65
5.8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง Non Line Of Sight 66
5.9 อัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง Line Of Sight 67
5.10 อัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง Non Line Of Sight 67
5.11 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ระยะ 0.5,0.1,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.12 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ระยะ 0.5, 0.1,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร 69
5.13 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5 เมตร 70
5.14 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.0 เมตร 70
5.15 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.5 เมตร 71
5.16 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.0 เมตร 71
5.17 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.5 เมตร 72
5.18 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 3.0 เมตร 72
5.19 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5, 0.1,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร 73
5.20 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5 เมตร 74
5.21 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.0 เมตร 74
5.22 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.5 เมตร 75
5.23 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.0 เมตร 75
5.24 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.5 เมตร 76
5.25 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 3.0 เมตร 76
5.26 การเปรียบเทียบค่าอัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5, 0.1,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร 77
5.27 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 0.5 เมตร 78
5.28 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.0 เมตร 78
5.29 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.5 เมตร 79
5.30 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 2.0 เมตร 79
5.31 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 2.5 เมตร 80
5.32 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 3.5 เมตร 80
5.33 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 0.5, 0.1,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร 81
5.34 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 0.5 เมตร 82
5.35 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 1.0 เมตร 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.36 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 1.5 เมตร 83
5.37 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.0 เมตร 83
5.38 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.5 เมตร 84
5.39 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 3.0 เมตร 84
5.40 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ระยะ 0.5,0.1,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร 85
5.41 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ระยะ 0.5, 0.1,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร 86
5.42 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5 เมตร 87
5.43 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.0 เมตร 87
5.44 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.5 เมตร 88
5.45 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.0 เมตร 88
5.46 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.5 เมตร 89
5.47 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 3.0 เมตร 89
5.48 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 0.5 เมตร 90
5.49 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.0 เมตร 91
5.50 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.5 เมตร 91
5.51 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 2.0 เมตร 92
5.52 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 2.5 เมตร 92
5.53 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 3.5 เมตร 93
5.54 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 1.5 เมตร 94
5.55 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.0 เมตร 94
5.56 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.5 เมตร 95
5.57 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 3.0 เมตร 95
5.58 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 1.5 เมตร 96
5.59 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.0 เมตร 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

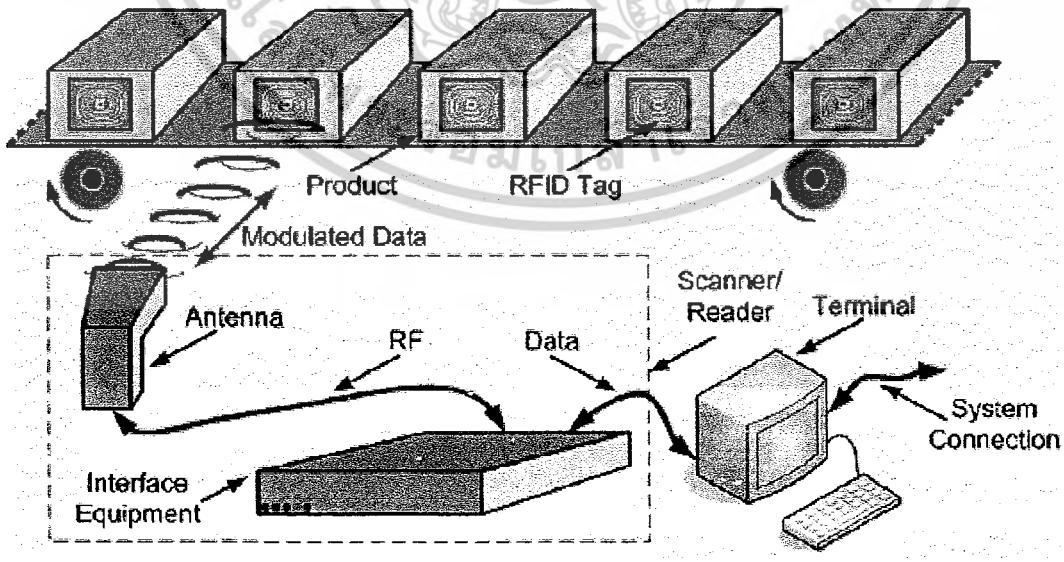
2.1 ย่านความถี่ของระบบ RFID และการใช้งาน 25
2.2 เปรียบเทียบย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID 26
2.3 มาตรฐานย่านความถี่ของระบบ RFID ตามชนิดของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) 29
2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ RFID และ บาร์โค้ด 40
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบรูปตัวที 56
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลม 57
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบระยะทางวงกลม 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification: RFID) ได้เข้ามามีบทบาทในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งถูกพัฒนาให้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในด้านการส่งข้อมูลและการเก็บข้อมูลควบคู่ไปกับการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ การแลกเปลี่ยนสินค้า และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทั่วโลก เพื่อระบุและจำแนกบุคคลและสิ่งของได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น ซึ่งระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้นมีสารประโยชน์อันหลากหลายมากกว่าเทคโนโลยีระบบบ่งชี้อัตโนมัติอื่นๆ อาทิเช่น เทคโนโลยีรหัสแถบ (Barcode) เป็นต้น โดยจุดเด่นของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของวัตถุได้พร้อมกันหลายๆวัตถุโดยที่ไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านได้ในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่และสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง และสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ พลาสติก กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ



รูปที่ 1.1 เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเป็นระบบที่ใช้คลื่นความถี่พาห์แบบแถบแคบ ย่านความถี่ที่ได้รับการจัดสรรให้ใช้งานประกอบไปด้วย 125 KHz,13.56 MHz ,868/915 MHz และ 2.45/5.8 GHz ในกรณีที่มีการใช้งานระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในระยะหวังผลที่ไกลมากกว่า 1 เมตรขึ้นไป ระยะห่างที่ห่างมากขึ้นระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย จะทำให้เกิดการลดทอนประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้ที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz และ 5.8 GHz คลื่นความถี่วิทยุในย่านดังกล่าวนี้จัดเป็นคลื่นความถี่สูง มีค่าความยาวคลื่นสั้น ก่อให้เกิดผลดีในการออกแบบระบบสายอากาศที่มีขนาดเล็ก ทั้งยังมีสมรรถนะในการรับส่งสัญญาณที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้งานในแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 30 MHz ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นว่ามีผลอย่างไรต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ เป็นเทคโนโลยีใหม่ และมีการศึกษาวิจัยน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz เป็นคลื่นความถี่สูงซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นมีสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นในตัวกลางอวกาศว่าง และเมื่อกล่าวถึงระบบการสื่อสารของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ตัวแปรที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับระบบ คือ คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่น การศึกษาในส่วนของคุณลักษณะช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้นี้ถือว่าเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละระบบขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ระบบนั้นๆใช้งานอยู่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ออกแบบจำลองช่องสัญญาณเพื่อจำลองช่องลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่ใช้ในเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้น เนื่องจากจำเป็นต้องใช้แบบจำลองช่องสัญญาณของการสื่อสารที่สร้างมาจากสภาวะแวดล้อมที่ระบบการสื่อสารนี้นำไปใช้งานจริง และศึกษาในส่วนของคุณลักษณะช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งขึ้นอยู่กับมุม และระยะทางที่แตกต่างกันในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร เพื่อพัฒนาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากระบบการสื่อสารไร้สายในเทคโนโลยีแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ได้มีการพัฒนาและมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคโนโลยีแบบระบบบ่งชี้อัตโนมัติอื่น และในปัจจุบันถูกนำไปใช้ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารเป็นจำนวนมาก จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องทำการทดสอบช่องสัญญาณและทราบถึงคุณสมบัติของระบบการสื่อสารในสภาวะแวดล้อมดังกล่าว เราจึงได้มีการจำลองการทำงานของระบบการสื่อสารไร้สายในเทคโนโลยีแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ คือ ตำแหน่งมุมและระยะทางที่แตกต่างกัน โดยการจำลองช่องสัญญาณแต่ละแบบนั้นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลายๆ พารามิเตอร์ด้วยกัน เช่น กำลังการสูญเสียเชิงวิถี (Power loss) อัตราการขยายเชิงวิถี (Power gain) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) และอัตราบิตผิดพลาด (Bit error rate) โดยได้นำพารามิเตอร์ดังกล่าวไปคำนวณ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของคุณลักษณะช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางที่แตกต่างกันในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ในการวิเคราะห์สัญญาณได้พิจารณาใช้ทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission formula) และพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์ และใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรง ทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz เพื่อครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ โดยสัญญาณส่งของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเป็นรูปคลื่นความถี่พาห์แบบแถบแคบที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz และใช้การมอดูเลตแบบ ASK (Amplitude shift keying) ซึ่งเป็นไปตามนิยามของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

มีนักวิจัยจำนวนมากพยายามวิเคราะห์ช่องสัญญาณด้วยปัจจัยหลาย ๆ อย่างมาใช้เพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ส่วนใหญ่เป็นคลื่นความถี่ต่ำกว่า 30 MHz จึงได้สร้างแบบจำลองของช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่ย่านความถี่สูงหรือย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz สภาวะแวดล้อมดังกล่าวยังไม่มีผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

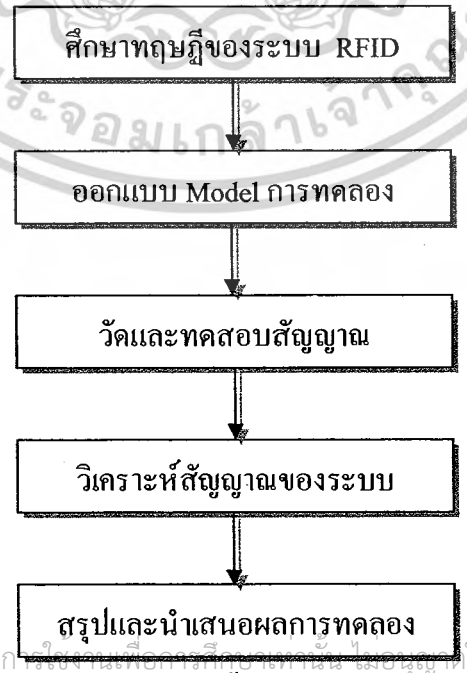
ทำการทดสอบและเป็นสภาวะแวดล้อมที่ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุได้นำไปใช้งานจริง จึงจำเป็นต้องทราบถึงค่าคุณสมบัติต่างๆ และค่าพารามิเตอร์ รวมทั้งการกำหนดตัวแปรที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้ได้มาจากการทดสอบช่องสัญญาณภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต้องนำเอาระบบไปใช้งาน เสมือนกับว่าคุณลักษณะและพารามิเตอร์ที่ได้วิเคราะห์ออกมานั้นเป็นค่าของช่องสัญญาณนั้นจริงๆ เพื่อนำไปประเมินการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของสัญญาณระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ รวมทั้งสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของระบบให้ดียิ่งขึ้น

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี และหลักการทำงานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุสำหรับสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร เพื่อศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณการแพร่ กระจายคลื่น โดยพิจารณาถึงค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss),อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain),ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) และ อัตราความผิดพลาดต่อบิต BER (Bite Error Rate) ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาระบบให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

1.7 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

ในการดำเนินโครงงานได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยี RFID ซึ่งประกอบไปด้วยกล่าวนำ ประวัติและความเป็นมา ส่วนประกอบและหลักการทำงาน จุดเด่นของระบบ ย่านความถี่และมาตรฐาน การเข้ารหัส การป้องกันการชนกัน ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์ การประยุกต์ไปใช้งาน และบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและการวิเคราะห์การสูญเสียในการส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นวิทยุ ทฤษฎีการส่งผ่านในอวกาศว่างของฟรีส การวิเคราะห์การส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงการวัดและการทดลองวิจัยระบบ RFID ซึ่งประกอบด้วยบทนำ การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่ อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองวัด พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ การทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบ RFID และบทสรุป

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัยระบบ RFID

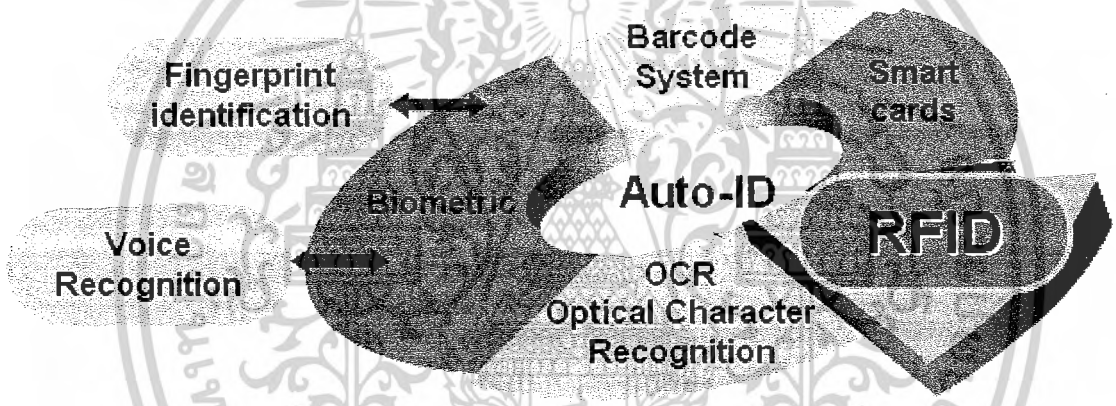
บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเกี่ยวกับ RFID

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีแสดงตัวตนแบบอัตโนมัติ (Automatic identification: Auto ID) ถูกนำมาใช้งานและพัฒนาไปอย่างมาก ทั้งในภาคอุตสหกรรม ลอจิสติกส์ กระบวนการผลิต การขนถ่ายวัตถุดิบ การจัดเก็บข้อมูลเพื่อระบุลักษณะเฉพาะของคน สัตว์ สิ่งของ ระบบ Auto ID ที่ใช้งานในปัจจุบันมีมากมาย แต่ปัจจุบันนี้ระบบ RFID กำลังมีบทบาทเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.1 เทคโนโลยีระบบ Auto ID ในปัจจุบัน

ระบบ Auto ID ซึ่งเป็นที่รู้จักและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ ระบบบาร์โค้ด (Barcode system) สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น บนหีบห่อสินค้า หนังสือ หรือบนตัวสินค้า เนื่องจากมีต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำและง่ายต่อการใช้งานจึงเป็นเหตุผลให้บาร์โค้ดถูกนำมาใช้งานมากที่สุดแต่บาร์โค้ดนั้นมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ จัดเก็บข้อมูลจำกัด และมีปัญหาระหว่างการอ่านได้ง่าย ระบบ Auto ID ที่เรารู้จักรองลงมาจากบาร์โค้ด คือ ระบบสมาร์ทการ์ด (Smart card system) เป็นระบบที่กำลังมีบทบาทอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันเราจะพบเห็นสมาร์ทการ์ดในรูปแบบของบัตรต่างๆ เช่น บัตรโดยสาร ซิมการ์ดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และบัตรสมาชิกตามคลับต่างๆ สมาร์ทการ์ดจะใช้แถบแม่เหล็กหรือไมโครชิพในการอ่านและเขียนข้อมูลโดยมีข้อดีคือ สามารถเก็บข้อมูลได้มากและปลอดภัย แต่เนื่องจากเป็นแถบแม่เหล็ก ซึ่งวิธีการอ่านข้อมูลจากสมาร์ทการ์ดจะต้องใช้วิธีสัมผัสทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องอ่านเมื่อใช้เป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัจจัยต่างๆที่ได้กล่าวนั้นจึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีระบบการสื่อสารไร้สายแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification: RFID) มาใช้งาน ซึ่งเป็นระบบที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่วิทยุเป็นพาหะในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) และเครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่งมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล เพื่อระบุตัวตน หรือสิ่งของด้วยลักษณะเฉพาะ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีแนวโน้มการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในหลายๆด้าน โดยจุดเด่นของระบบ RFID คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของวัตถุได้พร้อมกันหลายๆวัตถุโดยที่ไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง และสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่าง เช่น น้ำ พลาสติก กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีระบบการสื่อสาร RFID นั้นเป็นระบบที่ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก

RFID เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การนำเทคโนโลยี RFID ไปประยุกต์ใช้งานมีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป แต่จะขึ้นอยู่บนหลักพื้นฐานเดียวกัน คือ การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการระบุเอกลักษณ์ของวัตถุ บอกตำแหน่ง ติดตามและตรวจสอบสินค้า โดยการติดฉลากอิเล็กทรอนิกส์ RFID แทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้งานกันในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นในวงการปศุสัตว์ การป้องกันโจรกรรมรถยนต์ โรงงาน การกีฬา และแม้กระทั่งวงการแพทย์ การประยุกต์ใช้ RFID มาใช้งานทั้งหมดนั้นเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านและเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ เช่นในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆได้ สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ดังกล่าวนั้นมีทั้งแบบสมาร์ตการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ตการ์ด (Contactless smart card) อาทิเช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรสำหรับผ่านเข้าออกอาคารและการควบคุมยานพาหนะ ฉลากของสินค้า และในปัจจุบันขนาดของป้ายชื่อหรือฉลากอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียวเพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น โดยในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติและความเป็นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของหลักการทำงาน คลื่นความถี่และมาตรฐาน รวมถึงข้อกำหนดต่างๆ และการนำไปใช้งานของเทคโนโลยีระบบการสื่อสาร RFID

2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสาร RFID

ในราวต้นศตวรรษที่ 20 ประมาณปี ค.ศ. 1922 ได้มีการนำเทคโนโลยีเรดาร์มาใช้ทางทหาร เพื่อระบุตำแหน่งวัตถุ โดยใช้เครื่องรับ-ส่งคลื่นวิทยุ ส่งคลื่นวิทยุ (Radio Frequency) ออกไปยังวัตถุหรือเครื่องบินที่กำลังบินผ่านเขตน่านฟ้าของประเทศเพื่อระบุตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือเครื่องบินโดยนำมาวิเคราะห์ เพื่อระบุตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน และทำการระบุว่าเครื่องบินดังกล่าวเป็นของฝ่ายเดียวกันหรือของฝ่ายศัตรู ซึ่งการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวนี้ช่วยสร้างความได้เปรียบของพันธมิตรฝ่ายตะวันตกในสงครามโลกครั้งที่ 2 และนับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของนำเทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification) มาใช้

ในปี ค.ศ 1945 ถูกประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกโดย Leon Theremin ที่สร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซีย โดยสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณวิทยุ และ ค.ศ 1970 ได้พัฒนานำไปใช้ในทางการทหารรวมทั้งได้นำไปใช้ในสงครามโลกครั้งที่สอง เพื่อระบุตำแหน่งใช้ร่วมกับการบิน โดยใช้สัญญาณวิทยุที่เข้ารหัสเพื่อระบุว่าเครื่องบินที่บินผ่านน่านฟ้าว่าเป็นของฝ่ายเดียวกันหรือฝ่ายศัตรู และต่อมาเมื่อมีการประดิษฐ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กทำให้เกิดแนวคิดในการประยุกต์ใช้ทางพลเรือนโดยเริ่มจากการสร้าง RFID ใช้ฝังในสัตว์เลี้ยง ใช้ในด้านการควบคุมการเข้าออกสถานที่ และใช้ในการขนส่งในปัจจุบัน RFID กลายเป็นสิ่งที่เล็กลงมาก และราคาถูกพอที่จะใช้กับวัตถุต่างๆได้ง่าย RFID กำลังกลายเป็นกระแสโลกเมื่อมีการประยุกต์ใช้ในการค้าระหว่างประเทศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นคงปลอดภัย

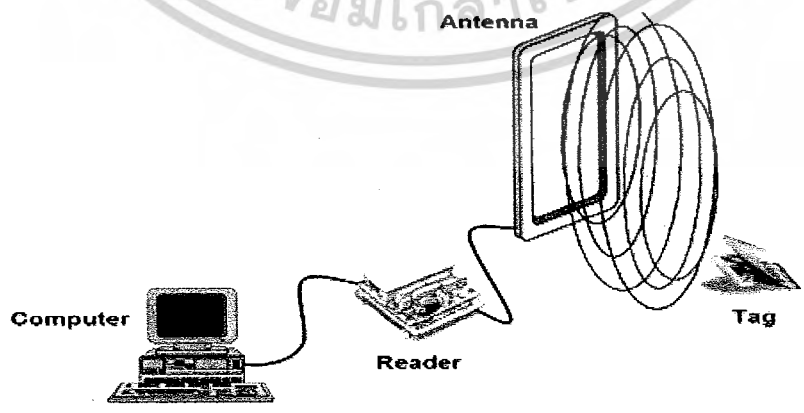
ในปี ค.ศ.1970 ได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการติดตามและตรวจสอบสัตว์โดยใช้ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ฝังไมโครชิปเก็บข้อมูล โดยติดไว้กับตัวสัตว์และใช้เครื่องอ่านแบบไร้สายที่สื่อสารกันด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล (ได้แก่ ประวัติวันเวลาในการผลิต วันเวลาหมดอายุ หรือราคาสินค้า เป็นต้น) การติดตามและตรวจสอบเส้นทางของพาหนะ (ได้แก่ วันเวลาที่รถบรรทุกออกจากโรงงานตรวจสอบเส้นทางที่ใช้ว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ตรวจสอบระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเดินทาง เป็นต้น) และระบบตรวจสอบอัตโนมัติสำหรับบริหารจัดการในโรงงาน (ได้แก่ การใช้งานการจัดการ 5 กระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนการผลิต การบริหารสินค้าในคลังสินค้าการจัดเก็บและสืบค้นข้อมูลในอุตสาหกรรม เป็นต้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานที่ระบบฉลากแบบบาร์โค้ดไม่สามารถใช้ได้ โดยจุดเด่นของ RFID คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของฉลากได้โดยที่ไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำแม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง แต่ในขณะนั้นอุปกรณ์ RFID ไม่สะดวกในการนำมาใช้งานเพราะมีขนาดใหญ่ นอกจากนั้นแล้วยังมีราคาแพง จึงไม่ได้รับความนิยมมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ในเชิงพาณิชยกรรมได้ ต่อมาได้มีการพัฒนา RFID อย่างต่อเนื่องจนสามารถย่อขนาดลงเป็นแผ่นเล็กๆ (Chip) ได้ จึงมีแนวความคิดหลากหลายที่จะนำ RFID มาใช้งานในเชิงพาณิชยกรรมบริหาร และในทางราชการ

นับแต่ปี ค.ศ.1990 มาจนถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เพื่อสนับสนุนรูปแบบการทำงานที่หลากหลายคาบเกี่ยวในหลายสาขาของธุรกิจที่มีรูปแบบการทำงานที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจาก RFID มีคุณสมบัติที่พิเศษและโดดเด่นกว่าเทคโนโลยีอื่น อาทิบาร์โค้ด (Bar Code) ตัวอย่างคุณสมบัติที่โดดเด่นของ RFID ได้แก่ สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้โดย ไม่ต้องสัมผัส ทนต่อสภาพแวดล้อมและ สิ่งสกปรก สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้สะดวก สื่อสารได้ทุกทิศทาง มีความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณโดยสามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่เป็นโลหะหรือมีโลหะผสมอยู่ได้ นอกจากนั้นป้ายอิเล็กทรอนิกส์หรือป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานกันในปัจจุบันมีหลากหลายแบบให้ประยุกต์ใช้งาน มีระยะสื่อสารตั้งแต่ 0 - 10 เมตร อ่านและเขียนข้อมูลได้มากกว่าครั้งละหนึ่งป้ายพร้อมกัน และสามารถอ่านและเขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่ได้เป็นต้น

2.3 ส่วนประกอบของระบบ RFID

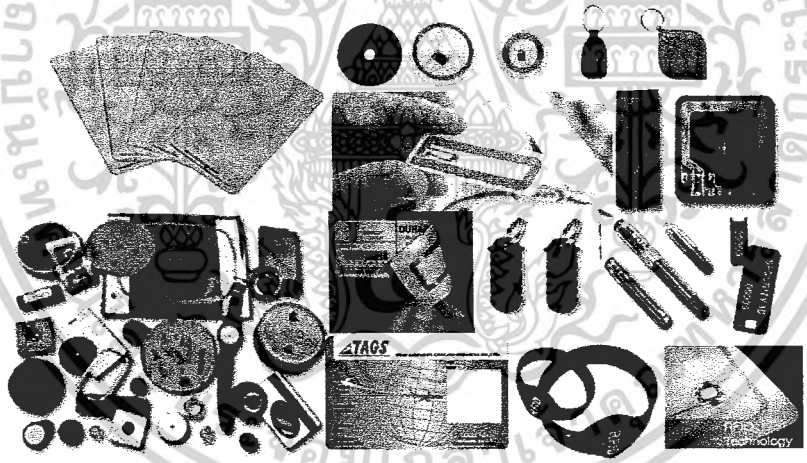


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

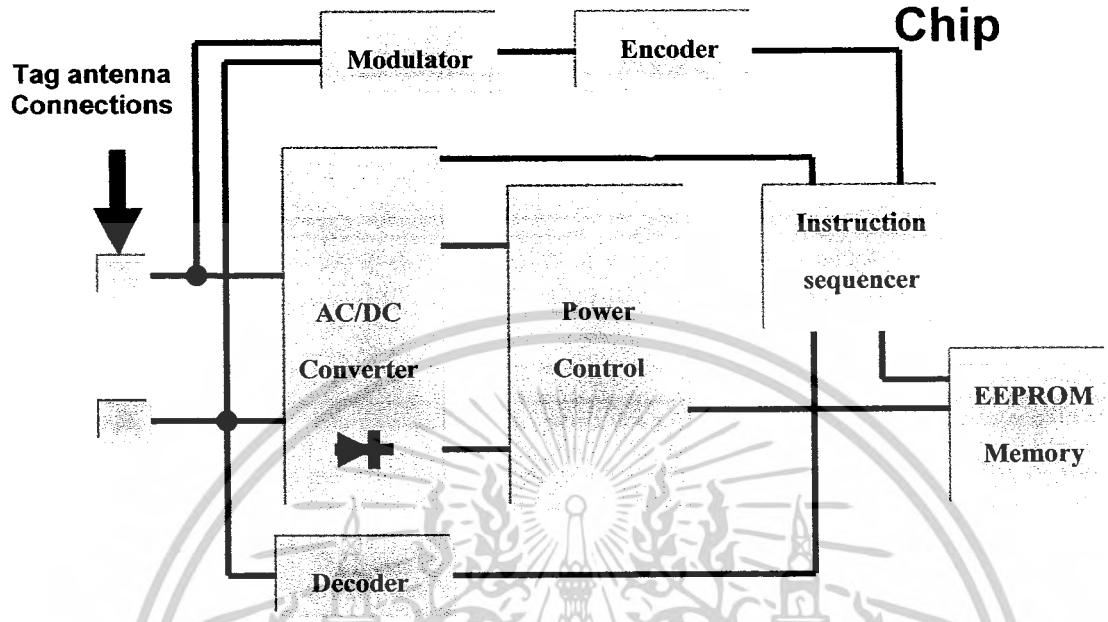
โดยทั่วไประบบ RFID มีองค์ประกอบที่สำคัญหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags/Transponder) ที่ใช้ติดอยู่กับวัตถุต่างๆที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้บนไมโครชิพ (Microchip) ซึ่งจะติดไปกับสายอากาศ (Microchip และสายอากาศรวมกันเรียกว่า ตัวส่งสัญญาณ RFID หรือ RFID Tags) ส่วนที่สองคือ เครื่องสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งจะทำการแปลงคลื่นวิทยุที่ได้รับจาก RFID Tags เป็นข้อมูลดิจิตอล ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องสัญญาณความถี่วิทยุ สัญญาณนี้สามารถผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะ เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการของข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากแท็ก แท็กจะตอบข้อมูลกลับ และเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป โดยผ่านสายเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) สายอนุกรม (Serial cable) มาตรฐาน RS 232 RS 485 และ USB

2.3.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags/Transponder) ของระบบ RFID



รูปที่ 2.3 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ RFID [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ RFID [4]

เครื่องลูกข่าย หรือฉลากอิเล็กทรอนิกส์ นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) โดยทั่วไปตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์ อาจอยู่ในชนิดทั้งที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิลม์ และพลาสติก ซึ่งจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำเอาไปติดมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่ากับบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดไส้ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง ตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์อาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าขายปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันการขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย โดยตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะรับพลังงานจากสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน หรือใช้พลังงานจากแบตเตอร์รี่ที่บรรจุภายในตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นแบตเตอร์รี่ Lithium-lion ซึ่งมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

ฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นส่วนของการเก็บข้อมูลและถูกติดตั้งอยู่กับวัตถุที่เราต้องการชี้บ่ง (Identify) ฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ โดยสายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์อ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป และสร้างพลังงาน ป้อนให้ส่วนของไมโครชิพ (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า โดยหลักการของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ มีการใช้งานกันอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ แต่ละชนิดก็จะมีความแตกต่างในด้านของการใช้งาน ราคา โครงสร้าง และหลักการทำงาน โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน ส่วนของไอซีเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor chip / Microchip) โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์นั้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่

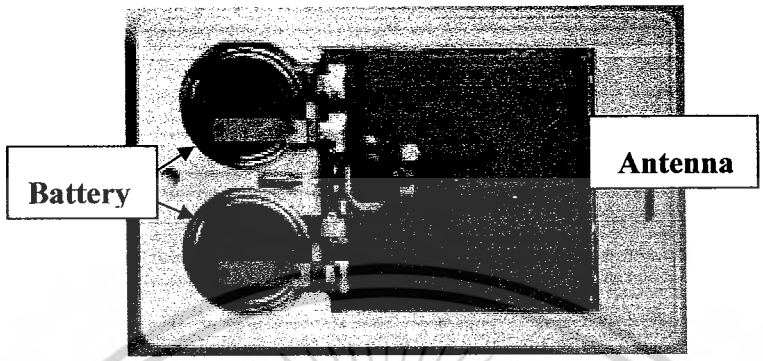
1. ส่วนของการควบคุมภาครับส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับโครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคดีมอดูเลตและภาคมอดูเลต (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์กับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ส่วนของการควบคุมภาคดิจิตอล ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิตอลทั้งหมด โครงสร้างหลักของส่วนการทำงานนี้ประกอบด้วย ส่วนบันทึกข้อมูลประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM) รอม (ROM) อีอีพรอม (EEPROM) โดยที่หน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่นข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่หน่วยความจำแบบ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่ฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน

นอกจากนี้มีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่ฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้กับฉลากอิเล็กทรอนิกส์ก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟ (Active tag)



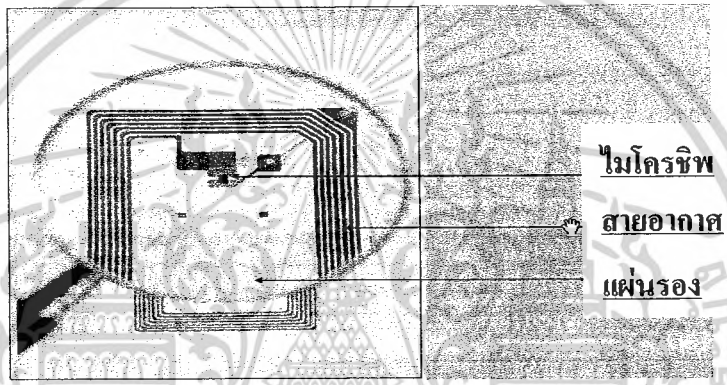
รูปที่ 2.5 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag) [5]

ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับวงจรภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ทำงาน โดยฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้มีฟังก์ชั่นการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ได้ และเมื่อต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำฉลากอิเล็กทรอนิกส์ไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์จึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนาน

ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 10 เมตร ซึ่งไกลกว่าฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ฉลากอิเล็กทรอนิส์ชนิดพาสซีฟ (Passive tag)



รูปที่ 2.6 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ (Passive tag) [3]

ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใดๆ เพราะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่านข้อมูลมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัวหรือที่เรียกว่า อุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่าและมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่มีข้อเสีย คือ ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 16 ไบต์ ถึง 1,024 ไบต์ และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

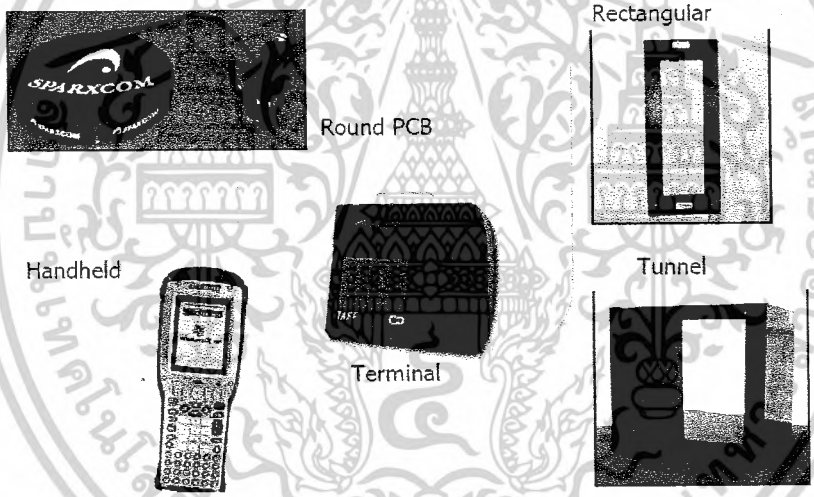
ไอซีของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชนิดงานที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถแบ่งประเภทจากรูปแบบของการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)

2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-one, Read-many หรือ Write or Read many: WORM)

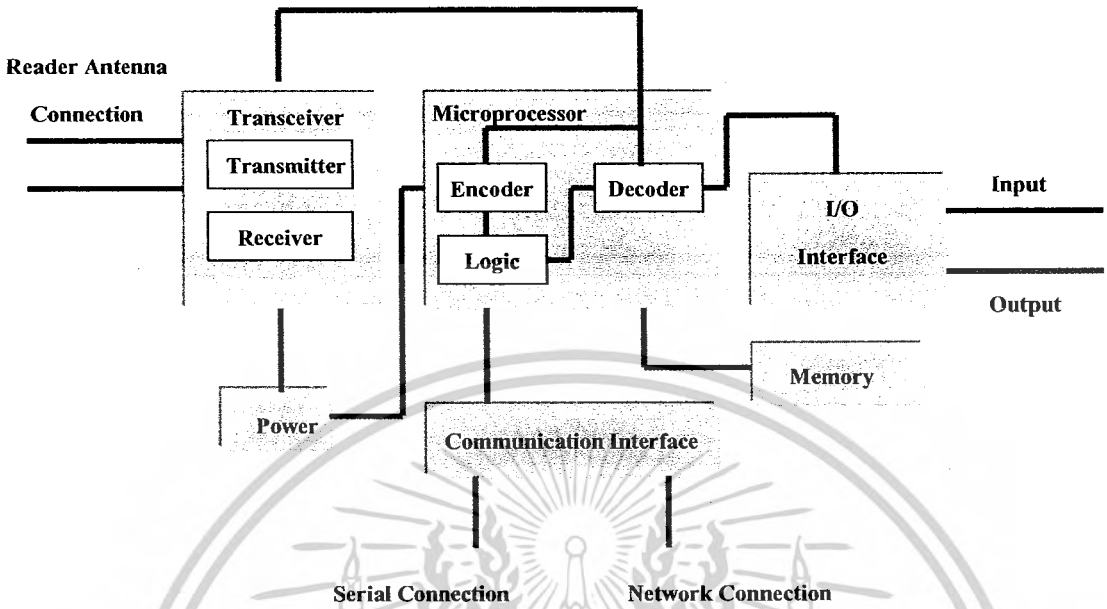
3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-only)

2.3.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator)



รูปที่ 2.7 เครื่องอ่านของระบบ RFID [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่านระบบ RFID [4]

เครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) มีหน้าที่สำคัญ คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์ แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่นในกรณีที่ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่งอาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์ซ้ำอยู่เรื่อยๆไม่สิ้นสุด ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands down polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์หยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีฉลากอิเล็กทรอนิกส์หลายฉลากอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านฉลากอิเล็กทรอนิกส์ทีละตัวได้เครื่องอ่านทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

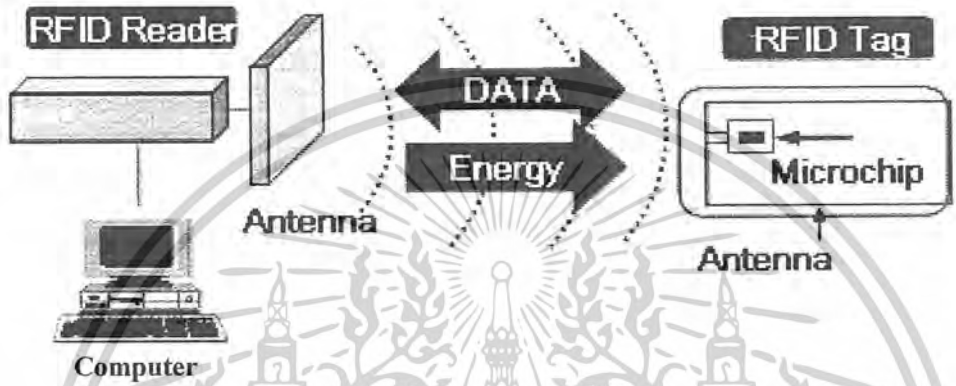
- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID



รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานของระบบ RFID [2]

เทคโนโลยี RFID เป็นระบบการสื่อสารที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) ผ่านทางอากาศ ซึ่งหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID ดังนี้คือ

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่อง และคอยตรวจจับสัญญาณจากตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์ว่ามีเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2. เมื่อมีฉลากอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์เริ่มทำงาน โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิลฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็กจากเครื่องอ่านที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อฉลากอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานสฟอร์เมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของฉลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
103074

อิเล็กทรอนิกส์และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์

3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูด ความถี่ หรือเฟส โดย วงจรของสายอากาศจะทำการมอดูเลตข้อมูลขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

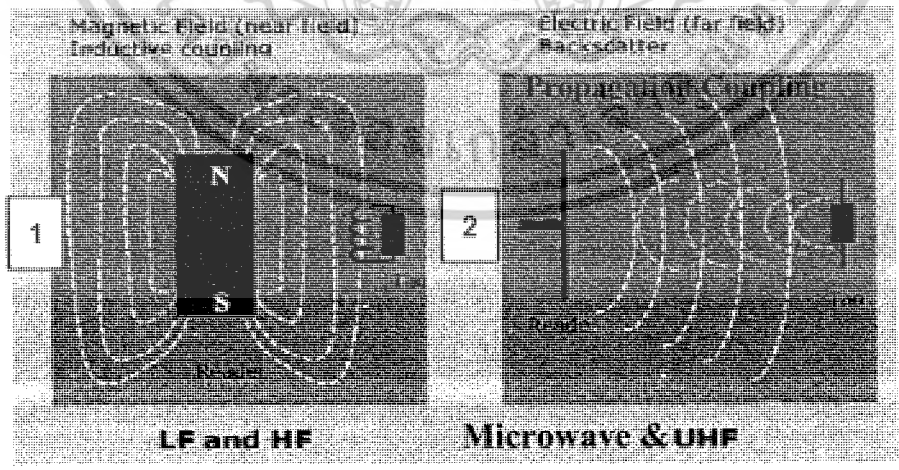
4. เครื่องอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูล แล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.4.1 การสื่อสารแบบไร้สายของเทคโนโลยี RFID

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศโดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

1. วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling หรือ Proximity electromagnetic) สำหรับย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz และย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56 MHz

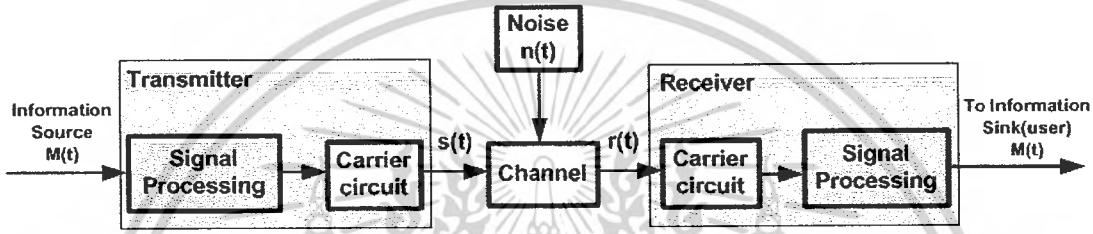
2. วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling) สำหรับย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency: UHF) 433/868/915MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.45/5.8 GHz



รูปที่ 2.10 การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบ RFID [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID มีการทำงานของระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล (Digital communication system) คือ การส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่าน (Reader) กับ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) ของระบบ RFID ในกระบวนการสื่อสารแบบดิจิตอลจะอาศัยหลักการเข้ารหัสข้อมูล (Signal coding) การผสมรหัสข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะ (Modulation) การส่งคลื่นสัญญาณออกไป (Transmission) การถอดข้อมูลออกจากคลื่นพาหะ (Demodulation) การแปลรหัสสัญญาณข้อมูล (Signal decoding) ดังรูปที่ 2.11 แสดงการไหลของสัญญาณและข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล

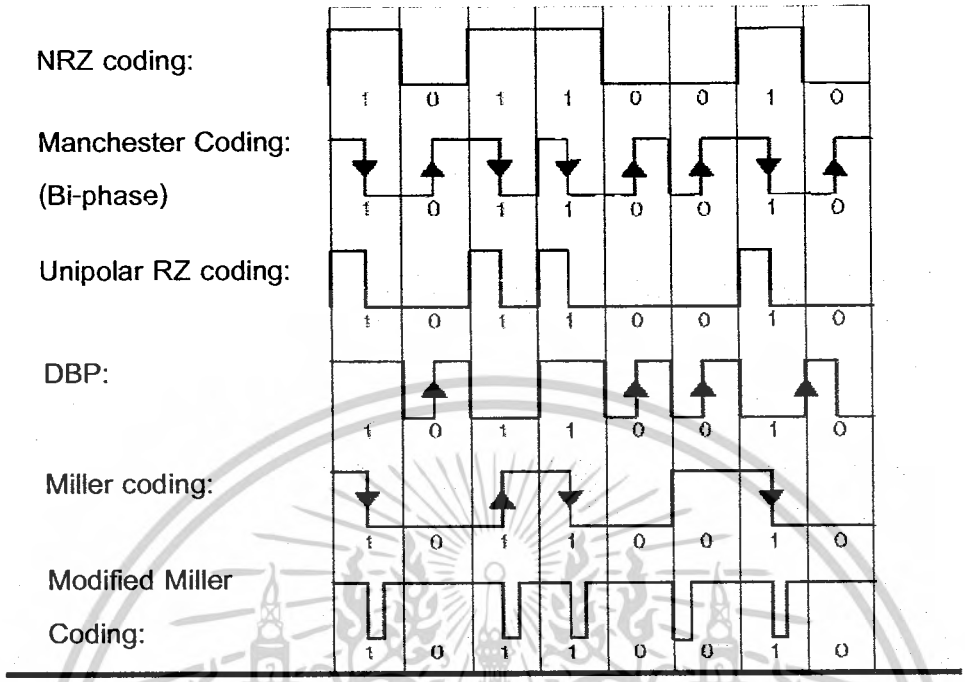


รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล

2.4.2 การเข้ารหัส (Coding)

การรับส่งข้อมูลแบบตรงไปตรงมาจะทำให้ข้อมูลที่ส่งและรับนั้นมีความยาวเกินไป จึงมีการคิดค้นวิธีการเข้ารหัสขึ้นมาใช้ ซึ่งการเข้ารหัสจะช่วยการส่งและรับข้อมูลสิ้นสุดลงและไม่ถูกรบกวนจากสิ่งรบกวนภายนอก การเข้ารหัสเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการสื่อสารแบบดิจิตอล ในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอลนั้นจะใช้สัญลักษณ์ 0 กับ 1 แทนข้อมูลโดยความแตกต่างของข้อมูลจะเป็นตัวกำหนดค่า 0 กับ 1 ของแต่ละบิตข้อมูล ข้อมูลจะถูกจัดเรียงเป็นแนวนอนหรือเส้นตรง (Line code) ซึ่งมาตรฐานของ Line code จะมีหลายมาตรฐาน ดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



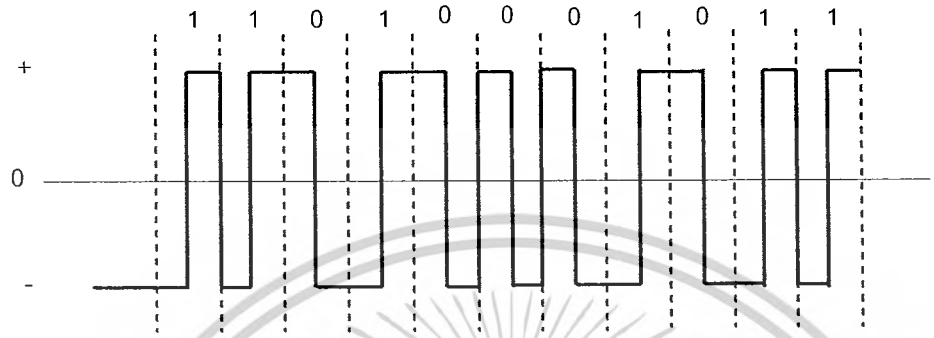
รูปที่ 2.12 ชนิดของ Line code ที่ใช้ในระบบ RFID [6]

จากรูปที่ 2.12 เราจะพบว่ามาตรฐานของ Line code มีอยู่หลายชนิด ซึ่งมีความแตกต่างคือลักษณะการแสดงค่า 0 กับ 1 ที่ให้ลักษณะสัญญาณแตกต่างกัน Line code ที่พบบ่อยและที่นิยมใช้คือ NRZ และ Manchester coding

การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester coding) เป็นการเข้ารหัสข้อมูลดิจิตอลวิธีหนึ่ง ก่อนที่ข้อมูลซึ่งผ่านการเข้ารหัสแล้วจะถูกส่งไปมอดูเลต เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการซิงโครไนซ์ของข้อมูล เนื่องจากการส่งกระจายสัญญาณตามปกตินั้นหากมีการส่งสัญญาณดิจิตอลในระดับเดียวติดต่อกันเป็นช่วงยาว เช่น ส่งสัญญาณดิจิตอลมีค่าลอจิกเป็น 1 ออกไป 20 บิต ติดต่อกัน จะทำให้การซิงโครไนซ์ของข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน (โดยปกติวงจรดิจิตอลจะปรับการซิงโครไนซ์ของข้อมูลได้เฉพาะในช่วงที่มีการเปลี่ยนระดับของข้อมูลจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1) และทำให้รับข้อมูลผิดพลาดเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงจะต้องมีการนำสัญญาณดิจิตอลปกติไปผ่านการเข้ารหัสเสียก่อน โดยการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์จะเปลี่ยนให้สัญญาณดิจิตอลลอจิก 0 ถูกแทนด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 1 เป็น 0 และสัญญาณดิจิตอลลอจิก 1 แทนด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 0 เป็น 1 ข้อดีของการเข้ารหัสแบบนี้คือ ทำให้การเปลี่ยนระดับของข้อมูลทุกๆ ครั้งเป็นไปอย่างแน่นอนหรือเกิดการเข้าจังหวะ (Synchronize) กันของข้อมูลนั่นเอง แต่ว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ารหัสแบบนี้ก็มีข้อเสียอยู่กล่าวคือช่วงความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูลต้องเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สัญญาณรูปคลื่นที่เข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester) [3]

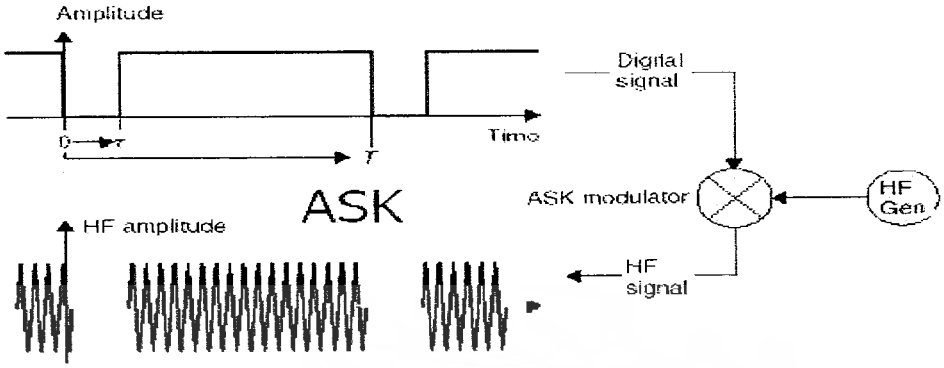
2.4.3 การผสมข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital modulation procedure)

เนื่องจากหลักการพื้นฐานของ RFID คือใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารรับส่งข้อมูล ดังนั้น ก่อนการสื่อสารจะต้องมีกระบวนการผสมข้อมูลที่เข้ารหัสไว้แล้วไปกับคลื่นพาหะ (Modulation) แต่เนื่องจากลักษณะข้อมูลเป็นดิจิตอล จึงต้องใช้วิธีการผสมแบบดิจิตอล การผสมข้อมูลแบบดิจิตอลมี 3 วิธี คือ ASK (Amplitude shift keying) FSK (Frequency shift keying) หรือ PSK (Phase shift keying) ดังนี้

2.4.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude shift keying: ASK)

เป็นการผสมข้อมูลโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของยอดคลื่นพาหะ (Amplitude) เป็นตัวแสดงลักษณะข้อมูล โดยความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier wave) จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ลักษณะการมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิตอลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห์จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห์จะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

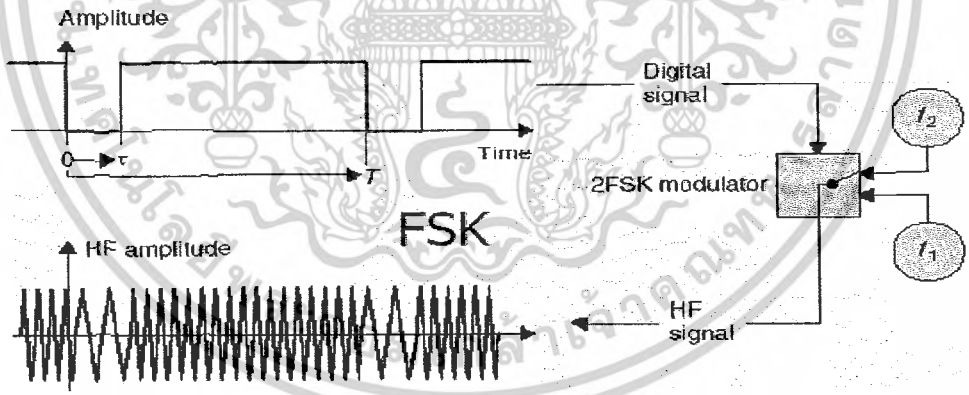
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude shift keying) [7]

2.4.3.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying: FSK)

วิธีนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะระหว่าง 2 ความถี่ ขึ้นอยู่กับสถานะของข้อมูล 0 กับ 1 โดยขนาดของคลื่นพาห์หรือความสูงของยอดคลื่น (Amplitude) จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นพาห์นั้นจะเปลี่ยนแปลง คือ เมื่อบิตมีค่าเป็น1 ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ



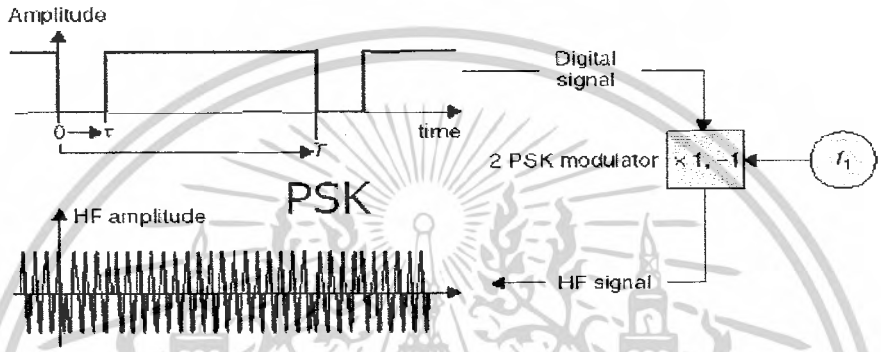
รูปที่ 2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying) [7]

2.4.3.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying: PSK)

หลักการของ Phase keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ส่วนที่จะเปลี่ยนแปลง คือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย หลักการ PSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0, 180) หรือ BPSK (Binary

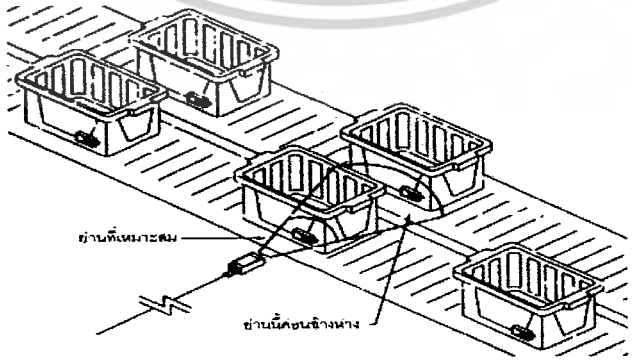
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phase shift keying) จัดเป็นสัญญาณประเภท antipodal เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ส่งมีเครื่องหมายตรงข้ามกัน แบบ 4 เฟส (0, 90, 180 และ 270 องศา) และแบบ 8 เฟส (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 แบบวิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า



รูปที่ 2.16 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying) [7]

การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว (Read only) ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ RFID มีความสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.17 ตำแหน่งที่เหมาะสมของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ในระบบ RFID [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ระบบ RFID ยังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่นในขณะสินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต (Conveyor) ดังรูปที่ 2.17 หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วนโดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีฉลากอิเล็กทรอนิกส์ติดอยู่กับรถและฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในฉลากอิเล็กทรอนิกส์โดยอัตโนมัติ หรือแม้กระทั่งการใช้งานในปศุสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ หรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม

2.5 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมีสามกลุ่มหลัก คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและอาฟริกา (Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก โดยคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-scientific-medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดการใช้งานในเชิงอุตสหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารทั่วไป

2.5.1 คลื่นพาหะของระบบ RFID

สำหรับความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานกันในระบบ RFID อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ย่านความถี่หลัก ได้แก่

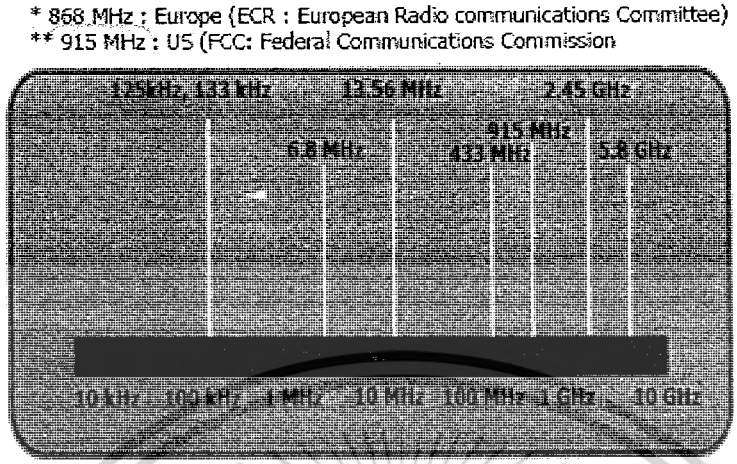
1) ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz

2) ย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56 MHz

3) ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency: UHF) 433/868*/915**MHz

4) ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.45/5.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID [6]

ในด้านของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วระบบ RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบ RFID ที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่ต่ำมีการส่งข้อมูลต่ำ และราคาจะต่ำลดหลั่นตามลงไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ของระบบ RFID และการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐาน ที่ใช้งานทั่วไปคือ 125 kHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ -ต้นทุนไม่สูง -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access control -ปศุสัตว์ -ระบบคลังสินค้า
ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ ใช้งานทั่วไปคือ 13.56 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง -ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต -ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-ระบบห้องสมุด -สมาร์ทการ์ด -ระบบรักษาความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ย่านความถี่ของระบบ RFID และการใช้งาน [9]

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่สูง 433/868/915 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง -ราคาแพง	-ระบบขนส่ง -ตู้สินค้า
ย่านความถี่ ไมโครเวฟ 2.45-5.8 GHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (15 เมตร) -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง -ราคาแพง	-โรงงานอุตสหกรรม -ระบบเก็บค่าผ่านทาง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID

ย่านความถี่	< 135 kHz	13.56 MHz	868/915 MHz, 2.45/5.8 GHz
ชนิดของฉลากอิเล็กทรอนิกส์	Passive Tag(ไม่มีแบตเตอรี่)		Active Tag(มีแบตเตอรี่)
การเหนี่ยวนำ	การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า		การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
กำลังส่ง	72 dBμA/m	42 dBμA/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

2.5.2 มาตรฐานของระบบ RFID

ISO 11784

เป็นมาตรฐานที่กำหนดเกี่ยวกับรายละเอียดของ ID ขนาด 64 บิต (8 ไบต์)

- 1 Animal (1)/non-animal (0) กำหนดความเป็นสัตว์หรือ ไม่ใช่สัตว์
- 2-15 Reserved สงวนไว้ในอนาคต
- 16 Data block (1) follow/
- no data block (0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 17-26 Country code (ISO 3166) THA = 764 กำหนดรหัสประเทศ
  ถ้าเป็น 999 เป็นการทดสอบตัวส่ง
- 27-64 National identification code รหัสของสัตว์ที่มีรหัสเดียวเท่านั้นในประเทศ
- National identification Code จะต้องมีระบบจัดการใช้การออกรหัสของสัตว์แต่ละประเภทขึ้นอยู่กับข้อตกลงในแต่ละประเทศซึ่งสามารถโปรแกรมได้ 274,877,906,944
- Country code 10 bits = 1,024 ประเทศ ซึ่งประเทศไทยมีรหัสเป็น 764 ตาม ISO 3166 ถ้าเป็นระบบ Manufacture code ซึ่งต้องผ่านการรับรองจาก ICAR (International committee for animal recording) ในการทดสอบกาทำงานและความเป็นมาตรฐานตามที่ ISO 11784-85 ระบุในมาตรฐานโดยตัวเลขที่ทาง ICAR ออกให้กับผู้ผลิตที่ผ่านการรับรองแล้ว จะขึ้นต้นด้วย 9xx แทนการใช้ Country code ตาม ISO 3166

ISO 11785

เป็นมาตรฐานที่กำหนดรายละเอียดของมาตรฐานการส่งข้อมูลระหว่างฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Transponder) กับเครื่องอ่าน (Reader) และกำหนดความถี่ของคลื่นพาหะ และกำหนดมาตรฐานของเครื่องอ่าน

- ความถี่คลื่นพาหะของเครื่องอ่านที่ 134.2 kHz คลาดเคลื่อนได้ 1.8 kHz
- ข้อมูลเข้ารหัสแบบ DBP (Differential bi-phase code) โดยใช้การทำโหลดมอดูเลชั่น (Load modulation) แบบไม่มีคลื่นพาหะย่อย (Sub carrier)
- ขนาดความเร็วของข้อมูลที่ส่งเท่ากับ 4194 bit/s (134.2 kHz หารด้วย 32)

ISO 14443A

เป็นมาตรฐานปิดที่ถูกพัฒนาโดย Phillips ซึ่งเป็นผู้พัฒนารายแรกในโลกสำหรับ Contactless smart card มีผู้ใช้งานบัตรสมาร์ตการ์ดมาตรฐานนี้มากที่สุดในโลกซึ่งมีรายละเอียดส่วนสำคัญๆของมาตรฐานดังนี้

- มีระบบป้องกันการก๊อปปี้ข้อมูล (True anti-collision)
- การรับส่งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าระหว่าง เครื่องอ่าน/เขียน กับบัตรสมาร์ตการ์ดเป็นแบบไร้สัมผัส (Ccntactless)
- เวลาในการอ่าน/เขียนข้อมูล กับบัตรสมาร์ตการ์ดน้อยกว่า 100 มิลลิวินาที
- ความถี่วิทยุ (Radio frequency) 13.56 เมกกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะห่างระหว่างเครื่องอ่าน/เขียน กับบัตรสมาร์ตการ์ดถึง 10 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับสายอากาศ)
- ความถูกต้องของการรับส่งข้อมูลสูงด้วยเทคนิคการทำ 16 bit CRC, Parity, Bit coding และ Bit Counting
- ส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องอ่าน/เขียน กับบัตรสมาร์ตการ์ดด้วยความเร็วสูงถึง 106 Kbit/วินาที

ISO 14443B

มาตรฐาน ISO 14443B เป็นมาตรฐานเปิดมีหลายบริษัทเป็นผู้ร่วมพัฒนา โดยมาตรฐานมีความใกล้เคียงกับ ISO 14443A ต่างกันเฉพาะที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพเพิ่มเติมจาก ISO 14443A เช่น ลักษณะการ Modulate สัญญาณซึ่งเป็นแบบ 10% ASK, BPSK (Binary phase shift keying) แต่ยังมีข้อด้อยในหลายๆเรื่องเนื่องจากมาตรฐานในส่วนสำคัญๆถูก ISO 14443A บังคับอยู่ แต่ข้อดีคือเป็นมาตรฐานเปิดทำให้มีผู้ผลิตมากราย มีการแข่งขันด้านราคาและคุณภาพมากขึ้น

ISO 15693

เป็นมาตรฐานที่ร่วมกันพัฒนาระหว่าง Phillips และ Texas instrument สำหรับ ISO 15693 นั้นมีจุดประสงค์ในการใช้งานเพื่อเป็นแผ่นป้ายบอกข้อมูล (RFID) มากกว่าจะเป็นสมาร์ตการ์ดแบบใช้งานทั่วไป ซึ่งจะมีลักษณะรูปร่างเป็น Label สามารถนำไปแปะบนกล่องสินค้า หรือตัวสินค้าต่างๆเพื่อใช้งานแทน บาร์โค๊ด โดยสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ด้วยการโปรแกรมข้อมูลเข้าไปในตัวชิพใหม่ มีระยะการทำงานไกลถึง 1 เมตรจากเครื่องอ่าน (ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศ) นอกจากนี้ตัวเครื่องอ่านยังสามารถอ่านข้อมูลจากชิพได้พร้อมๆกันหลายชิพ โดยใช้กรรมวิธีการแยกแยะข้อมูลจากชิพแต่ละตัวได้อย่างดี

นอกจากนี้ ISO 15693 ยังแตกย่อยเป็นมาตรฐานการใช้งานอีกหลายรูปแบบ เช่นเมื่อนำไปใช้งานในขบวนการสินค้าคงคลัง หรือแทนบาร์โค๊ด ก็จะมีหน่วยงานมาตรฐาน EPC (Electronic product code) เป็นผู้กำหนดรายละเอียดปลีกย่อยลงไป เพื่อให้สามารถใช้แทนระบบบาร์โค้ดซึ่งถูกพัฒนาเป็นมาตรฐานมาก่อนหน้านี้โดยไม่มีปัญหาใดๆ สำหรับ ISO 15693 สามารถติดตามข้อมูลเพิ่มเติมได้ใน RFID technology เพราะมีความเป็น RFID อยู่มากจึงไม่ขอกล่าวในส่วนของสมาร์ตการ์ดทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานย่านความถี่ของระบบ RFID ตามชนิดของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags)

FREQUENCY	125 kHz	5-7 MHz	13.56 MHz	303/433 MHz	860-960 MHz	2.45 GHz
TAG TYPE						
Passive	ISO11784/5, 14223 ISO18000-2	ISO10536 iPico DF/iPX	MIFARE (ISO14443) Tag-IT (ISO15693) ISO18000-3		ISO18000-6 EPC class 0 EPC class 1 EPC GEN II Intellitag tolls (Title 21) rail (AAR S918)	ISO18000-4 Intellitag µ-chip
Semi-passive					rail (AAR S918) Title 21	ISO18000-4 Alien BAP
Active				Savi (ANSI 371.2) ISO18000-7 RFCode		ISO18000-4 WhereNet (ANSI 371.1)

2.5.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบ RFID ในประเทศไทย

2.5.3.1 ย่านความถี่ 920-925 MHz กำลังส่งให้ใช้กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิก (Equivalent isotropically radiated power : EIRP) ไม่เกิน 4 วัตต์ และไม่อนุญาตให้ใช้กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิกเกินกว่า 4 วัตต์ เว้นแต่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เห็นว่ามีความจำเป็นหรือมีเหตุผลอื่นที่เหมาะสม

2.5.3.2 การได้รับการยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต อุปกรณ์ RFID ซึ่งมีกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิกไม่เกิน 0.5 วัตต์ (EIRP) ได้รับการยกเว้นใบอนุญาต มีใช้และนำออก ซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

2.5.3.3 การตรวจสอบลักษณะทางวิชาการ อุปกรณ์ RFID จะต้องผ่านการทดสอบลักษณะทางวิชาการจาก คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือจากห้องปฏิบัติการทดสอบรับรองมาตรฐานเครื่องวิทยุคมนาคมที่ยอมรับได้

2.5.3.4 สิทธิการคุ้มครอง การใช้อุปกรณ์ RFID ไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน หากก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้ความถี่วิทยุของข่ายสื่อสารวิทยุคมนาคมอื่นในบริเวณใดบริเวณหนึ่งผู้ใช้ต้องระงับการใช้อุปกรณ์ RFID ที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นทันที เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องออกมาตรฐานควบคุมเพื่อป้องกันมิให้อุปกรณ์ RFID ส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบต่อระบบการสื่อสารและโทรคมนาคมอื่นๆ ที่ใช่คลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรอยู่ก่อนแล้ว ไม่ว่าจะเป็นระบบรับส่งวิทยุและโทรทัศน์ เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิทยุตำรวจ เครือข่ายวิทยุสื่อสาร วิทยุเดินเรือ และระบบวิทยุการบิน ย่านความถี่คลื่นที่วิทยุที่ได้รับการจัดสรร โดยองค์กรสากลทางด้านการสื่อสารนานาชาติ เพื่อใช้กิจการต่างๆ โดยมีการกำหนดเพิ่มย่านความถี่สำหรับใช่งานกับระบบ RFID ดังแสดงโดยกราฟแท่ง ทั้งนี้มีข้อสรุปให้ใช้ย่านความถี่ ISM ซึ่งเป็นย่านความถี่สากลสำหรับใช้ในวงการอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์สำหรับเทคโนโลยี RFID นอกจากนั้นยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำความถี่ในย่านต่ำกว่า 135 KHz (ยุโรป) และต่ำกว่า 400 KHz (ทวีปอเมริกาและญี่ปุ่น) ใช้กับเทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณ RFID แบบ Inductive coupling เป็นพิเศษอีกด้วย

2.5.4 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิดกับระบบปิด

- **ระบบเปิด** (Open system) คือ ระบบที่มีรูปแบบของข้อมูลที่ส่งในลักษณะกลุ่มมีกฎระเบียบที่สามารถอ่านได้จากเครื่องอ่านจำนวนมาก ความเป็นมาตรฐานจะถูกกำหนดจากเครื่องมือที่สร้างข้อมูล ผู้ใช้โดยทั่วไปสามารถอ่านข้อมูลดังกล่าวได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้วิธีการหลาย ๆ อย่างรวมกัน

- **ระบบปิด** (Closed system) คือ ระบบที่กฎของการเข้ารหัส (encode) และการถอดรหัส (decode) ถูกกำหนดไว้โดยเฉพาะเจาะจง หรือรู้เฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเจ้าของ

สำหรับป้าย RFID ปัจจุบันนี้ถือว่ายังเป็นมาตรฐานระบบเปิด ดังนั้นผู้ขาย (vendor) ต้องผลิต และสนับสนุนระบบของตนเอง ส่วนเทคโนโลยีบาร์โค้ด เป็นระบบที่มีความเป็นมาตรฐานทั้งระบบเปิดและระบบปิด

อย่างไรก็ดี ปัจจุบันนี้มีอุตสาหกรรมและองค์กรมาตรฐานจำนวนมากที่พยายามพัฒนาระบบ RFID ให้มีความเป็นมาตรฐานมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นข้อตกลงที่อยู่ภายใต้การสำรวจเทคโนโลยีบาร์โค้ด และ RFID ของ ISO ในปัจจุบัน SC 31 จะเน้นที่ระบบมาตรฐานแบบเปิด โดยประเด็นที่องค์กรมาตรฐานได้คำนึงถึง ได้แก่

- วิธีการเปลี่ยนป้ายของระบบปิดไปเป็นระบบเปิด เครื่องอ่านต้องสามารถแยกได้ทั้งสองระบบ เพราะว่า RFID สามารถอ่านป้ายหลายป้ายได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นความเป็นมาตรฐานต้องไม่มีความซ้ำซ้อนกันระหว่างข้อมูลหลากหลายที่มีเข้ามา

- RFID บางชนิดยอมให้อ่านและเขียนข้อมูลได้ แต่บาร์โค้ดไม่สามารถทำได้ และข้อบังคับจะทำให้เกิดผลเล็กน้อยกับการติดตั้งภายนอก ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาความสำคัญของการใช้ RFID จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาไปสู่ความเป็นมาตรฐานไม่ได้เน้นไปที่จำนวนองค์กร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ว่ามีส่วนร่วมกับ SC 31 มากน้อยเพียงใด แม้ว่าส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานร่วมกัน มีการแสดงให้เห็นถึงกลุ่มผลประโยชน์ต่าง ๆ ออกมา แต่ก็มีหลักฐานแสดงให้เห็นว่า มีองค์กรในอุตสาหกรรม RFID จำนวนมากที่ไม่ค่อยคำนึงถึงความเป็นมาตรฐาน ทำให้คนทั่ว ๆ ไปเชื่อว่านี้คือ การขาดความเป็นมาตรฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ขัดขวางการพัฒนาเทคโนโลยี RFID

2.6 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-collision)

ในการที่จะรับข้อมูลจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์หลาย ๆ อัน ทั้งฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวเครื่องอ่านต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสภาวะที่มีฉลากอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้วสัญญาณพาหะก็จะมีการส่งออก ในเวลาเดียวกันทำให้เกิดการชนของสัญญาณ (Collision) จะทำให้ไม่มีข้อมูลใด ๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อระหว่างฉลากอิเล็กทรอนิกส์กับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือน บัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิ้ลเป็นตัวกลางก็ต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ RFID ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์อันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน

2.7 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data transfer rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิดท์ควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดท์ในช่วง 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 megabits ต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดท์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.8 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator power) กำลังส่งของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tag power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบ RFID โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW แต่ไม่เกิน 4 W

2.9 จุดเด่นของระบบการสื่อสาร RFID

เทคโนโลยีของระบบการสื่อสาร RFID นั้นเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารในหลายๆ ประการอาทิเช่น

- **การอ่านและเขียนโดยไม่ต้องสัมผัส (Contactless)**

จุดเด่นข้อแรกของระบบ RFID คือ เครื่องอ่าน (Reader) กับ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) สามารถสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องสัมผัส ทำให้ไม่เกิดส่วนการสึกหรอเหมือนการ์ดแถบแม่เหล็ก เช่น สมาร์ทการ์ดต้องนำฉลากอิเล็กทรอนิกส์มาสัมผัสกับวงจรอ่านและเขียนโดยตรง ซึ่งระบบ RFID ตัวอ่านกับตัวเขียนข้อมูลจะอยู่ในตัวเดียวกันเพียวเปลี่ยนโหมด โดยใช้ซอฟแวร์เท่านั้น ทำให้ต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ อายุการใช้งานยาวนานและสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน

- **ทนต่อสภาพแวดล้อมและแรงสั่นสะเทือน**

ปัญหาที่เป็นอุปสรรคในการอ่านและเขียนในระบบ Auto ID ที่แก้ไขลำบาก คือ สภาพแวดล้อมในการใช้งาน เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมมีทั้งฝุ่นละออง น้ำมัน ระบบ Auto ID ที่มีปัญหามากที่สุดคือ ระบบบาร์โค้ด เพราะถ้าแถบบาร์โค้ดสกปรกหรือฉีกขาดก็จะไม่สามารถอ่านข้อมูลได้ หรือถ้าหน้าจอของตัวอ่านและแถบบาร์โค้ดมีแรงสั่นสะเทือนจะเป็นปัญหาสำหรับการอ่านอีกเช่นกัน แต่ด้วยลักษณะเทคโนโลยีของ RFID ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นพาหะนำข้อมูลไปจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าปัญหาดังกล่าวจะไม่มีผลกระทบต่อระบบ RFID เลย ดังนั้น RFID จึงเป็นอุปกรณ์ Auto ID ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

- **สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ทุกทิศทาง**

เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าการอ่านและเขียนในระบบ RFID จึงไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางว่าฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะต้องอยู่ตรงหน้ากับเครื่องอ่านเสมอ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์สามารถอยู่ด้านหลังด้านข้าง หรือแม้กระทั่งถูกทับอยู่ แต่ถ้าเข้ามาอยู่ในพื้นที่สัญญาณแล้วก็จะสามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ตามปกติ

- **ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้**

ด้วยลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการเขียนข้อมูลซ้ำได้ ทำให้ Tags สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้มากกว่า 100,000 ครั้งต่อ 1 Tags คุณสมบัติข้อนี้เป็นจุดแข็งอีกจุดหนึ่งที่ระบบ Auto ID ชนิดอื่นไม่สามารถทำได้

- **RFID Tags มีหลากหลายรูปแบบให้ประยุกต์ใช้งาน**

Tags ของระบบ RFID นั้นจะถูกออกแบบให้มีรูปร่าง ขนาดโครงสร้างความจุของหน่วยความจำและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น มีลักษณะเป็นสมาร์ทการ์ด กระดุม เหรียญ ทรงสี่เหลี่ยม หรือแม้กระทั่งเป็นแผ่นบางๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ตามความต้องการ

- **ความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณ**

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุผ่านวัตถุที่เป็นอโลหะหรือโลหะเป็นส่วนผสมอยู่ได้ เช่น พลาสติก ผิวหนัง ไม้ ปูนซีเมนต์ เป็นต้น ดังนั้น Tags จึงสามารถถูกติดตั้งแบบฝังหรือซ่อนลงไปในเนื้อวัตถุที่เราต้องการได้ เช่น เราจะพบเห็นการฉีด RFID Tags ที่มีลักษณะเป็นทางแก้วเล็กๆ เข้าไปในตัวสัตว์ และการฝัง Tags ลงบนพื้นในระบบ AGV (Automatic guide vehicle)

- **สื่อสารได้ระยะไกล**

ระยะในการอ่านและเขียนข้อมูลของระบบ RFID นั้นทำได้ตั้งแต่ 0-10 เมตร ซึ่งถือว่าไกลที่สุดในบรรดาระบบ Auto ID ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนี้ ทั้งนี้ระยะในการอ่านและเขียนข้อมูลจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งของสายอากาศและช่วงความถี่ที่ใช้งาน สำหรับกำลังส่งของสายอากาศนั้นจะถูกกำหนดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศทำให้ RFID ที่ผลิตในบางประเทศมีระยะในการอ่านและเขียนต่างกันทั้งที่ความถี่ใช้งานเท่ากัน

- **อ่านและเขียนข้อมูลได้ครั้งละมากกว่า 1 Tags พร้อมกัน**

เมื่อ Tags เข้ามาอยู่ในพื้นที่สัญญาณมากกว่า 1 Tags พร้อมกัน เครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลซึ่งมาพร้อมกันได้ทั้งหมดหรือจะสามารถเลือกอ่านเฉพาะ Tags ที่ระบุก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **สามารถอ่านและเขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่**

เครื่องอ่านกับฉลากอิเล็กทรอนิกส์ สามารถสื่อสารกันได้แม้ขณะฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ โดยความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิดของการสื่อสาร หน่วยความจำและปริมาณข้อมูลที่ใช้อ่านและเขียน

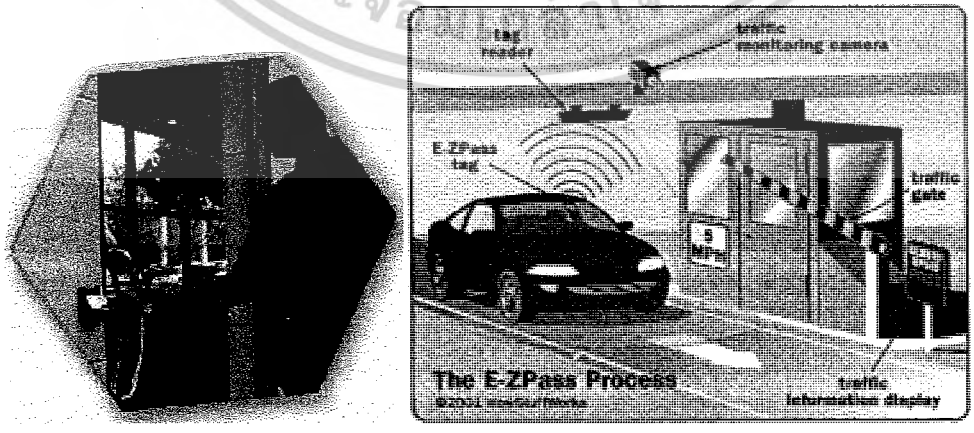
- **หน่วยความจำขนาดใหญ่**

หน่วยความจำที่ใช้ในระบบ RFID มีตั้งแต่ขนาด 1 บิต จนถึงมากกว่า 8 กิโลไบต์ หน่วยความความจำที่เป็น RAM จะสามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่าหน่วยความจำแบบอื่น ข้อมูลในกระบวนปฏิบัติงานสามารถบันทึกลงในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ ได้ทั้งกระบวนการ หรือแม้กระทั่งข้อมูลส่วนบุคคลก็สามารถบันทึกลงในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ ได้

2.10 การนำระบบ RFID ไปใช้งาน

เราสามารถนำระบบ RFID ไปใช้งานได้หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมการผลิต การค้า หรือการบริการต่างๆ ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลที่ต้องการได้ เช่น บันทึกเวลาทำงานของพนักงาน เก็บเงินค่าใช้บริการทางด่วน หรือระบบกันขโมยรถยนต์ แต่การพิจารณานำระบบ RFID มาใช้งานยังคงต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการใช้งานไม่ว่าจะเป็นเรื่องของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาพแวดล้อม หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระเบียบการใช้คลื่นความถี่วิทยุและกำลังส่งของแต่ละประเทศ ปัจจุบันการนำระบบ RFID มาประยุกต์ใช้งาน เช่น

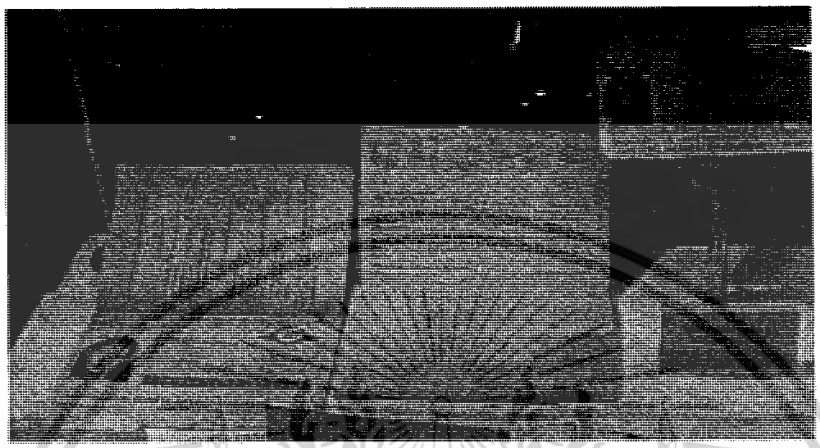
- **ระบบตรวจสอบการเข้าออก (Security access control)** หรือการเข้า-ออกอาคาร แทนการใช้บัตรแม่เหล็กแบบรูด เนื่องจากบัตรแม่เหล็กเมื่อใช้งานมากๆ ก็จะเสื่อมเร็ว แต่บัตรแบบ RFID (Proximity card) ใช้เพียงแตะหรือแสดงผ่านหน้าเครื่องอ่านเท่านั้น



รูปที่ 2.19 ระบบตรวจสอบการเข้าออก (Security access control) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-passport)** ที่ทางประเทศสหรัฐอเมริกากำลังกำหนดมาตรฐานการเข้าออกของประเทศ เพื่อป้องกันผู้ก่อการร้าย รวมไปถึง E-citizen ด้วย



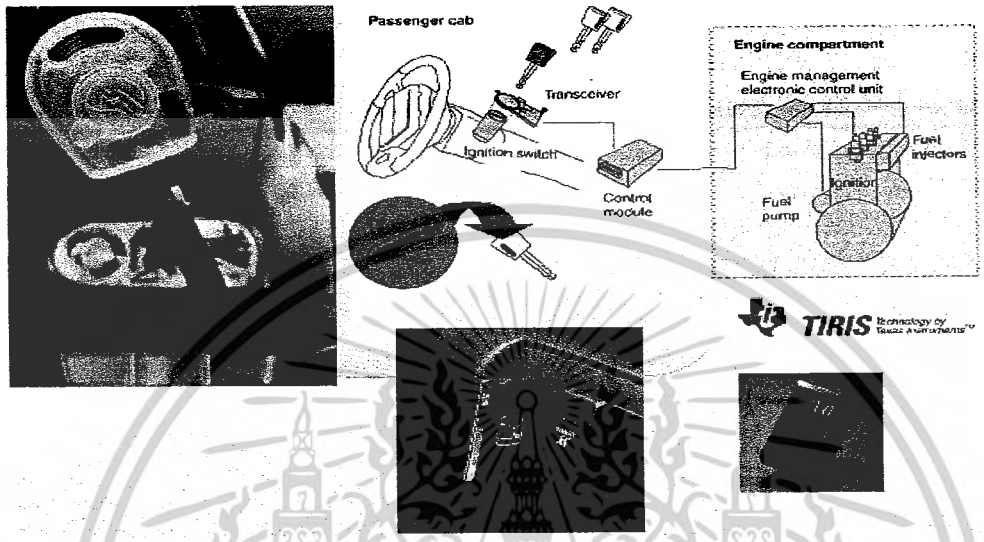
รูปที่ 2.20 ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-passport) [6]

- **ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์และบัตรสมาชิก (E-ticket/Member card/Toll tags)** เช่น บัตรทางด่วน บัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน บัตรเครดิตหรือเดบิต

รูปที่ 2.21 ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์และบัตรสมาชิก (E-ticket/Member card/Toll tags) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ระบบกุญแจอิล็กทรอนิกส์ (Electronic immobilizer)** ในรถยนต์ ป้องกันกุญแจผิดใน การขโมยรถยนต์ (Smart key entry) พวก Keyless ในรถยนต์ราคาแพงบางรุ่นก็เริ่มนำมาใช้งานแล้ว



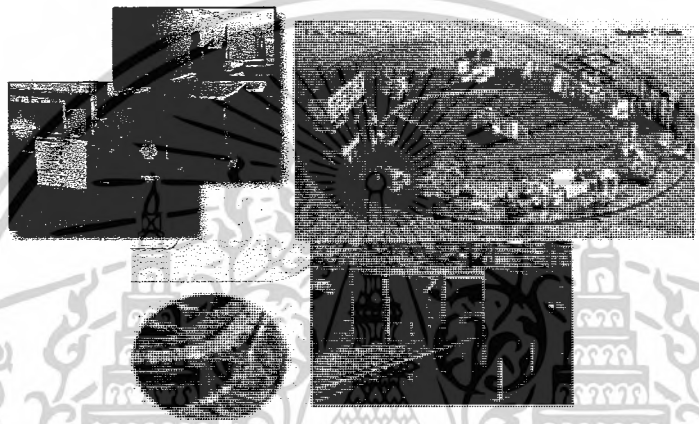
รูปที่ 2.22 ระบบกุญแจอิล็กทรอนิกส์ (Electronic immobilizer) [6]

- **ระบบ Animal tracking** ในการพัฒนาด้านปศุสัตว์ให้เป็นระบบฟาร์มออโตเมชัน ด้วย ชิพ RFID ติดตัวสัตว์เลี้ยง ทำให้สามารถทราบเจ้าของ ตรวจสอบสายพันธุ์ การให้อาหารและการ ควบคุมโรคติดต่อในสัตว์ รวมถึงการสร้าง Food trace ability

รูปที่ 2.23 ระบบ Animal tracking [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ระบบ Logistic** ภาพที่จะเห็นในโรงงานในอนาคต คือสามารถติด Tags ไว้กับชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานผ่านสายพานขนสินค้าในโรงงาน แต่ละแผนกจะรู้ว่าต้องทำอย่างไร ติดอะไรบ้าง และต้องส่งไปที่ไหนต่อ รวมถึงการจัดการสินค้าในคลังสินค้าว่ารับสินค้ามาเมื่อใด จะต้องเก็บไว้ที่ไหน จะส่งไปไหนยังไง ใครจะมารับ ส่วนภาพที่ผู้บริโภคจะเห็นคือ การซื้อสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต เวลาซื้อก็หยิบใส่ตะกร้าคิดเงินผ่านเครื่องอ่าน RFID ครั้งเดียวคิดเงินได้ทันที ไม่ต้องหยิบมายิงบาร์โค้ดทีละชิ้นให้เสียเวลา และเตือนผู้ซื้อได้หากสินค้าที่ซื้อหมดอายุ



รูปที่ 2.24 ระบบ Logistic [6]

- **ระบบด้านการแพทย์และสาธารณสุข (Healthcare)** มีการนำ RFID มาใช้งานสำหรับการทำ Asset tracking กับเครื่องมือแพทย์ที่มีราคาแพง ทำให้สามารถตรวจสอบการเก็บรักษาเครื่องมือแพทย์ได้สะดวกรวดเร็วนอกจากนี้ยังมีการใช้ RF-ID เสริมในการผลิตยาเพื่อตรวจสอบยาปลอม ซึ่งช่วยให้ผู้ผลิตสามารถป้องกันความสูญเสียจากสินค้าเลียนแบบ และป้องกันไม่ให้ผู้ป่วยได้รับยาที่ไม่มีคุณภาพหรือยาปลอมได้ข้อมูลจาก The United States of Food and Drug Administration (USFDA)รายงานว่าปัจจุบันโรงพยาบาลบางแห่งในสหรัฐฯ ได้ฝังป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ไว้ใต้ผิวหนังบริเวณท่อนแขนของคนไข้ เพื่อความสะดวกในการตรวจรักษา และติดตามข้อมูลการรักษาของผู้ป่วย เมื่ออวัยวะที่ได้รับการฝังชิปไว้ภายในถูกสแกนด้วยเครื่องอ่านระบบจะแสดงข้อมูลการรักษาของคนไข้รายนั้นออกมา ทำให้แพทย์ที่ถูกเปลี่ยนให้มาดูแลรักษาคนไข้รายดังกล่าวได้รับทราบประวัติการรักษา โดยแพทย์คนก่อนหน้านั้นได้อย่างถูกต้องหรือหากคนไข้ถูกส่ง มาโรงพยาบาลอย่างหมดสติ เมื่อเครื่องอ่านสแกนผ่านป้ายระบุ

อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีหมายเลขที่ไม่ซ้ำกันอยู่ในนั้น ก็จะทำให้สามารถทราบข้อมูลเกี่ยวกับคนไข้อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ฝังใต้ผิวหนังมนุษย์นี้ยังถูกใช้ในการติดตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนไข้ที่เป็นโรคที่ต้องมีการติดตามอย่างใกล้ชิด เช่น โรคอัลไซเมอร์ โรคเบาหวาน และโรคหัวใจ เป็นต้นสำหรับวิธีการฝังป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ลงไปใต้ผิวหนังไม่ได้ยุ่งยากมากนัก เพียงแค่บรรจุชิปลงในหลอดฉีดยาแล้วฉีดลงไปใต้ผิวหนัง โดยชิปจะถูกเคลือบด้วยสารที่ชื่อว่า Biobond ช่วยในการยึดเกาะกับเนื้อเยื่อภายในร่างกาย และช่วยป้องกันไม่ให้ชิปเสียหายด้วยนอกจากนี้ เทคโนโลยี RFID ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในบริษัทรับจัดการขยะในญี่ปุ่นแห่งหนึ่งได้ร่วมมือกับโรงพยาบาลและบริษัทรับขนส่ง กำลังศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้ในการจัดการขยะทางการแพทย์ ทั้งนี้เนื่องจากขยะทางการแพทย์เป็นขยะอันตราย จึงต้องระมัดระวังในเรื่องการกำจัดและการขนส่งเป็นอย่างดี

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างชิป RFID ที่ฝังไว้ในผิวหนังมนุษย์ [11]

- ระบบงานห้องสมุด ห้องสมุดหลายแห่งในประเทศสหรัฐอเมริกาและสิงคโปร์ ได้เป็นผู้ที่เริ่มนำเทคโนโลยี RFID เข้ามาใช้ในห้องสมุดแทนบาร์โค้ด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดภาระการทำงานประจำของเจ้าหน้าที่ และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของห้องสมุด โดย RFID นั้นสามารถประยุกต์ใช้กับงานห้องสมุดด้านต่างๆ ได้ดังนี้

(1) เครื่องบริการยืม - คืนทรัพยากรสารนิเทศอัตโนมัติ (Borrowing station) เครื่องบริการยืม - คืนทรัพยากรสารนิเทศอัตโนมัติ เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีไว้สำหรับบริการผู้ใช้ที่ต้องการทำรายการยืมหรือคืนทรัพยากรสารนิเทศด้วยตนเอง (self check) เมื่อต้องการยืม สมาชิกต้องระบุข้อมูลของตนเองเข้าสู่ระบบโดยใช้บัตรสมาชิก เช่น PIN Code Barcode Identification หรือ Smart card รวมถึง Biometrics เช่น ลายนิ้วมือเป็นต้น ผู้ยืมเพียงวางหนังสือที่ต้องการยืมหรือคืนไว้ที่แผ่นรับสัญญาณ ระบบก็จะทำการตรวจสอบ หลังจากนั้นระบบจะพิมพ์ใบยืม-คืนออกมา นอกจากนั้นห้องสมุดส่วนมากยังจัดบริการคืนหนังสือ โดยจัดตู้ให้ผู้ใช้คืนหนังสือ (library book

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

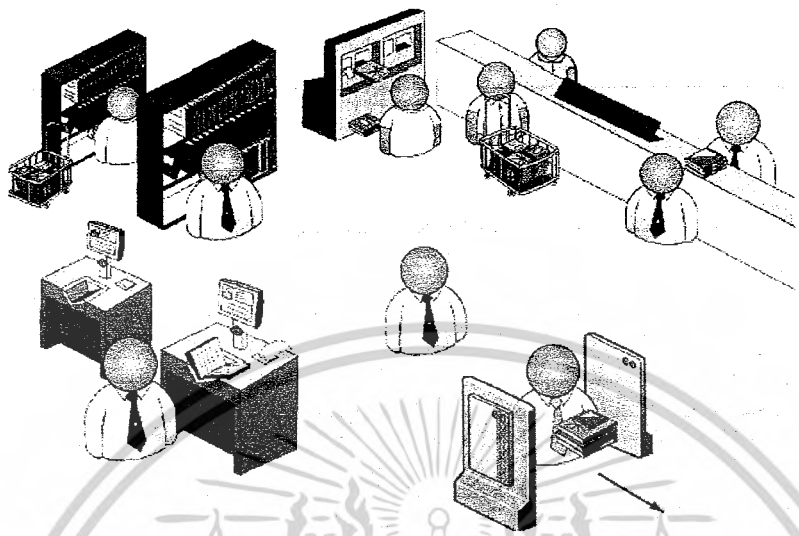
drop) เมื่อนำหนังสือมาคืน เครื่องอ่านจะอ่านข้อมูลจากป้าย ทันที ทำให้ผู้ใช้ได้ใช้สิทธิในการยืมได้อย่างเต็มที่ไม่ต้องนำมาคืนก่อนเวลา

(2) เครื่องตรวจสอบชั้นวางทรัพยากรสารนิเทศ เครื่องตรวจสอบชั้นวางทรัพยากรสารนิเทศ (Sorting station) ใช้สำหรับตรวจสอบหมายเลขชั้นที่เป็นที่อยู่ของทรัพยากรสารนิเทศด้วยการวางทรัพยากรสารนิเ ทศลงบนแผ่นตรวจสอบชั้นวาง (Sorting pad) เมื่อแผ่นตรวจสอบรับข้อมูลจากป้ายที่อยู่ในตัวทรัพยากรข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปแสดงยังหน้าจอ เพื่อแจ้งให้ทราบว่าทรัพยากรสารนิเทศนั้นอยู่ที่ชั้นหมายเลขอะไร พร้อมกันนั้นระบบจะเปิดสัญญาณป้องกันการขโมยทรัพยากรสารนิเทศกลับขึ้นมาใหม่

(3) การสำรวจทรัพยากรสารนิเทศและการจัดชั้น (Inventory and Shelf Management) การสำรวจทรัพยากรสารนิเทศบนชั้น โดยใช้เครื่องอ่านสัญญาณความถี่วิทยุแบบมีด้ามจับที่สามารถยืด - หดได้ โดยนำเครื่องอ่านไปอ่านทรัพยากรสารนิเทศที่เรียงอยู่บนชั้นต่างๆ (โดยไม่ต้องเปิดอ่านทีละเล่ม) เครื่องอ่านทำหน้าที่จ่ายสัญญาณไปยังป้าย หลังจากนั้นข้อมูลที่อยู่ในป้ายจะถูกส่งกลับมาเพื่อตรวจสอบ โดยที่ระยะเวลาในการอ่านขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำและความเร็วของเครื่องอ่าน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 2 - 20 เล่มต่อวินาทีเมื่อเครื่องอ่านตรวจส อบพบความผิดปกติ เช่น ทรัพยากรเรียงผิดตำแหน่งจะส่งข้อความหรือสัญญาณเตือนให้เจ้าหน้าที่ทราบ

(4) ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบรักษาความปลอดภัย (theft detection) ของทรัพยากรสารนิเทศ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตรวจสอบการนำทรัพยากรสารนิเทศออกจากห้องสมุดอย่างไม่ถูกต้อง ระบบรักษาความปลอดภัยซึ่งประกอบด้วยประตูที่มีสัญญาณเสียงหรือสัญญาณอื่นๆ เพื่อแจ้งให้เจ้าหน้าที่ทราบเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติ เมื่อผู้ใช้นำทรัพยากรสารนิเทศออกไปโดยไม่ผ่านการยืม ประตูจะส่งสัญญาณเตือนให้เจ้าหน้าที่ทราบสำหรับห้องสมุดของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยนั้น ได้เริ่มมีการนำระบบ RFID เข้ามาใช้ในห้องสมุดบ้างแล้วตัวอย่างเช่นการนำมาใช้งานในห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยความเป็นมาในการนำระบบ RFID มาใช้ เริ่มจากการที่มหาวิทยาลัยได้ย้ายคณะสังคมศาสตร์และมนุษย์ศาสตร์ จากท่าพระจันทร์ มาตั้งอยู่ที่ศูนย์รังสิตจึงทำให้ต้องแบ่งเจ้าหน้าที่ห้องสมุดส่วนหนึ่งมาอยู่ที่นี่ด้วย ซึ่งในขณะนั้นเจ้าหน้าที่มีจำนวน น้อย ทางมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์จึงได้หาเทคโนโลยีมาช่วยในการให้บริการผู้ใช้ห้องสมุดเพื่อให้ได้รับความสะดวกและสามารถเปิดบริการห้องสมุดได้ในช่วงเวลาที่ยาวขึ้นซึ่งจากการศึกษาข้อมูลและการดูงานห้องสมุดต่างประเทศจึงได้เริ่มนำระบบ RFID เข้ามาใช้งานในปี พ.ศ. 2546 ด้วยเงินงบประมาณในการติดตั้งระบบ 13 ล้านบาท สำหรับหนังสือ จำนวน 200,000 เล่ม และเทอร์มินัลจำนวน 8 ชุด ทั้งนี้ ไม่รวมค่าบำรุงรักษาระบบอีกปีละหลายแสนบาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การใช้ RFID ในการตรวจสอบชั้นหนังสือ

2.11 ข้อจำกัดของ RFID

ถึงแม้ RFID เป็นเทคโนโลยีการระบุอัตโนมัติ (Automatic identification) เช่นเดียวกับเทคโนโลยีรหัสแท่งหรือบาร์โค้ดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกในปัจจุบันแต่ RFID สามารถแก้ไขข้อจำกัดหลายประการของการใช้บาร์โค้ด ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ RFID บาร์โค้ด

คุณสมบัติ	บาร์โค้ด	RFID
ความสามารถในการอ่านป้ายสินค้าโดยไม่ต้องเล็ง	ไม่มี (ต้องใช้แสงเลเซอร์กราดป้ายรหัสแท่งตามแนวการมองเห็น)	มี (อ่านป้ายได้แม้ไม่อยู่ในแนวการมองเห็น เพียงขอให้อยู่ในรัศมีการอ่านของเครื่องอ่าน)
ความสามารถในการอ่านป้ายสินค้าหลายชิ้นพร้อมกัน	ไม่มี	มี(ด้วยระบบ anti-collision ป้องกันการชนกันของข้อมูล)
ความสามารถในกานำป้ายกลับมาใช้ซ้ำหรือบันทึกขอมูลใหม่	ไม่มี	อาจมีได้ (หากใช้หน่วยความจำชนิดโปรแกรมแล้วลบได้)
ความสามารถในการระบุสินค้ารายชิ้น	ไม่มี (ระบุบได้เพียงรายชนิด)	มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) เปรียบเทียบคุณสมบัติของ RFID บาร์โค้ด

คุณสมบัติ	บาร์โค้ด	RFID
ความสามารถในการกันขโมย	ไม่มี	มี
ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม	ไม่ทนต่อความเปียกชื้นและความเปรอะเปื้อน	ทนต่อความเปียกชื้นและความเปรอะเปื้อน
ต้นทุนของป้ายสินค้า	ต่ำมาก	ค่อนข้างสูง (แต่มีแนวโน้มลดลง)

สิ่งที่เป็นข้อจำกัดสำคัญประการหนึ่งของ RFID ในปัจจุบันคือราคาต่อหน่วยที่ยังสูง (ประมาณ 10-20 บาทต่อ 1 ชิ้น7) เมื่อเทียบกับบาร์โค้ด ทำให้ผู้ประกอบการต้องพิจารณาถึงผลตอบแทนจากการลงทุนและความเหมาะสมในการบูรณาการ RFID เข้าในกระบวนการผลิตของตน โดยต้องคำนึงถึงต้นทุนที่ลดลงในระยะยาวและมูลค่าเพิ่มของสินค้าที่เกิดขึ้นจากการใช้ RFID กระบวนการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (cost-benefit analysis) จึงมีความสำคัญต่อการตัดสินใจของผู้ประกอบการ จากประสบการณ์ที่ผ่านมาในการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ ไปประยุกต์ใช้ราคาเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการยอมรับของตลาดในระดับ mass-market

แม้ว่าราคายังแพง แต่การใช้ RFID อาจให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุน จากการศึกษาเบื้องต้นของ Siemens Business Services พบว่าเมื่อเทียบกับบาร์โค้ดแล้ว RFID สามารถลดต้นทุนได้ถึงร้อยละ 50 ต่อพัลเลต ในขณะที่ช่วยลดอัตราความผิดพลาดเหลือ 0.1% ผลการศึกษาของซีเมนส์ยังต้องได้รับการพิสูจน์ต่อไปจากการดำเนินโครงการนำร่อง (pilot projects) ต่างๆ

ปัญหาเรื่องต้นทุนจะได้รับการแก้ไขในที่สุด ด้วยจำนวนผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นและการกำหนดมาตรฐานที่ชัดเจนแน่นอนและเปิดกว้างมากขึ้น (มาตรฐาน EPC Class 1 Gen 2 ซึ่งคาดว่าได้รับการรับรองจาก ISO ให้เป็นมาตรฐาน ISO 18000-6c8) IDC คาดการณ์ว่าราคาของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องอ่าน และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ จะมีราคาถูกลงในอนาคตอันใกล้ ยังผลให้เกิดความยอมรับในเทคโนโลยี RFID มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ราคายิ่งถูกลงอีกซึ่งจะทำให้ RFID สามารถทดแทนบาร์โค้ดได้มากขึ้นเรื่อยๆ จนอาจกล่าวได้ว่าจะมีสินค้าติดป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ 1 ชิ้นต่อสินค้าทุกๆ 20 ชิ้น ภายในปี ค.ศ. 2008 (จากการประมาณของ Sere on Research) ซึ่งเมื่อนั้นการใช้งาน RFID จะเข้าสู่ระดับรายชิ้น (item-level) แทนที่จะเป็นเพียงรายพัลเลต (pallet-level) ดังที่พบในโครงการนำร่องของผู้ค้าปลีกรายใหญ่ในประเทศต่าง ๆ

อย่างไรก็ตาม ด้วยราคาที่ยังค่อนข้างสูงในปัจจุบัน ทำให้คาดการณ์ได้ว่าระบบบาร์โค้ดจะยังคงอยู่เคียงคู่ระบบ RFID ไปอีกนานหลายปี เนื่องจากการใช้งานกับสินค้าราคาถูกยังขาดความคุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุนในระดับ item สินค้าที่ RFID สามารถเข้าไปทดแทนบาร์โค้ดลงไปถึงระดับ item คือสินค้าที่มีมูลค่าสูงหรือมีความเสี่ยงจากการถูกปลอมแปลง เช่น ซีดี, ดีวีดี, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เสื้อผ้าที่มียี่ห้อ และยา นอกจากความพยายามทำให้ราคา RFID ต่ำลงด้วยการกำหนดมาตรฐานRFID สำหรับการจัดการหน่วยสินค้า (RFID for item management) โดย ISO และ EPC Globalแล้ว ยังมีความพยายามของหน่วยงานวิจัยอีกหลายแห่งที่จะหากลไกในการทำให้ราคา RFID ต่ำลงหนึ่งในหน่วยงานนั้นคือกระทรวงเศรษฐกิจ การค้าและอุตสาหกรรม (METI) ของญี่ปุ่นซึ่งมีกำลังดำเนินโครงการที่จะตัดราคาป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ ให้เหลือเพียง 5 เยน (ประมาณ 2 บาท) โดยความร่วมมือของ Hitachi, Dai Nippon Printing และ Toppan Printing ซึ่งจะพัฒนา UHF passive tag inlay ที่มีหน่วยความจำ 512 บิต เขียนซ้ำได้ 100,000 ครั้ง, ระยะอ่านไม่ต่ำกว่า 3 เมตร, ระยะเขียนไม่ต่ำกว่า 1 เมตร, และอายุการทำงาน 10 ปี ระบบจะต้องอ่านป้ายได้ 100 ป้ายต่อวินาทีบนสายพานลำเลียงที่มีความเร็วไม่เกิน 180 เมตรต่อนาที ซึ่งเป็นที่น่าจับตาว่าหากโครงการดังกล่าวประสบความสำเร็จ ตลาด RFID จะขยายตัวเพิ่มขึ้นอีกมากเท่าใด

2.12 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานและการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีไปประยุกต์ใช้กับระบบต่าง ๆ เช่น คลังสินค้า ซูเปอร์มาร์เก็ต งานระบบรักษาความปลอดภัยในการเข้า-ออกอาคาร บัตรทางด่วน บัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน เป็นต้น ระบบอาร์เอฟไอดีไม่ใช่สิ่งที่ไกลตัวเรา หลายท่านอาจเคยใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีในชีวิตประจำวันโดยไม่รู้ตัวก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

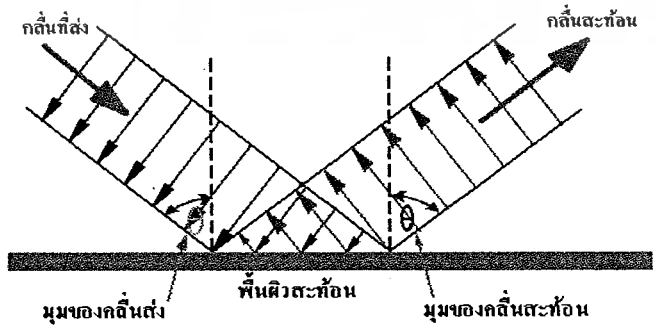
บทที่ 3
ทฤษฎีและการวิเคราะห์การสูญเสียในการส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Radio wave propagation) บนช่องสัญญาณในรูปแบบต่างๆ ซึ่งนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างแบบจำลองสำหรับระบบการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับที่มีต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุแทนไมโครเวฟสำหรับระบบระยะสั้นโดยปกติสัญญาณที่ส่งออกไปจะถูกลดทอนและอาจถูกรบกวนด้วยสัญญาณในระบบการสื่อสารต่างๆ ซึ่งส่งผลทำให้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณทางด้านรับได้ ปัจจุบันระบบการสื่อสารมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงแม่นยำ ซึ่งมีทฤษฎีหลักการวิเคราะห์เพื่อเป็นมาตรฐาน และข้อบังคับสำหรับเทคโนโลยี RFID ที่เรานำมาใช้งาน เพื่อหาค่าประสิทธิภาพสำหรับการทดลองวิจัย โดยระบบ RFID ที่เรานำมาศึกษานั้นจะศึกษาในเรื่องของค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น,การสูญเสียเชิงวิถี,อัตราการขยายเชิงวิถี,ค่าสัมปรัสิทธิ์สหสัมพัธ์ และอัตราความผิดพลาดต่อบิต ทั้งนี้จึงต้องพิจารณาและวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎีจึงจะได้ทราบค่าที่ได้จริง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นต้องมีการพิจารณาระบบการส่งผ่านสัญญาณที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละสภาวะของช่องสัญญาณด้วยเช่นกัน

3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นวิทยุ

3.2.1 การสะท้อนของคลื่น

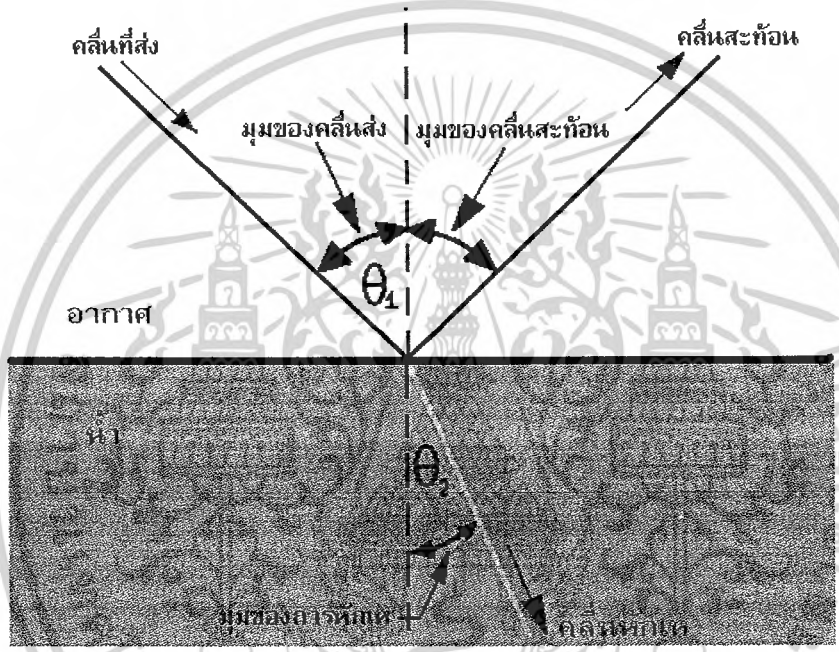


รูปที่ 3.1 การสะท้อนของคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสะท้อน (Reflection) ของคลื่นหมายถึงการเปลี่ยนทิศทางการเดินทางของคลื่นโดยทันทีทันใด เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวาง แล้วเปลี่ยนทิศทางกลับสู่ตัวกลางเดิม นั่นคือเมื่อคลื่นนั้นเดินทางมาตกกระทบที่ผิวของตัวกลาง คลื่นจะกระดอนออกจากผิวสะท้อนของตัวกลาง ในลักษณะเดียวกับแสงสะท้อนจากกระจกเงา จากรูปที่ 3.1 แสดงปรากฏการณ์ของการสะท้อนของคลื่นวิทยุ สังเกตได้ว่ามุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

3.2.2 การหักเหของคลื่น



รูปที่ 3.2 การหักเหของคลื่นวิทยุ

การหักเห (refraction) ของคลื่นวิทยุเกิดขึ้นเมื่อคลื่นวิทยุเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าไม่เหมือนกัน โดยที่มุมตกกระทบ ณ ตัวกลางที่สองไม่เป็นมุมฉาก พลังงานคลื่นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับเข้าไปยังตัวกลางที่หนึ่ง โดยมีมุมตกเท่ากับมุมสะท้อนแต่ยังมีพลังงานคลื่นอีกส่วนหนึ่งเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สอง การเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สองนี้ จะไม่เป็นแนวเส้นตรงต่อไปจากแนวทางเดินในด้านตัวกลางแรก แต่จะหักเหออกไปมากน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวกลางทั้งสอง สาเหตุที่เกิดการหักเหของทางเดินของคลื่นวิทยุ เนื่องจาก ความเร็วของคลื่นวิทยุในตัวกลางที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกันจะไม่เท่ากัน เช่น คลื่นวิทยุจะเดินทางในน้ำบริสุทธิ์จะช้ากว่าเดินทางในอากาศถึง 9 เท่า เป็นต้น

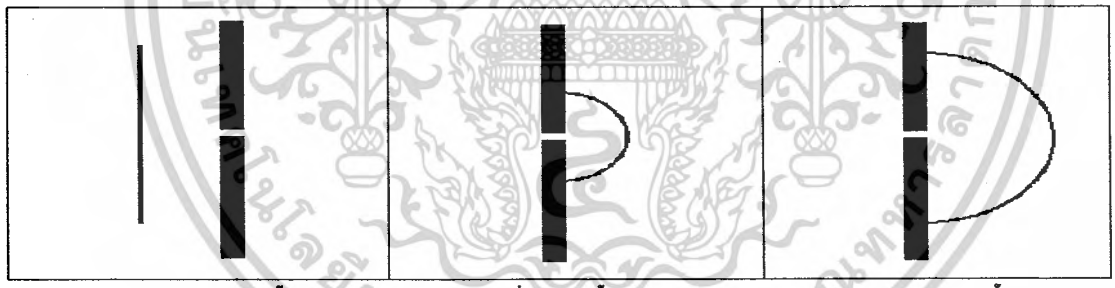
จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อหน้าคลื่น (Wave front) ตกกระทบพื้นผิวระหว่างตัวกลางทั้งสองนั้น ส่วนของคลื่นที่สัมผัสผิวน้ำก็จะเริ่มเดินทางเข้าไปในน้ำด้วยความเร็วช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่หน้าคลื่นอีกส่วนหนึ่งยังคงอยู่ในอากาศจะเดินทางเร็วกว่า ตัวอย่างคลื่นที่ใช้ติดต่อสื่อสารที่อาศัยการหักเหของคลื่น คือ การสื่อสารในย่านความถี่สูง (HF) ซึ่งอาศัยเพดานไฟฟ้า (Ionosphere) เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางจากพื้นโลกผ่านเข้าไปยังเพดานไฟฟ้าลำคลื่นจะค่อย ๆ หักเหไปเรื่อย ๆ จนในที่สุดคลื่นก็จะกลับออกมาจากเพดาน ไฟฟ้าและกลับมายัง พื้นโลกอีก

3.2.3 การแพร่กระจายคลื่น

การแพร่กระจายคลื่น (Diffraction) มีชื่อเรียกได้ต่างๆกันไป เช่น การเลี้ยวเบนของคลื่น หรือการ เบี่ยงเบนของคลื่น การเบี่ยงเบนของคลื่นเกิดขึ้น เมื่อคลื่นเดินทางผ่านมุมหรือขอบของตัวกลางทึบ ที่คลื่นนั้นไม่สามารถผ่านได้ เช่น คลื่นวิทยุความถี่สูงมากเดินทางผ่านยอดเขาคลื่นนี้มีคุณสมบัติ เดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้นถ้าเราลากเส้นตรงจากสายอากาศไปยังยอดเขาส่วนที่อยู่หลังยอดเขา และ ต่ำกว่าเส้นนี้ลงมาไม่ควรที่จะได้รับคลื่นได้เลย แต่บางส่วนที่อยู่หลังยอดเขาสามารถรับคลื่นวิทยุ ย่านความถี่สูงได้ เนื่องจากความถี่สูงขึ้น การเบี่ยงเบนของคลื่นก็ยิ่งลดลง กล่าวคือคลื่นจะเดินทาง เป็นแนวเส้นตรงแต่บางส่วนของคลื่นเกิดการกระทบกับสลิตแคบๆ (ยอดเขา) ทำให้คลื่นเกิดการ แตกกระจายออกไปโดยรอบเสมือนกับเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่นั่นเอง ดังรูปที่ 3.3 แสดงคลื่น เคลื่อนที่ผ่านช่องสลิตที่แคบ



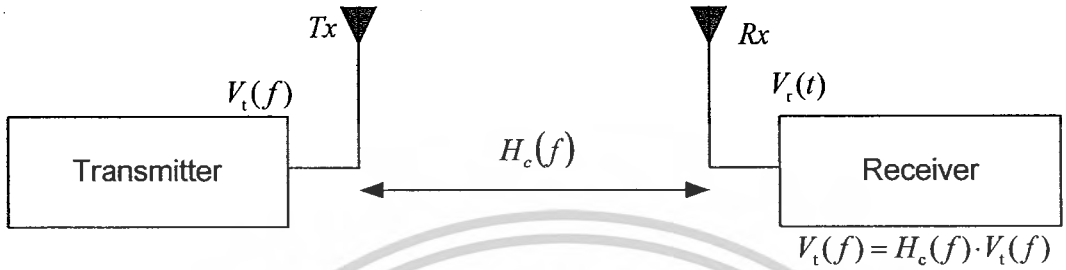
รูปที่ 3.3 การเลี้ยวเบนของคลื่น

3.3 ทฤษฎีการส่งผ่านในอวกาศว่างของฟรีส

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันการส่งผ่านในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง แสดงดังสมการที่ 3.1 ซึ่ง $V_t(t)$ และ $V_r(t)$ คือโวลต์ของทางด้านส่งและด้านรับตามลำดับ



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างของฟรีส

$$H_{\text{Friis}}(f) = \frac{V_r(f)}{V_t(f)} = H_c(f)\mathrm{H}_r(f) \cdot \mathrm{H}_t(f) \tag{3.1}$$

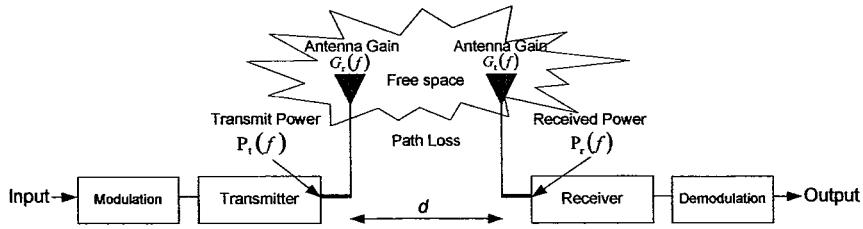
โดยที่ $\mathrm{H}_c(f)$ คือ ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด

$\mathrm{H}_r(f)$ คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ทางด้านรับ

$\mathrm{H}_t(f)$ คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ทางด้านส่ง

3.4 การวิเคราะห์การส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาสมการของฟรีสมาใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยสัญญาณส่งจะเป็นสัญญาณไซด์ (Sine wave) และได้ทำการมอดูเลตทางด้านแอมปริจูด เนื่องจากเป็นการมอดูเลตที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยพิจารณาแค่บิต 0 กับ 1 ซึ่งวิธีการมอดูเลตได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา จากนั้นก็ส่งสัญญาณออกจากเสาอากาศส่งผ่านอวกาศว่าง เมื่อสายอากาศทางด้านรับรับสัญญาณได้ก็จะผ่านการดีมอดูเลตจะได้สัญญาณที่รับได้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรของฟรีสที่เขียนรูปแบบกำลังงานของสัญญาณ สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$P_r = G_t G_r G_c P_t \tag{3.2}$$

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 อัตราส่วนของกำลังตัวส่งสัญญาณ และกำลังของตัวรับสัญญาณ ปกติจะแสดงออกมาใน หน่วย เดซิเบล (dB) ซึ่งรวมไปถึง การสูญเสียเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยาระหว่าง การแพร่กระจายคลื่น ซึ่งทั้งหมดอยู่ในการ ส่งสัญญาณและรับสัญญาณ ในกรณีที่ ช่องสัญญาณขนาดใหญ่ก็จะเกิดการจางหายของสัญญาณ หรือการเคลื่อนที่ของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถีจะมีมากขณะที่ทำการวัดโดยตรงจนถึงการสูญเสียแบบต่างๆ อัตราการขยายของระบบคลื่นวิทยุ ดั้งนั้น จึงมีการพิจารณาอย่างละเอียด โดยที่จะทำการตรวจสอบอย่างละเอียดสำหรับโครงสร้างของลิงค์บัดเจท ซึ่งขั้นตอนแรกจะทำการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สาย สำหรับในส่วน การสูญเสียเชิงวิถี จะดูคุณลักษณะ และอัตราขยายในระบบเป็นส่วนที่สำคัญโดยที่ค่า การสูญเสียเชิงวิธีสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

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

โดยที่ $P_L(\mathrm{dB})$ คือ การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในหน่วย เดซิเบล

$v_r(t)$ ค่าแรงดันทางด้านรับ

$v_t(t)$ ค่าแรงดันทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain)

อัตราขยายเชิงวิถีมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบ โดยอัตราขยายเชิงวิถีเป็นส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิธี โดยที่ ค่าของสัญญาณทางด้านรับต่อ สัญญาณทางด้านส่งการสูญเสียเชิงวิถีสามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$P_G(\mathrm{dB}) = 10\log\left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty}|v_r(t)|^2\,dt}{\int_{-\infty}^{\infty}|v_t(t)|^2\,dt}\right] \tag{3.4}$$

โดยที่ $P_G(\mathrm{dB})$ คืออัตราการขยายเชิงวิถีของสัญญาณในหน่วย เดซิเบล

$v_r(t)$ ค่าแรงดันทางด้านรับ

$v_t(t)$ ค่าแรงดันทางด้านส่ง

3.4.3 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 3.6

$$C_c = \frac{\max\left|r_{v_r v_t}(\tau)\right|}{\max\left|r_{v_r}(\tau)\right| \cdot \max\left|r_{v_t}(\tau)\right|} \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $r_{v_r(t)v_t(t)}$ เป็นสหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างสัญญาณ $v_r(t)$ และ $v_t(t)$ และ $r_{v_r(t)}$ เป็นสหสัมพันธ์แบบออโต้ฟังก์ชั่น $v_r(t)$ ซึ่งนิยามเป็น

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

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

โดยที่ $v_t(t)$ คือสัญญาณทางด้านส่ง

$v_r(t)$ คือสัญญาณทางด้านรับ

3.4.4 อัตราความผิดพลาดต่อบิต BER (Bite Error Rate)

สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารทำให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดลงโดยสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุเช่นเกิดกระทำของมนุษย์ หรือโดยธรรมชาติในระบบ เราจะใช้อัตราความผิดพลาดต่อบิต เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบระบบ RFID โดยที่ค่าของอัตราความผิดพลาดต่อบิต ยิ่งมีค่ามากขึ้นเท่าใดจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นค่าอัตราความผิดพลาดเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$BER = Q\left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b}{b_r}}\right] \tag{3.6}$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt \; ; x \geq 0 \tag{3.7}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 บทสรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ที่จำเป็นสำคัญสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้หลักการของฟรีสในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เราต้องการพิจารณา ทั้งการสูญเสียในการส่งผ่านและประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เนื่องจากสมการการส่งผ่านของฟรีสเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย นอกจากนี้เราได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MATLAB program) เป็นตัวช่วยในการคำนวณ และประมวลผลออกมาในรูปของกราฟที่เราต้องการพิจารณา จากที่กล่าวมาทั้งหมดในบทนี้ล้วนแล้วแต่เป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การวัดและแบบแผนการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารมีการก้าวหน้าและพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและการสื่อสารเป็นสิ่งที่จำเป็นมากในการดำรงชีวิตตลอดจนตอบสนองการดำเนินชีวิตอีกด้วย และอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานเทคโนโลยีที่จะสนใจและน่าศึกษาคือเทคโนโลยี RFID สำหรับบทนี้เราจะพิจารณา การออกแบบการวัดหรือการจำลองการการใช้งานโดยที่การออกแบบเราจะคำนึงจึงตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณโดยใช้สายอากาศเป็นสื่อในการรับส่งสัญญาณ สำหรับการศึกษาและการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงและศึกษาผลกระทบในรูปแบบต่างๆ เพื่อนำไปแก้ไขตลอดจนพัฒนาต่อไปในอนาคต

4.2 สิ่งที่ควรคำนึงในการออกแบบและการวัดค่าในการทดลอง

4.2.1 สถานที่ ที่ทำการออกแบบหรือจำลองโมเดล

4.2.2 ลักษณะการติดตั้ง ตัวส่งสัญญาณและรับสัญญาณ

4.2.3 สภาวะแวดล้อมในการวัดเช่น คน, สิ่งก่อสร้าง

4.2.4 ลักษณะภูมิอากาศ

4.2.5 ความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้เครื่องมือวัดผลการทดลอง

4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

4.3.1 สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 GHz ที่มีขนาดกว้าง 9 cm และยาว 10 cm เป็นตัวส่งและตัวรับสัญญาณระบบ RFID

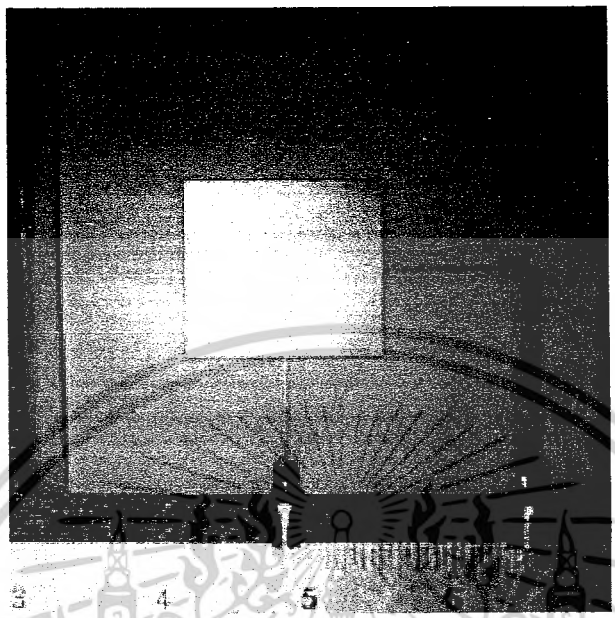
4.3.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ 8510 C

4.3.3 สายโคแอคเชียล

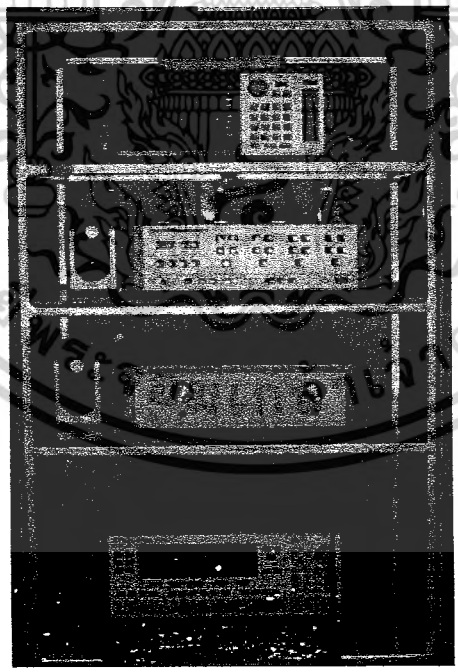
4.3.4 ขาตั้งสายอากาศภาคส่ง ระดับความสูง 2.10 m

4.3.5 ขาตั้งกล้องภาครับ ระดับความสูง 1.20 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

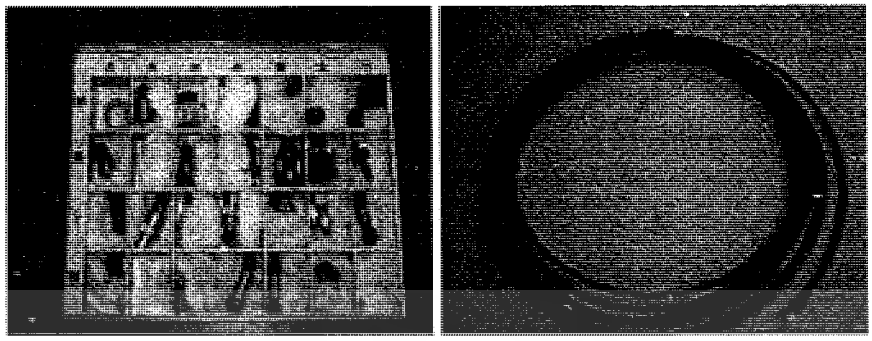


รูปที่ 4.1 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

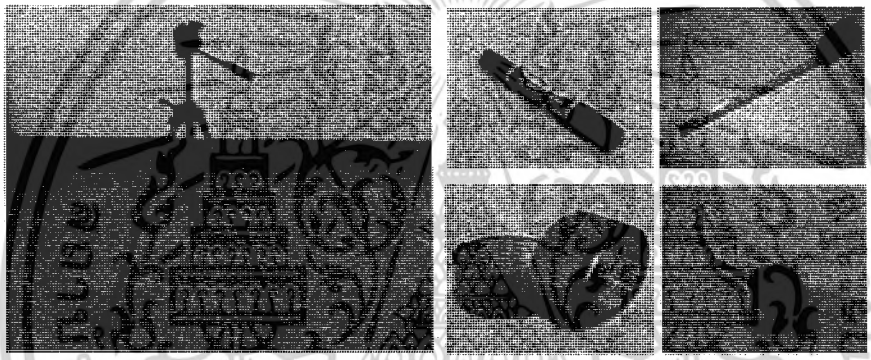


รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ 8510 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) หัวเชื่อมต่อแบบต่าง ๆ (ข) สายเซมิลลิจิด

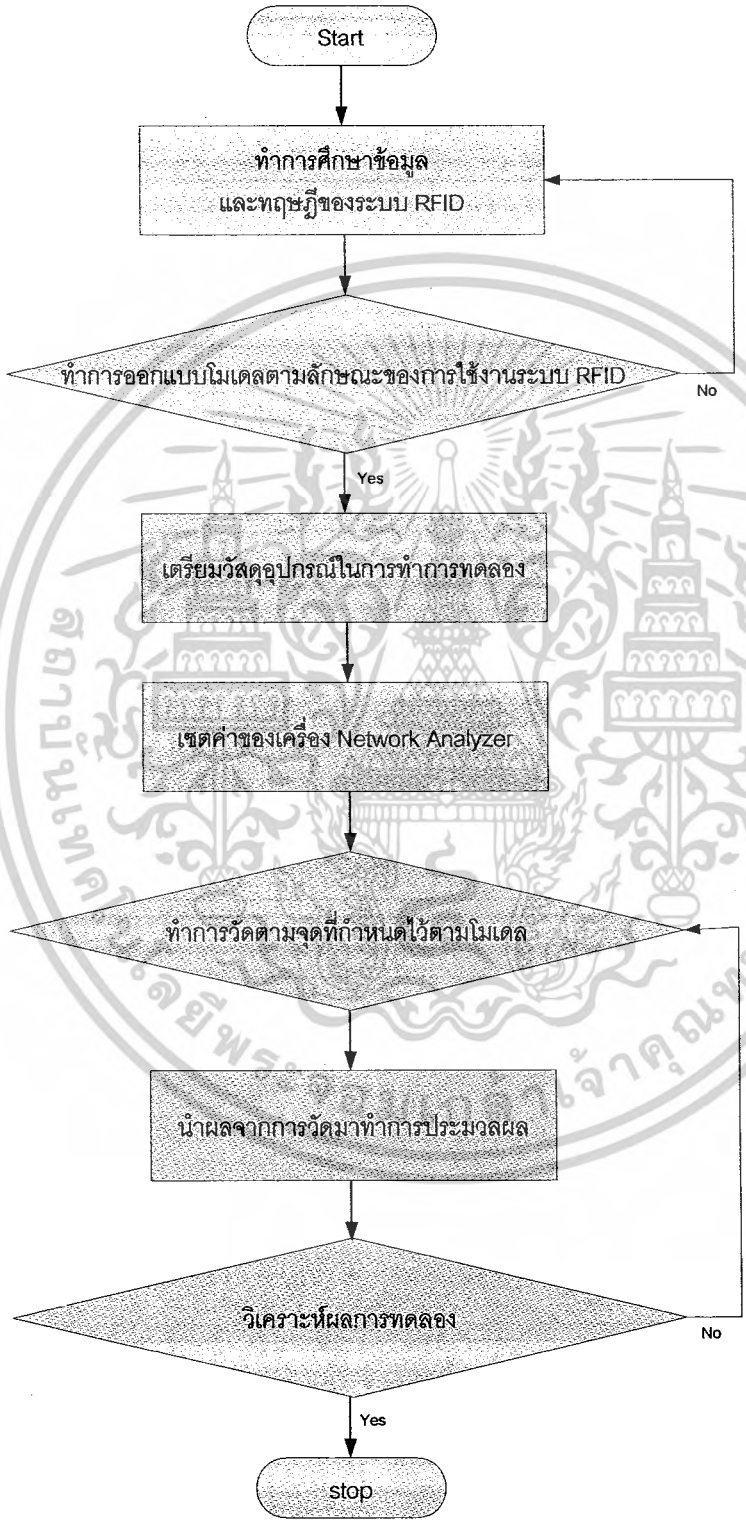


(ค) ขาตั้งที่ใช้ติดตั้งสายอากาศตัวส่ง (ง) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ขั้นตอนการออกแบบโมเดล



รูปที่ 4.4 แบบแผนและขั้นตอนการทดลองวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

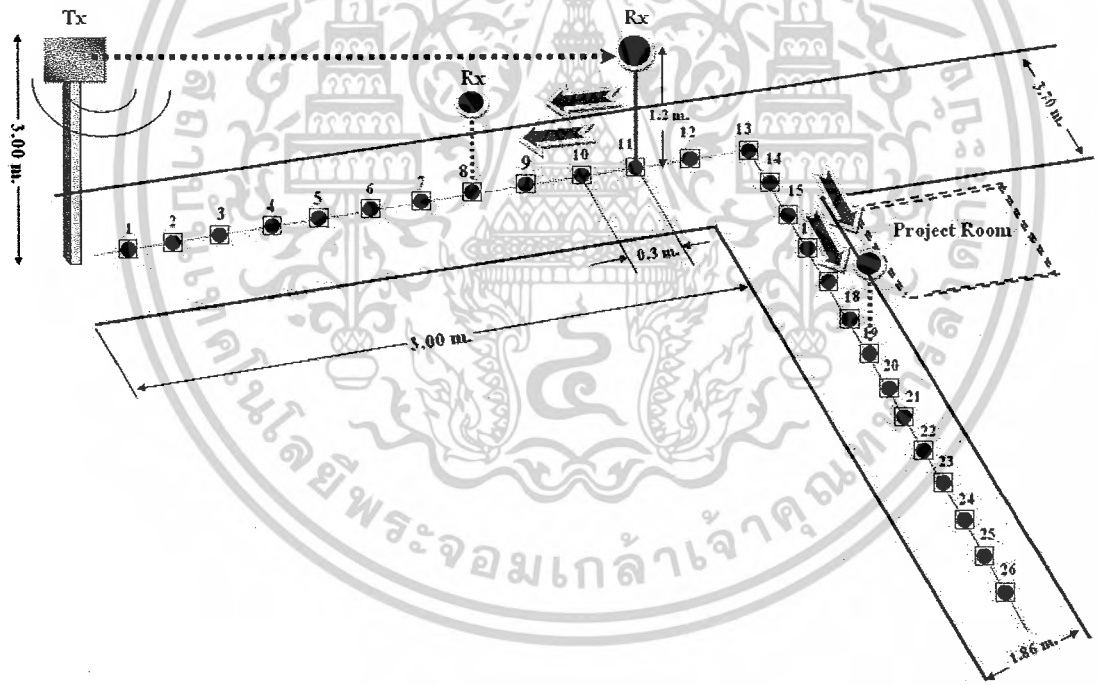
4.5 การออกแบบโมเดลวัดแบบรูปตัวแอล ระบบ RFID 2.45 GHz

4.5.1 ออกแบบจำลองการวัดโดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป 2.45 GHz เป็นภาคส่งซึ่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 3.00 m

4.5.2 ออกแบบจำลองการวัดโดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป 2.45 GHz เป็นภาครับซึ่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.20 m

4.5.3 ทำการกำหนดจุดที่วัดจากจุดศูนย์กลาง โดยที่เรากำหนดจุดศูนย์กลางอยู่ตรงสายอากาศทางด้านภาคส่งและสายอากาศทางด้านภาครับกำหนดให้ระยะทางที่วัดในแต่ละจุดห่างกันจุดละ 0.30 m เท่า ๆ กัน ซึ่งเราจะทำการวัดในทิศทาง LOS และทิศทาง NLOS ดังรูปที่ 4.5

4.5.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบรูปตัวแอลดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.5 แบบจำลองการทดลองวัดเป็นแบบรูปตัวแอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบรูปตัวแอล

พารามิเตอร์แบบจำลองวัดแบบรูปตัวแอล	
ย่านความถี่	2.3GHz-2.6GHz
จำนวนของช่องความถี่ต่อจุด	801
ช่วงกำลังการส่งสัญญาณ	80 dB
ความสูงของสายอากาศภาคส่ง	3.00m
ความสูงของสายอากาศภาครับ	1.20m
ระยะทางระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	±0.30m
ชนิดของสายอากาศ	Micro strip
การวางตัวของสายอากาศ	Vertical

4.6 การออกแบบโมเดลวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลม ระบบ RFID 2.45 GHz

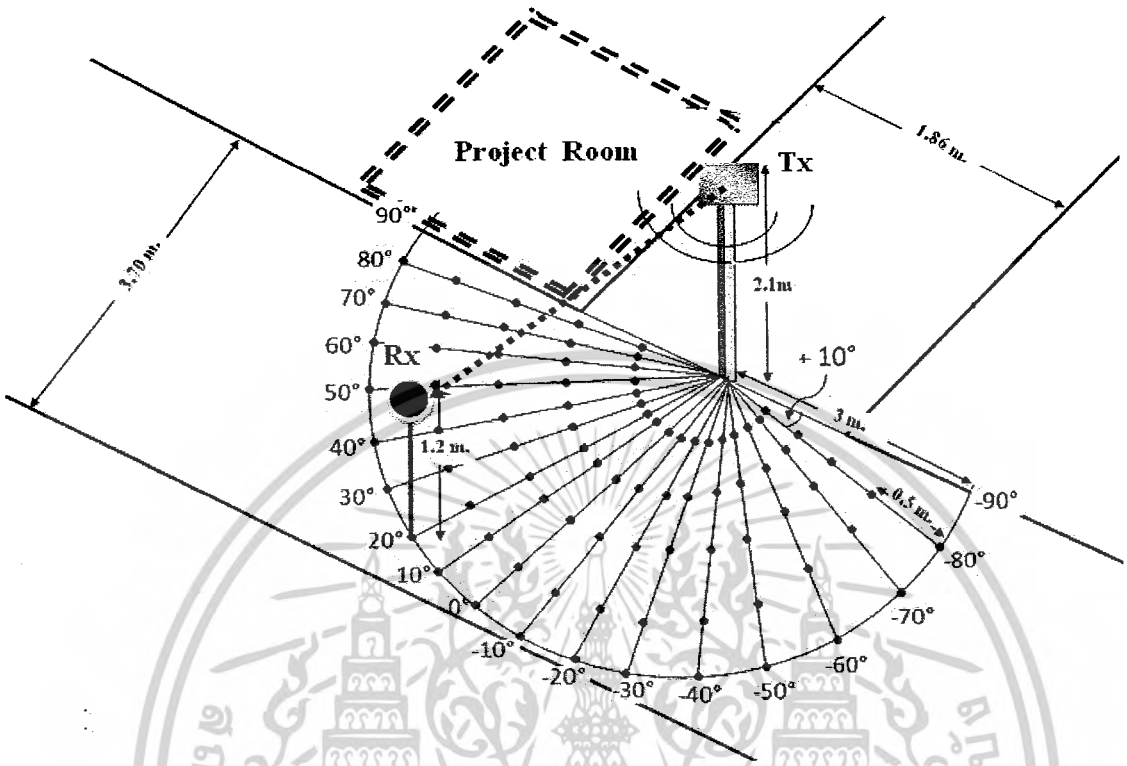
4.6.1 ออกแบบจำลองการวัดโดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป 2.45 GHz เป็นภาคส่งซึ่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.10 m

4.6.2 ออกแบบจำลองการวัดโดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป 2.45 GHz เป็นภาครับซึ่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.20 m

4.6.3 กำหนดจุดที่จะวัดโดยมีรัศมี 3.0 m ในแต่ละมุมที่เปลี่ยนแปลงครั้งละ 10° ซึ่งในแต่ละมุมจะทำการวัดมุมละ 6 จุด มีระยะห่างกันจุดละ 0.5 m

4.6.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลมดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แบบจำลองการทดลองวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลม

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลม

พารามิเตอร์แบบวัดระยะครึ่งวงกลม	
ย่านความถี่	2.3GHz-2.6GHz
จำนวนของช่องความถี่ต่อชุด	801
ช่วงกำลังการส่งสัญญาณ	80 dB
ความสูงของสายอากาศภาคส่ง	2.10m
ความสูงของสายอากาศภาครับ	1.20m
ระยะทางระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	0.5m,1.0m,1.5m,2.0m,2.5m และ3.0m
มุมระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	-90° ถึง 90° โดยที่มุมเพิ่มขึ้นมุมละ 10°
ชนิดของสายอากาศ	Micro strip
การวางตัวของสายอากาศ	Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

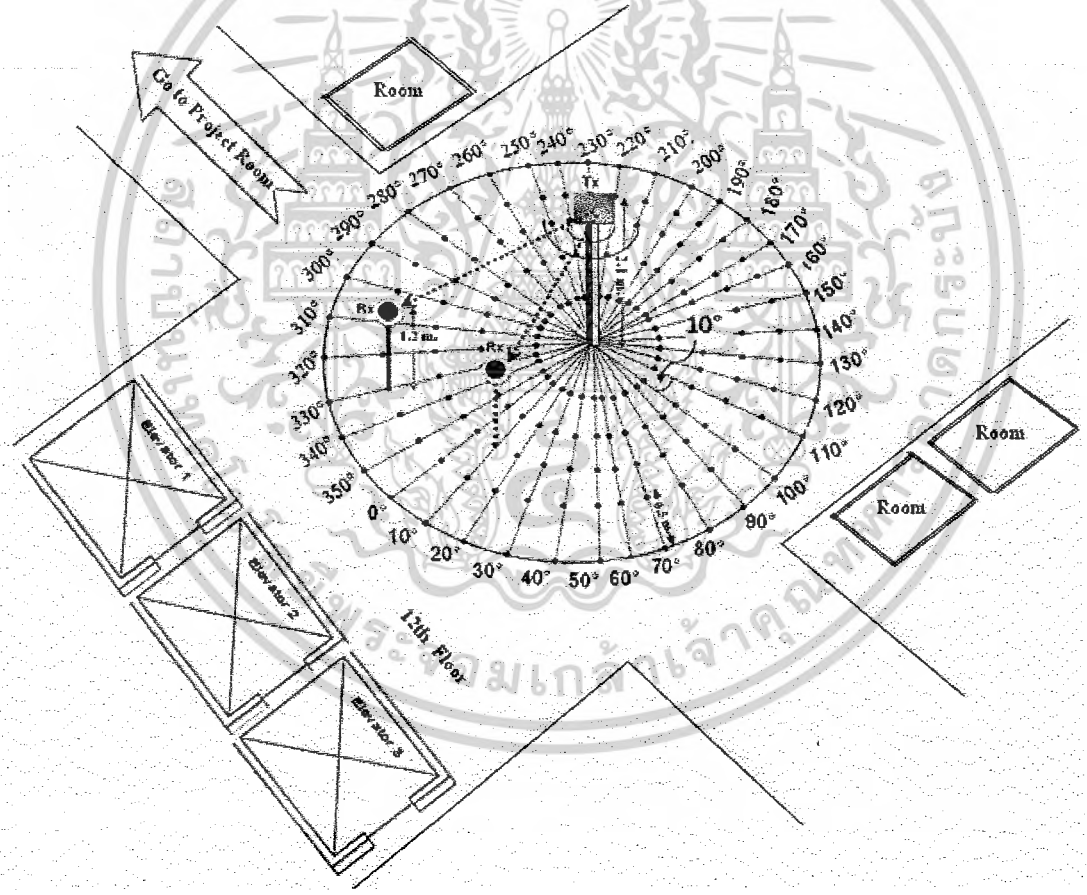
4.7 การออกแบบโมเดลวัดแบบระยะทางวงกลม ระบบ RFID 2.45 GHz

4.7.1 ออกแบบจำลองการวัดโดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป 2.45 GHz เป็นภาคส่งซึ่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.10 m

4.7.2 ออกแบบจำลองการวัดโดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป 2.45 GHz เป็นภาครับซึ่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.20 m

4.7.3 กำหนดจุดที่จะวัดโดยมีรัศมี 3.0 m ในแต่ละมุมที่เปลี่ยนแปลงครั้งละ 10° ซึ่งในแต่ละมุมจะทำการวัดมุมละ 6 จุด มีระยะห่างกันจุดละ 0.5 m

4.7.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลมดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.7 แบบจำลองการทดลองวัดแบบระยะทางวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบระยะทางวงกลม

พารามิเตอร์แบบวัดระยะวงกลม	
ย่านความถี่	2.3GHz-2.6GHz
จำนวนของช่องความถี่ต่อจุด	801
ช่วงกำลังการส่งสัญญาณ	80 dB
ความสูงของสายอากาศภาคส่ง	2.10m
ความสูงของสายอากาศภาครับ	1.20m
ระยะทางระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	0.5m,1.0m,1.5m,2.0m,2.5m และ3.0m
มุมระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	0° ถึง 360° โดยที่มุมเพิ่มขึ้นมุมละ 10°
ชนิดของสายอากาศ	Micro strip
การวางตัวของสายอากาศ	Vertical

4.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงรูปแบบการจำลองและการวัดช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุภายในอาคาร ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดแบบแผนการวัด โดยจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ สถานที่ที่ทำการวัดและทดลอง ลักษณะและการติดตั้งสายอากาศ สภาวะแวดล้อมรอบข้าง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้เครื่องมือวัด ด้วยเหตุนี้เราจึงได้ออกแบบโมเดลและค่าพารามิเตอร์ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ 8510 C อย่างละเอียดไว้ในบทนี้ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อพิจารณาหาผลกระทบจากสิ่งต่างๆ ที่ส่งผลต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ หาการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัดช่องสัญญาณ โดยจะแสดงออกในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ เราจะกล่าวถึงผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล หลังจากที่ได้ทำการออกแบบจำลอง รวมทั้งขั้นตอนการวิจัยของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปในบทที่ผ่านมาแล้ว ต่อมาในส่วนของบทนี้เราจะเอาข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัดสัญญาณมาทำการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วนำค่าเหล่านั้นมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน โดยได้เปรียบเทียบจากระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณ รวมทั้งเปรียบเทียบจากรูปแบบทิศทางของตัวรับสัญญาณ คือในแบบ LOS และแบบ NLOS สำหรับแบบจำลองที่ 1 สำหรับแบบจำลองที่ 2 นอกจากจะเปรียบเทียบจากระยะห่างระหว่างตัวรับตัวส่งสัญญาณทั้งหมด 5 ระยะแล้วยังเปรียบเทียบจากมุมของตัวรับสัญญาณอีกด้วย ส่วนสำหรับแบบจำลองที่ 3 เป็นการวัดแบบวงกลม โดยวัดทั้งหมด 5 ระยะ ทั้งนี้ได้แสดงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน การสูญเสียเชิงวิถี อัตราการขยายเชิงวิถี กำลังงานการแผ่ประวิงเวลา ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราความผิดพลาดต่อบิต โดยแสดงดังต่อไปนี้

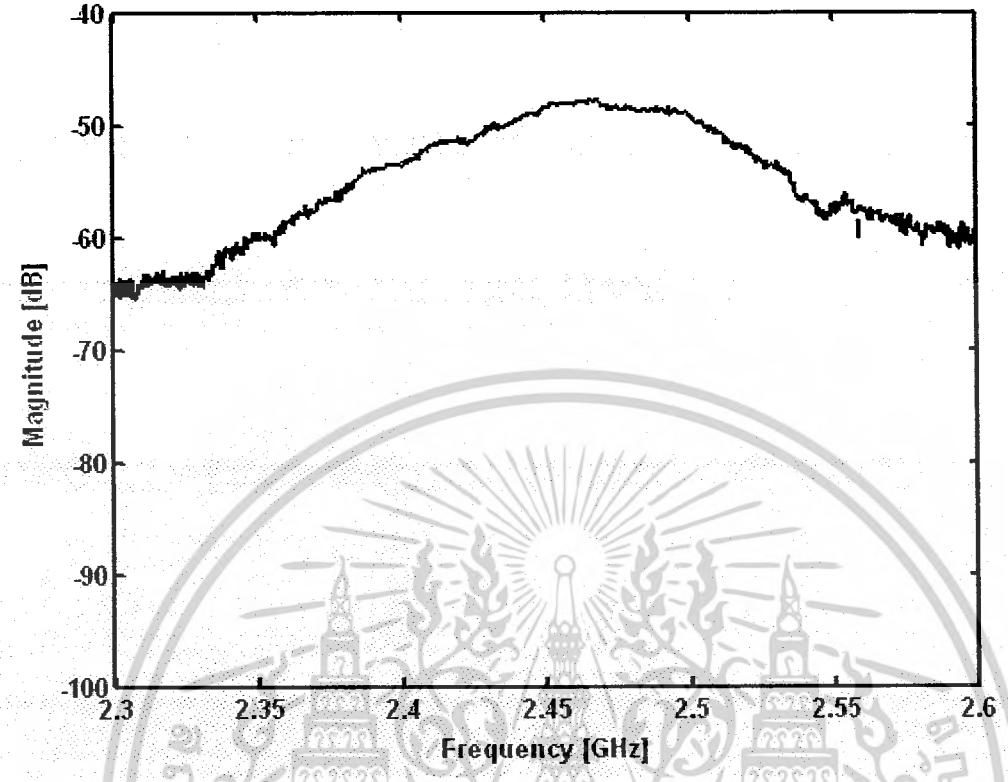
5.2 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตภายในอาคารแบบที่ 1

การทดลองวัดสัญญาณนี้ได้ทำบริเวณเส้นทางเดินชั้น 12 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ โดยจะทำการพิจารณาไปในแต่ละส่วนตามลำดับ

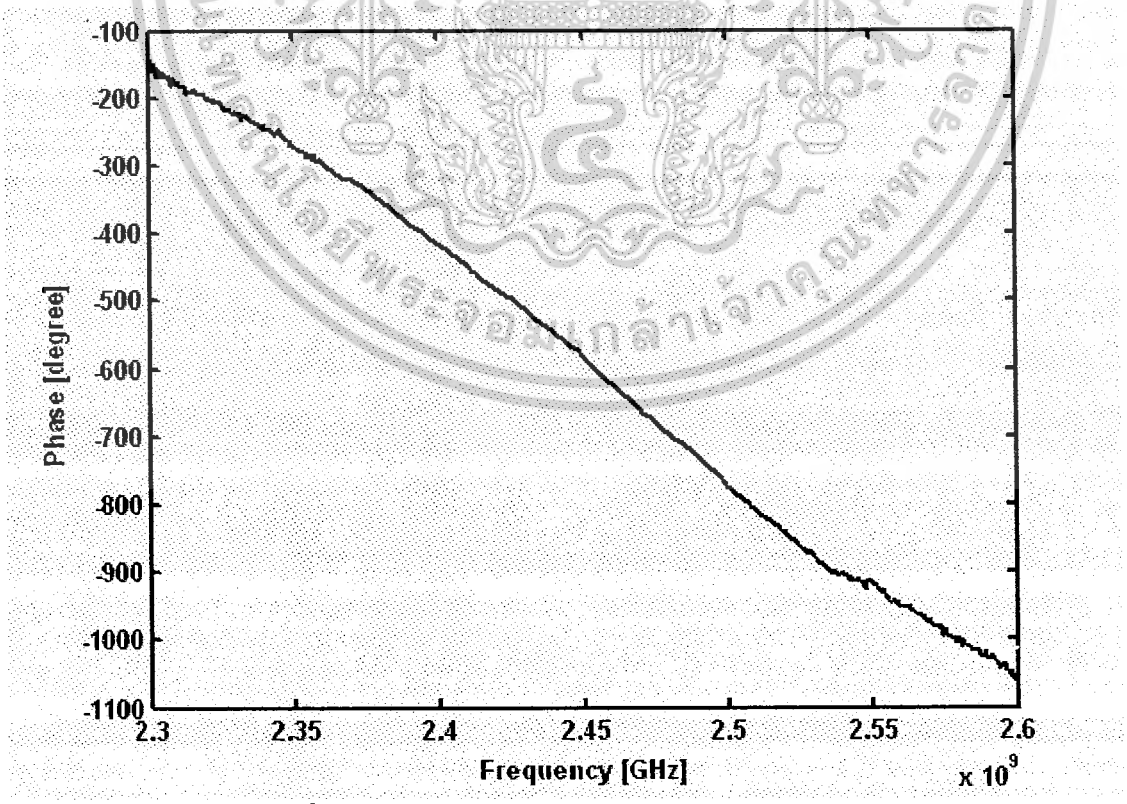
5.2.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน

ผลจากการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน แสดงดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีขนาดกำลังสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 2.45 กิกะเฮิร์ต ตรงตามคุณสมบัติสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบวัด แสดงให้เห็นว่าการทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณ

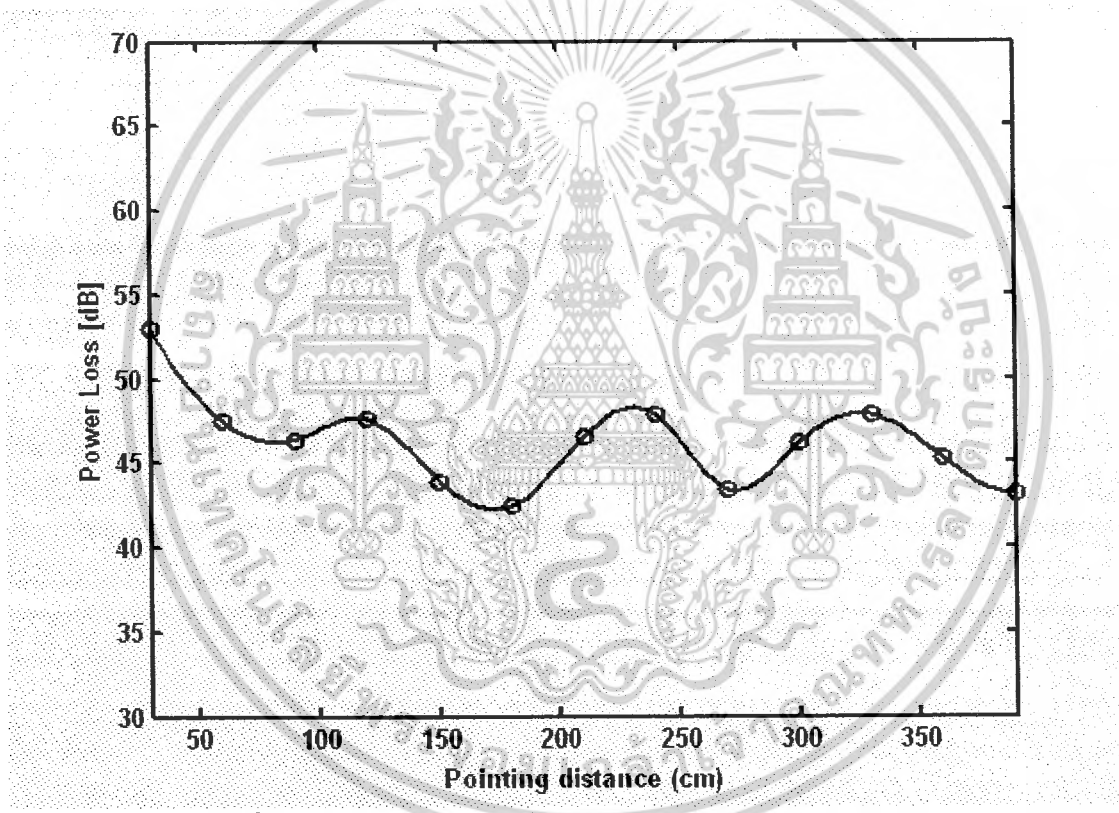


รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

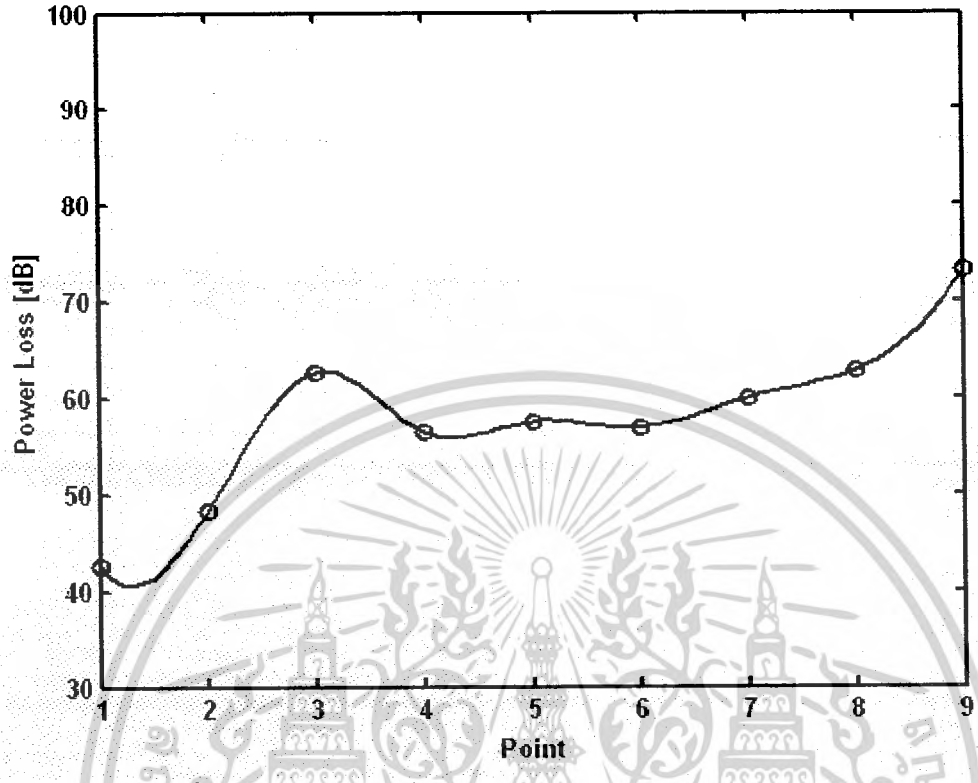
5.2.2 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี

เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีที่เส้นทางของตัวรับสัญญาณต่างกัน คือ พิจารณาจากตัวรับสัญญาณเปลี่ยนแปลงระยะห่างจากตัวส่งสัญญาณไปในทิศทาง LOS กับเปลี่ยนแปลงระยะห่างไปในทิศทาง NLOS ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ตามลำดับแล้ว จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อระยะห่างระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะลดลงด้วย และเมื่อเปรียบเทียบจากทิศทางของตัวรับสัญญาณค่าการสูญเสียเชิงวิถีในทิศทาง NLOS จะมากกว่าทิศทาง LOS



รูปที่ 5.3 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS

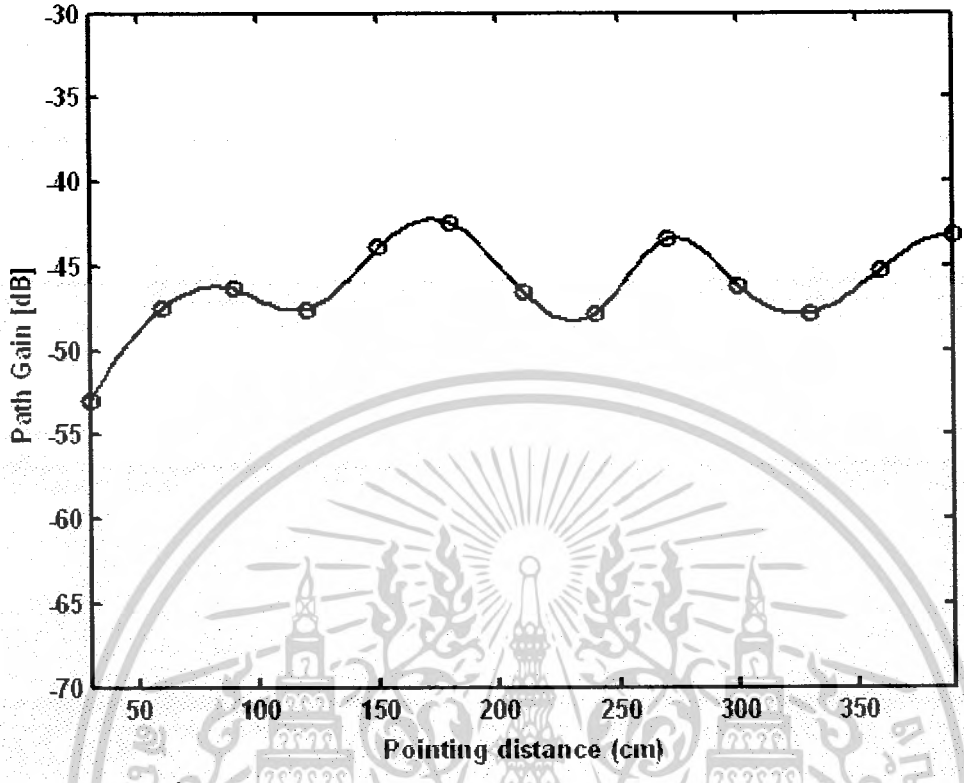
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



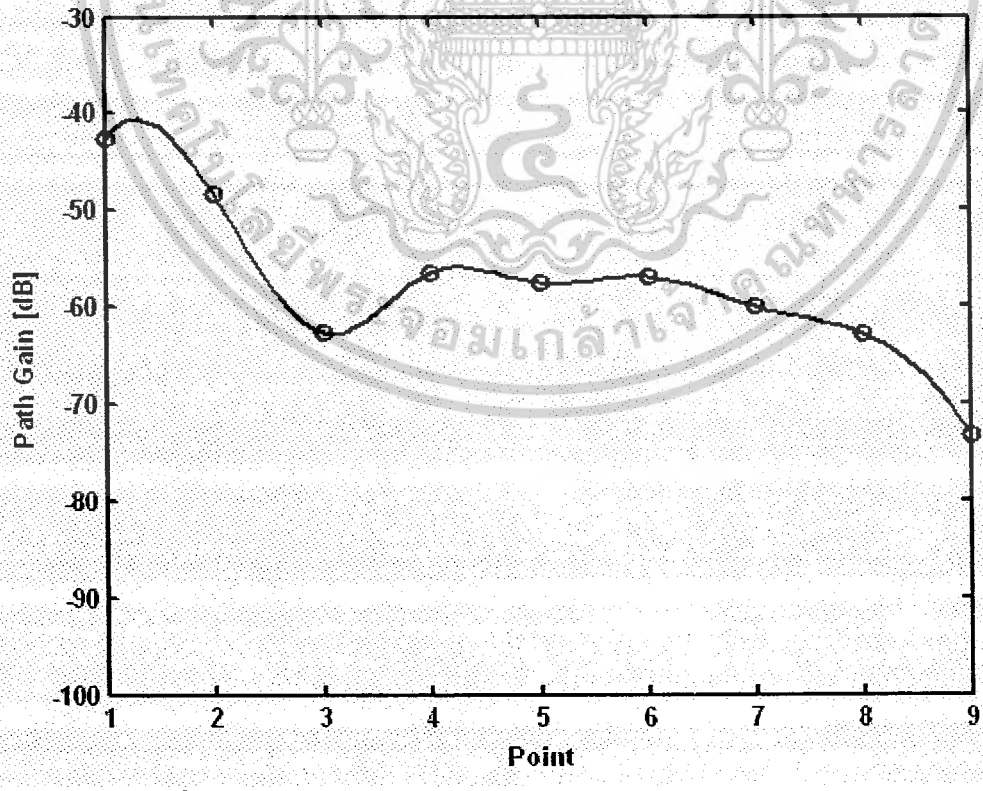
รูปที่ 5.4 การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง NLOS

สำหรับอัตราการขยายเชิงวิถีนั้น คือ ส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถี ดังนั้นค่าของอัตราการขยายเชิงวิถีจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบจากทิศทางของตัวรับสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 ตามลำดับ แล้วจะพบว่าอัตราขยายเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS จะมากกว่าตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง NLOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS

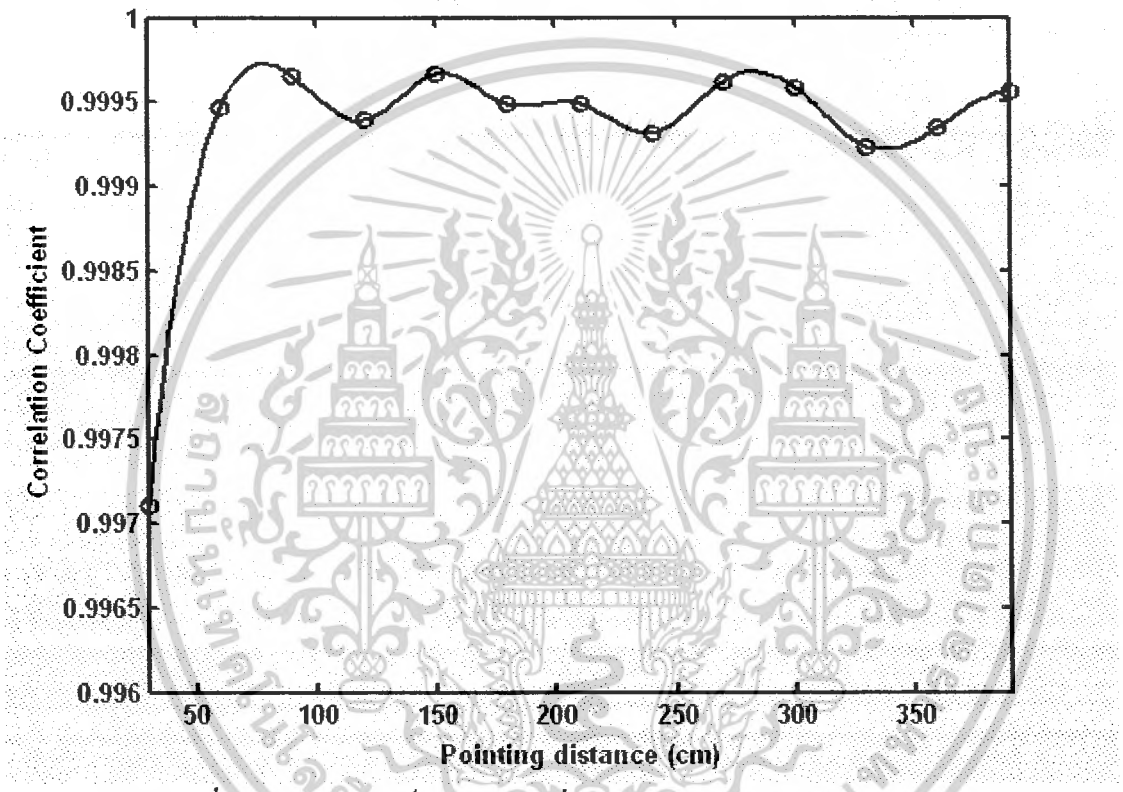


รูปที่ 5.6 อัตราการขยายเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง NLOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

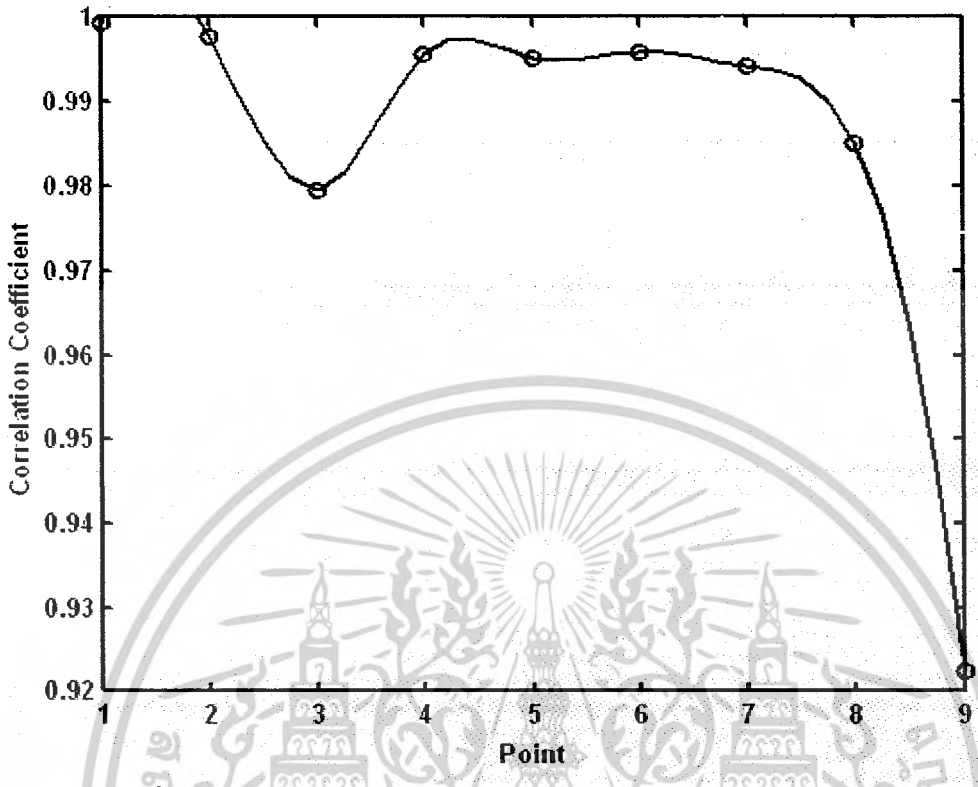
5.2.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.7 และ 5.8 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS และทิศทาง NLOS จะพบว่าเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS แบบไม่มีสิ่งกีดขวางค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่ามากกว่าเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง NLOS และมีสิ่งกีดขวางเข้ามาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 5.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



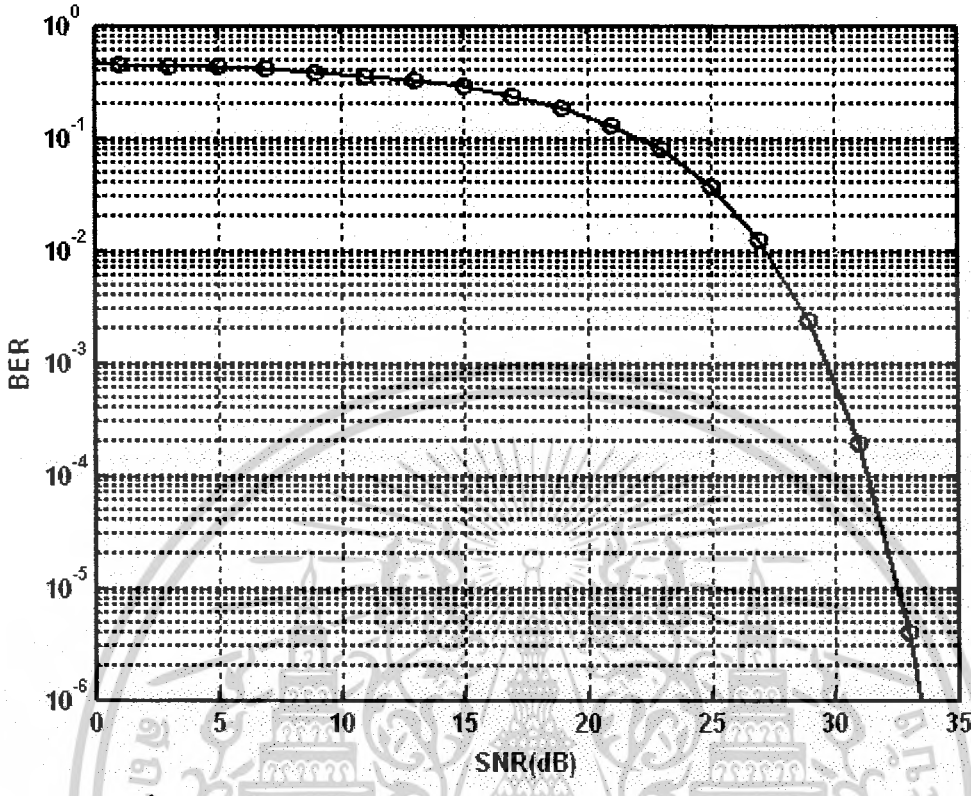
รูปที่ 5.8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง NLOS

5.2.4 การหาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิต

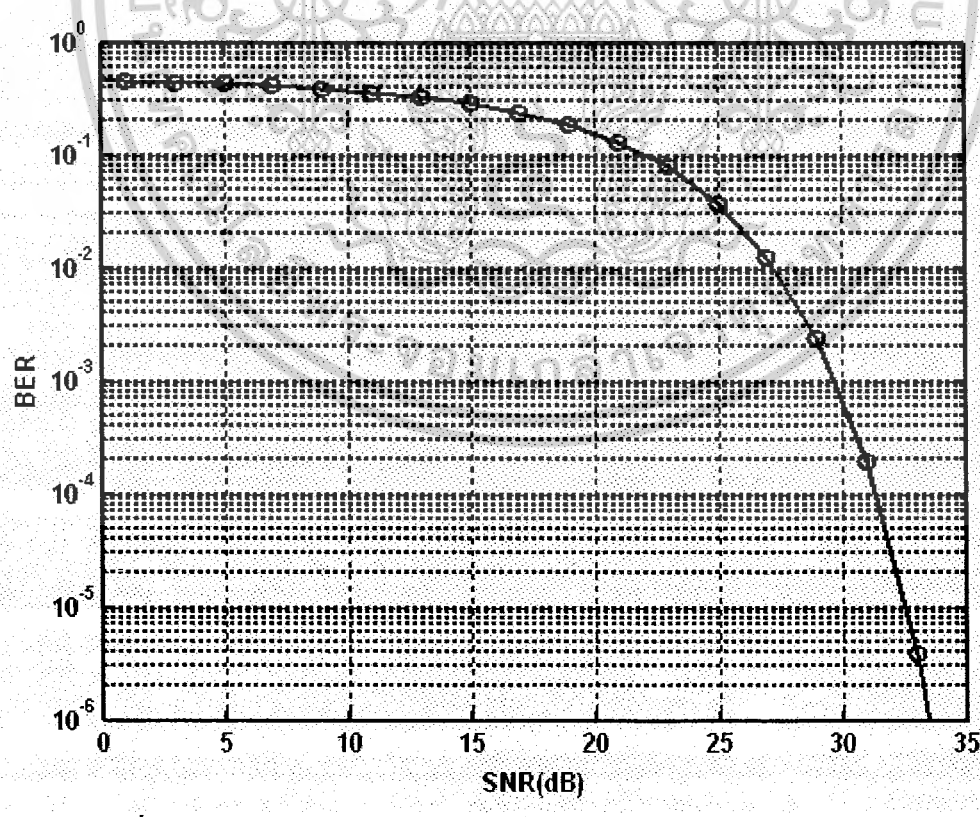
เมื่อพิจารณาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตดังแสดงในรูปที่ 5.9 และ 5.10 ซึ่งแสดงค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS ของระยะทางที่ต่างกัน และทิศทางของตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง NLOS เปรียบเทียบกับรูปที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ จะพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันโดยที่จุดที่มีค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าสูง ดังเช่นรูปที่ 5.10 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง NLOS จะมีค่าสูงสุดที่จุดที่ 1 ดังนั้นค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตก็จะมีค่าต่ำสุดที่จุดที่ 1 เช่นกัน

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบทิศทางของตัวรับสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 5.9 และ 5.10 จะพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS จะมีค่าสูงกว่าสัญญาณในทิศทาง NLOS เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 อัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง LOS



รูปที่ 5.10 อัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในทิศทาง NLOS

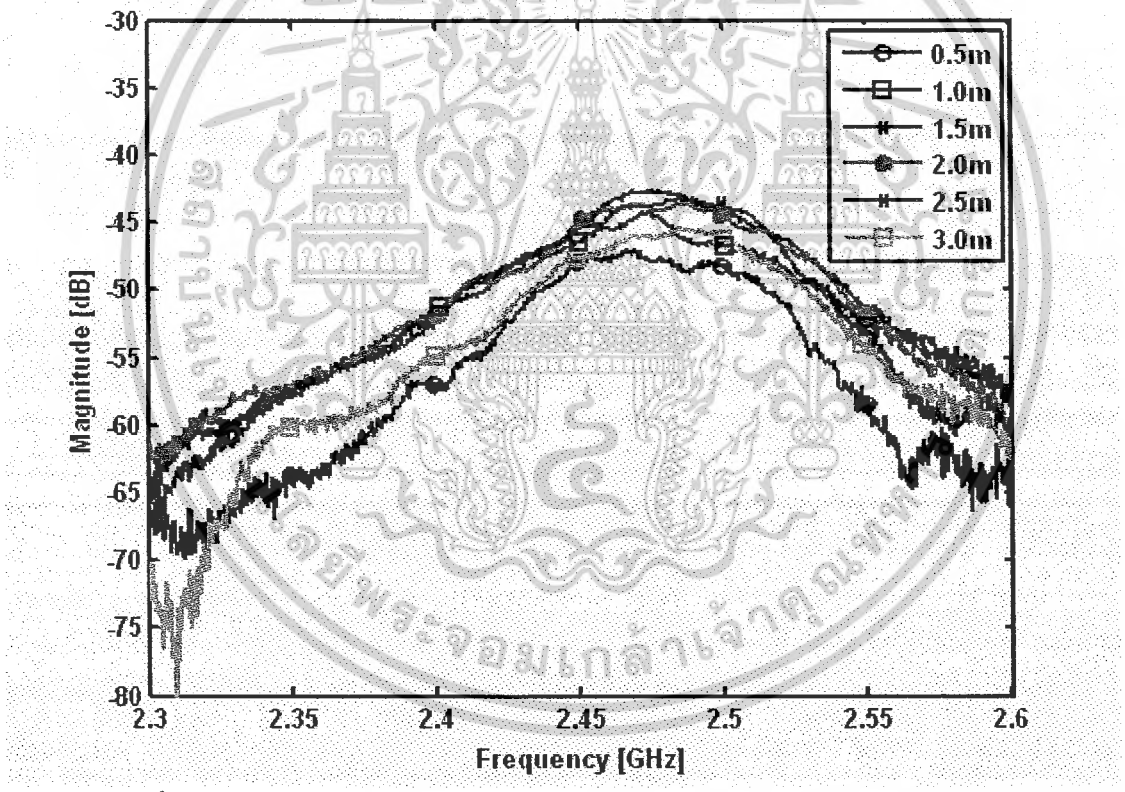
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 2

การทดลองวัดสัญญาณนี้ได้ทำบริเวณเส้นทางเดินชั้น 12 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ โดยจะทำการพิจารณาไปในแต่ละส่วนตามลำดับ

5.3.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน

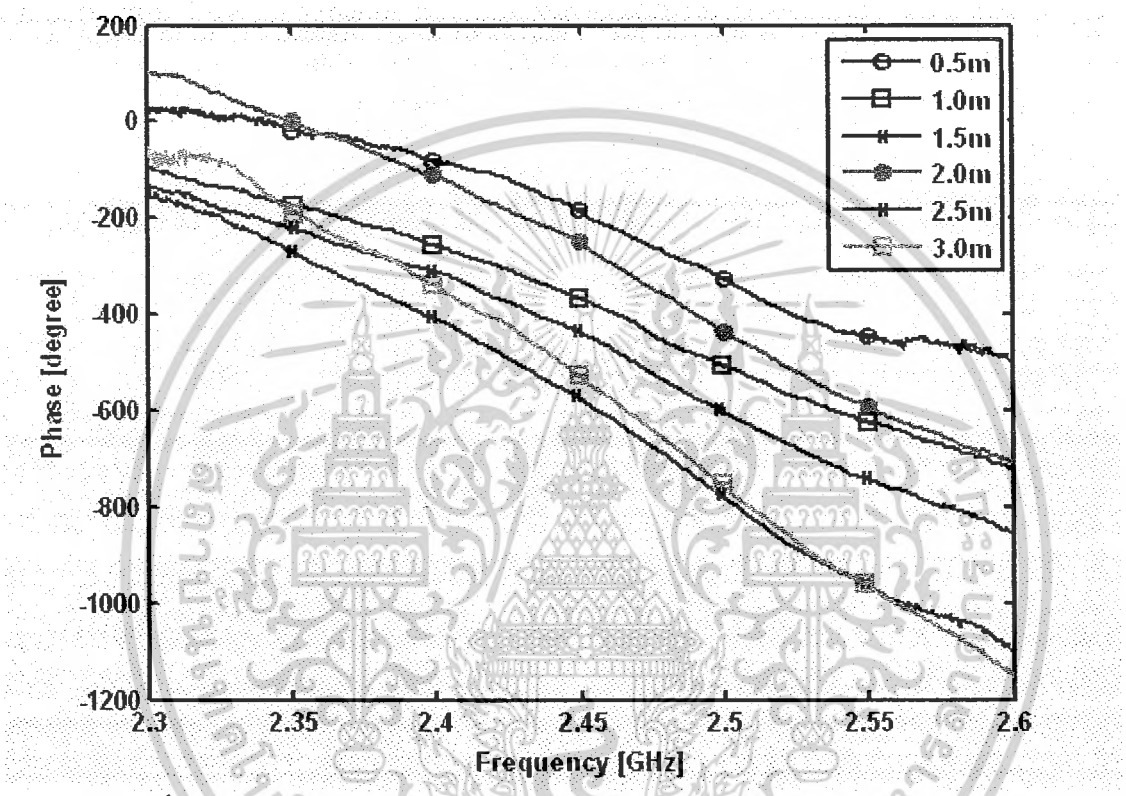
ผลจากการวัดสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านจะมีขนาดกำลังสูงสุดที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต และจะมีสัญญาณรบกวนที่บริเวณก่อนย่านความถี่ 2.40 กิกะเฮิร์ต และหลังจากช่วงความถี่ 2.50 กิกะเฮิร์ต ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าที่ระยะทางสั้นที่สุดสัญญาณก็จะมีขนาดของกำลังสูงสุดด้วย ส่วนที่ระยะทางไกลที่สุดสัญญาฯก็จะมีขนาดกำลังต่ำสุด



รูปที่ 5.11 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ระยะ 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านจะเห็นได้ว่าที่ระยะทางใกล้ๆ เฟสจะเป็นเส้นตรงมากที่สุดโดยเพาะที่ช่วงความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต และเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นความผิดเพี้ยนของสัญญาณก็มากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าขนาดของเฟสจะสอดคล้องกับคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด

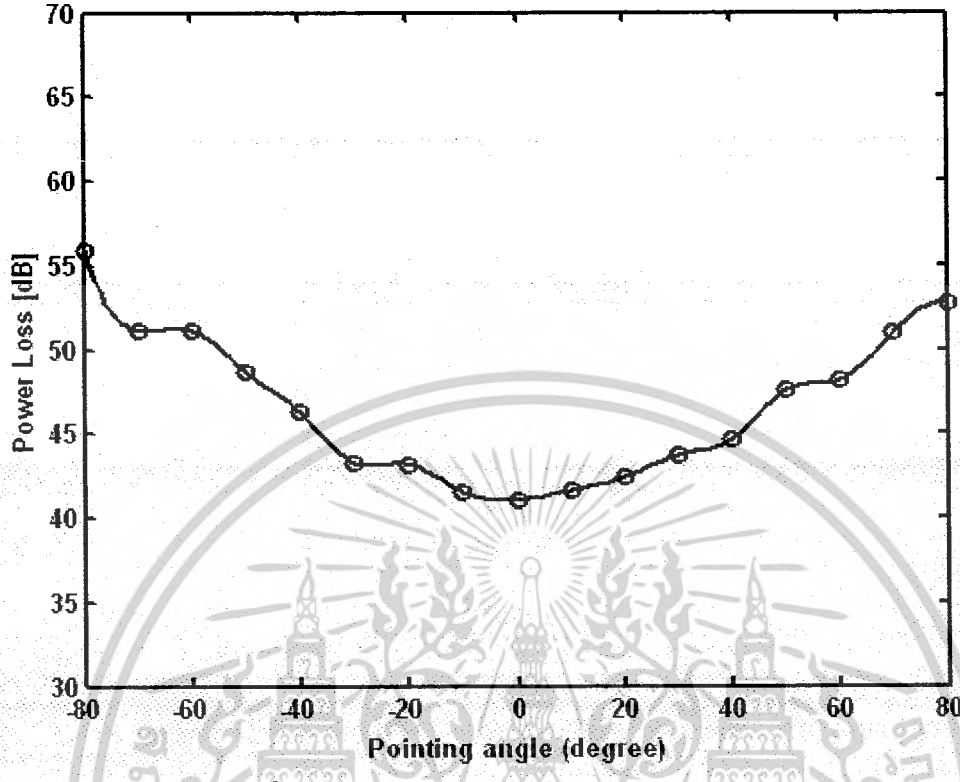


รูปที่ 5.12 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ระยะ 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร

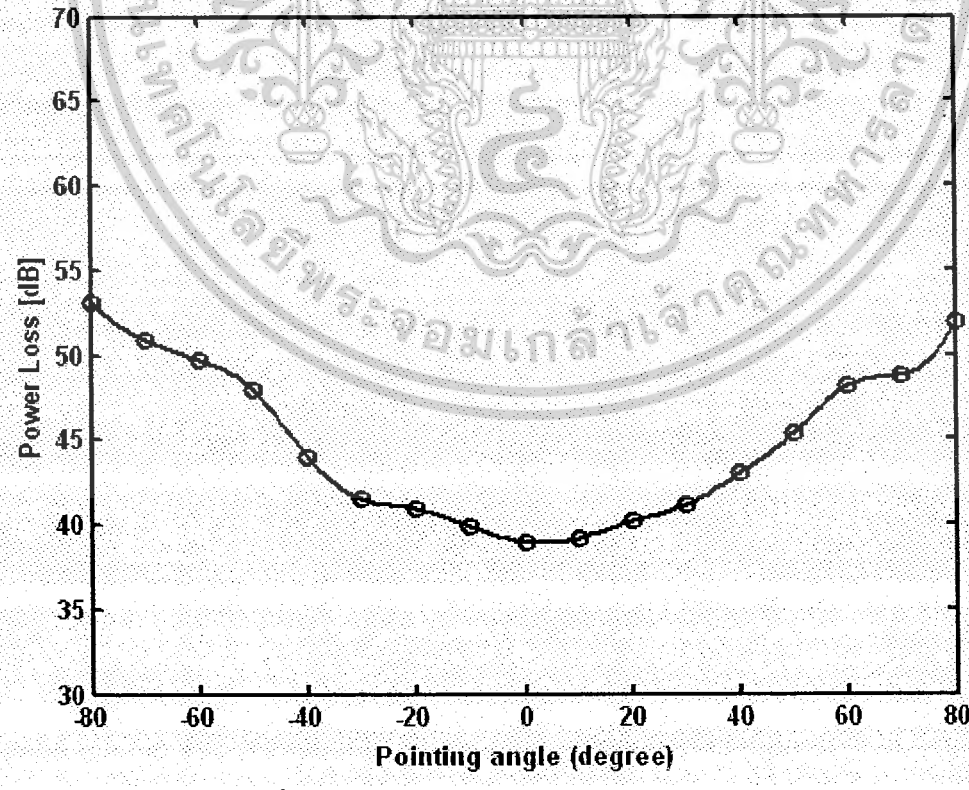
5.3.2 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี

เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีที่ระยะทางของตัวรับสัญญาณต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.19 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะเพิ่มมากขึ้นด้วย และมุมที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุดเมื่อพิจารณาจากทั้ง 5 ระยะทางแล้ว คือที่มุม -90 องศา และที่มุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

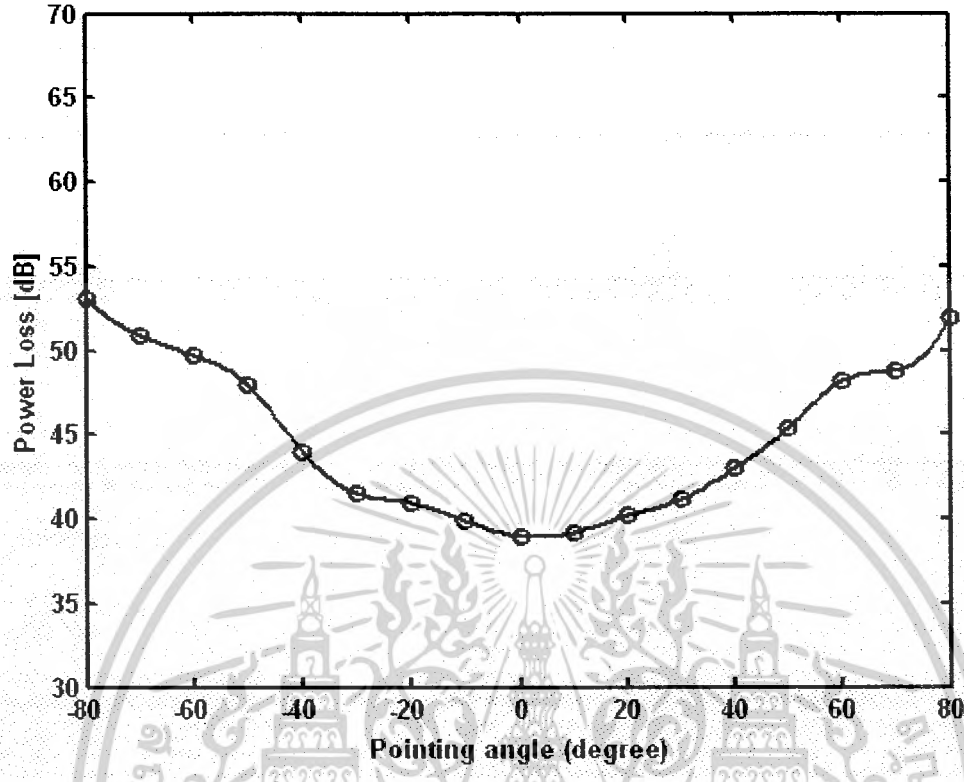


รูปที่ 5.13 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5 เมตร

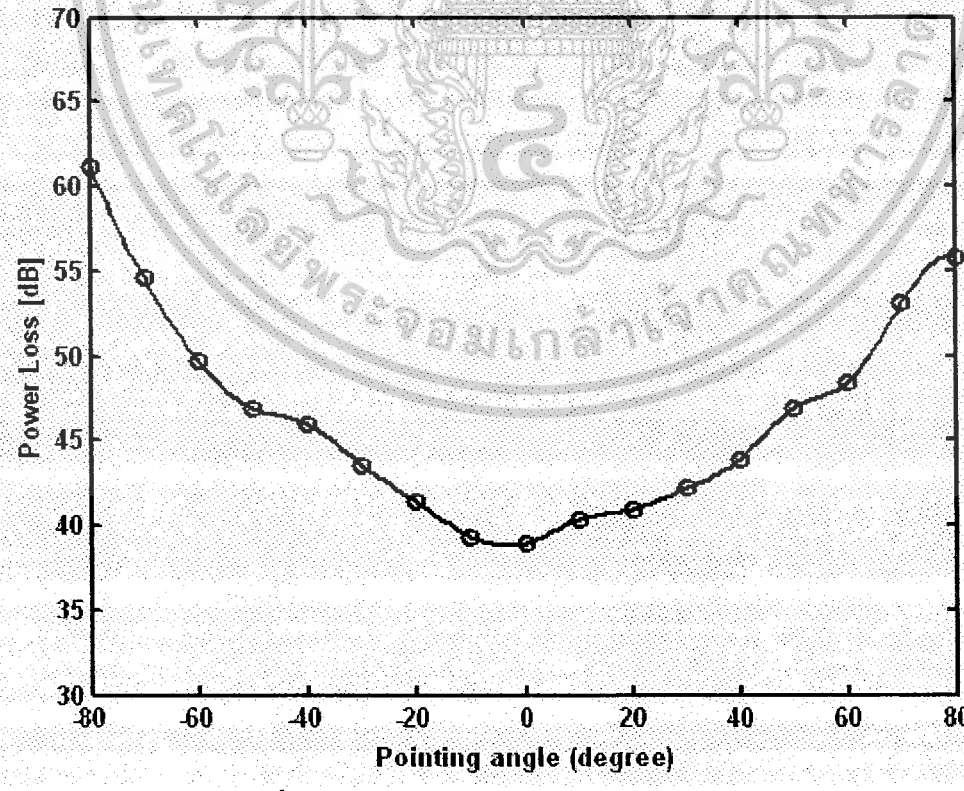


รูปที่ 5.14 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

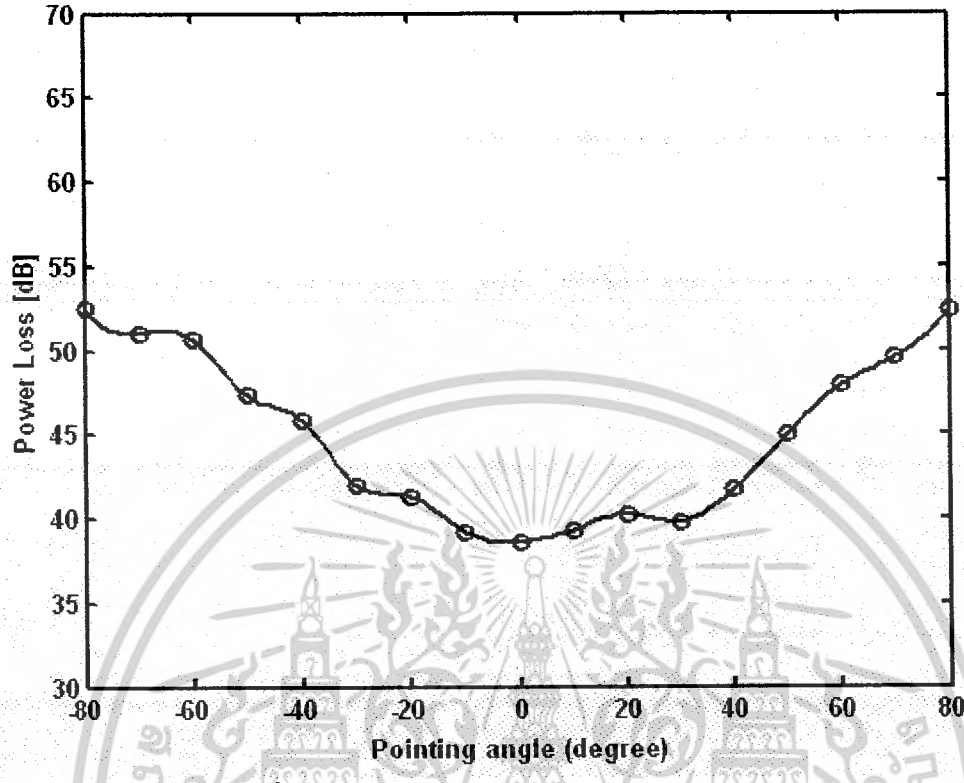


รูปที่ 5.15 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.5 เมตร

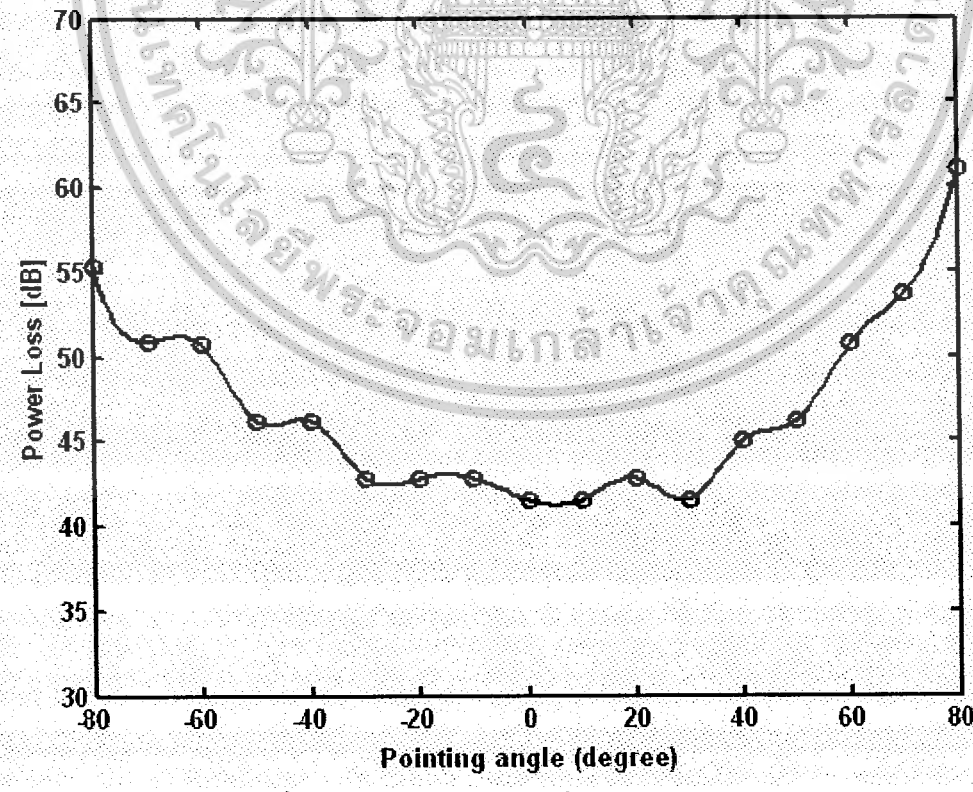


รูปที่ 5.16 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

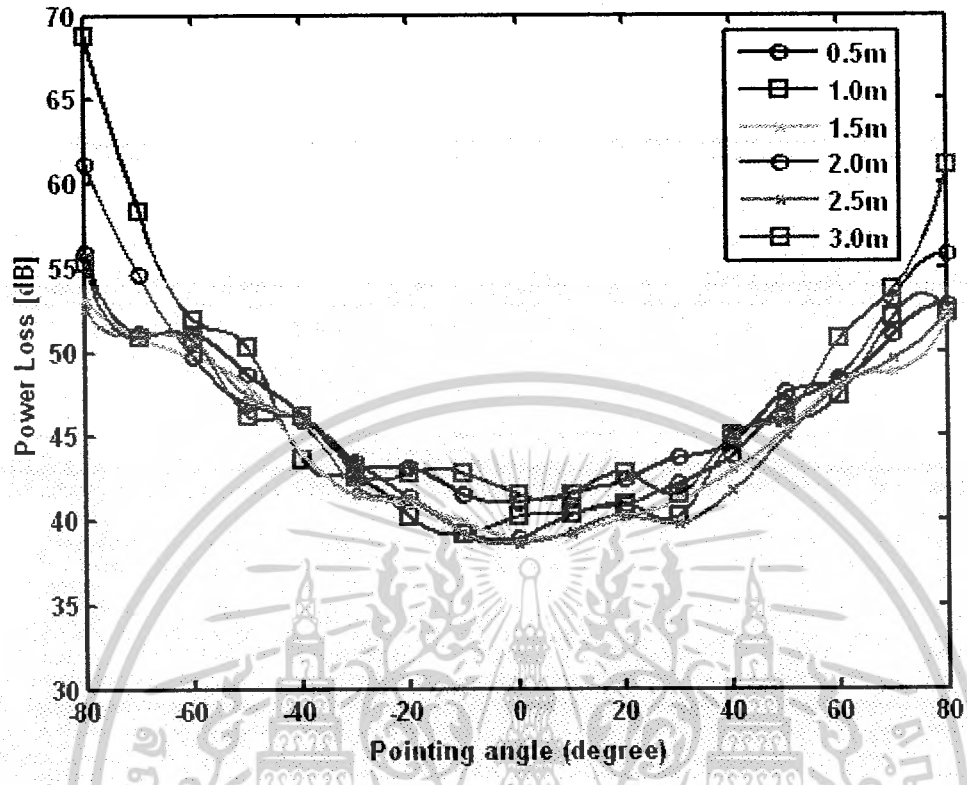


รูปที่ 5.17 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.5 เมตร



รูปที่ 5.18 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 3.0 เมตร

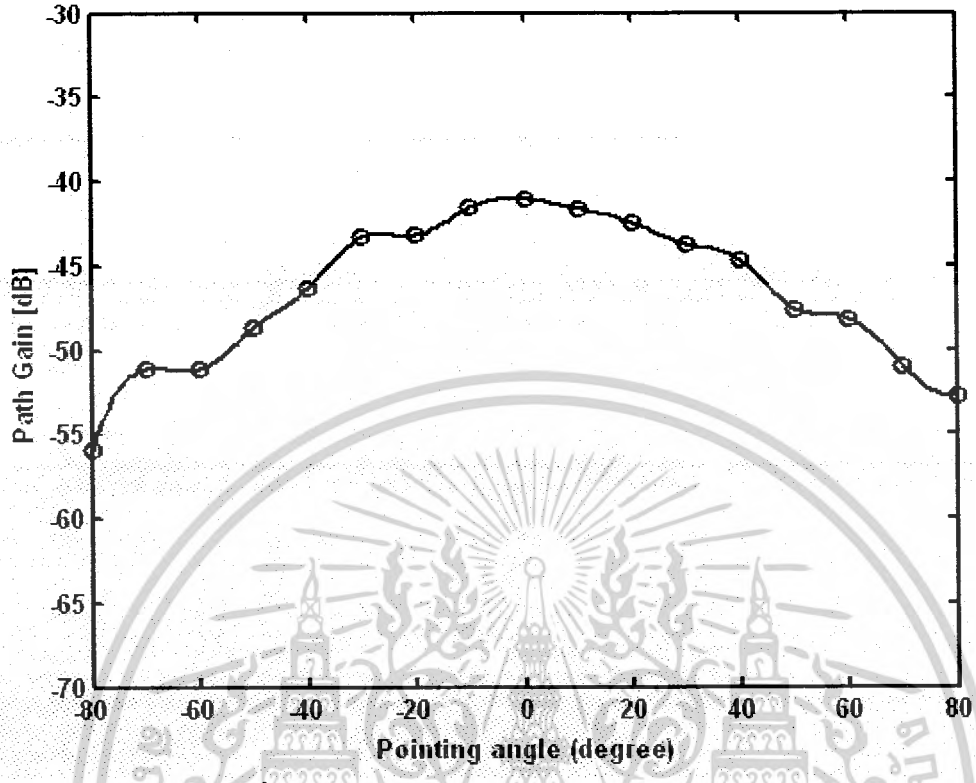
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



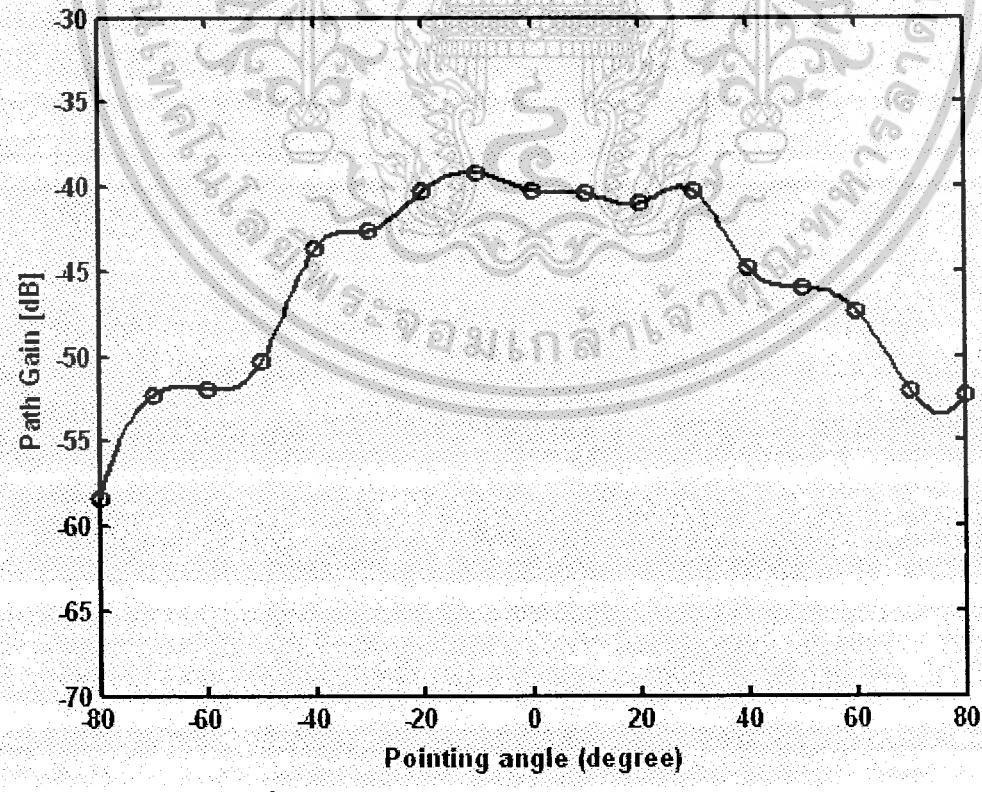
รูปที่ 5.19 การเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร

สำหรับอัตราการขยายเชิงวิถีนั้น คือ ส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถี ดังนั้นค่าของอัตราการขยายเชิงวิถีจะลดลงเมื่อระยะทางระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบจากมุมในการรับสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 5.20 ถึงรูปที่ 5.26 ตามลำดับ จะพบว่าอัตราขยายเชิงวิถีเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในมุม -90 องศา และมุม 90 องศาจะมีค่าอัตราการขยายเชิงวิถีต่ำกว่ามุมอื่นๆ ที่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

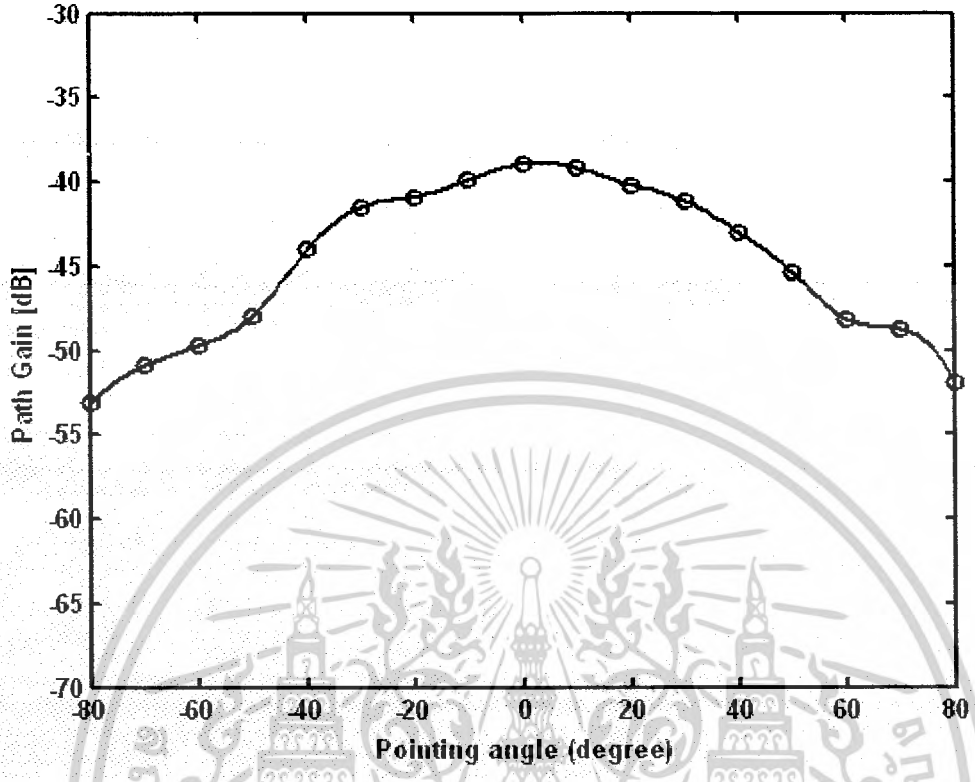


รูปที่ 5.20 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5 เมตร

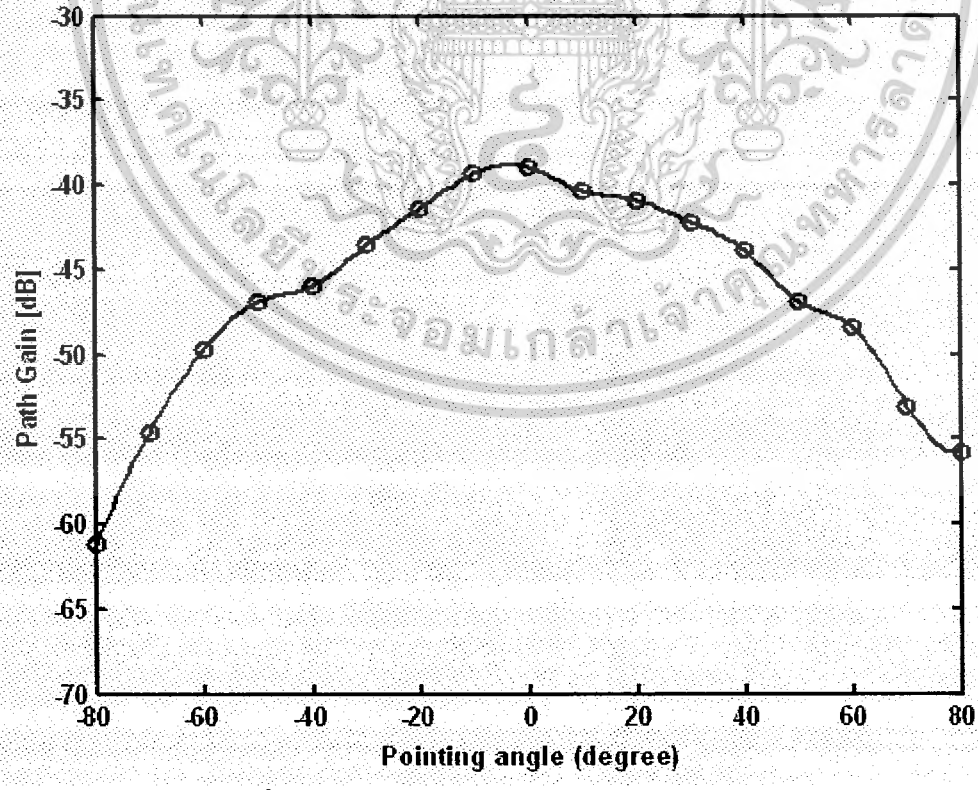


รูปที่ 5.21 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

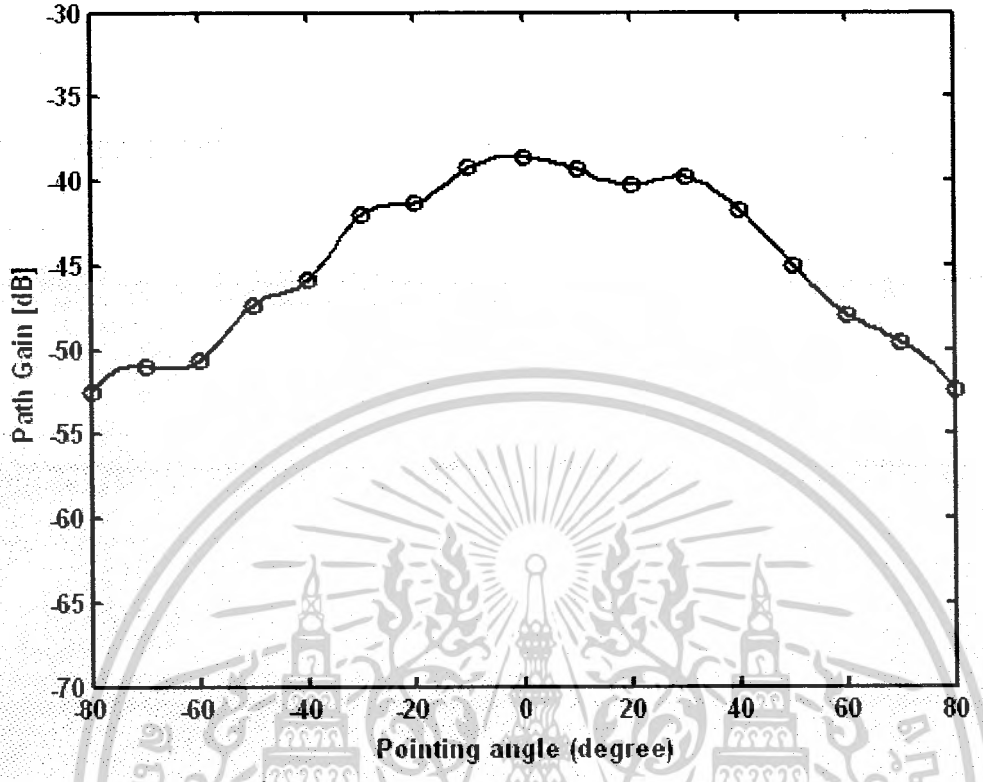


รูปที่ 5.22 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.5 เมตร

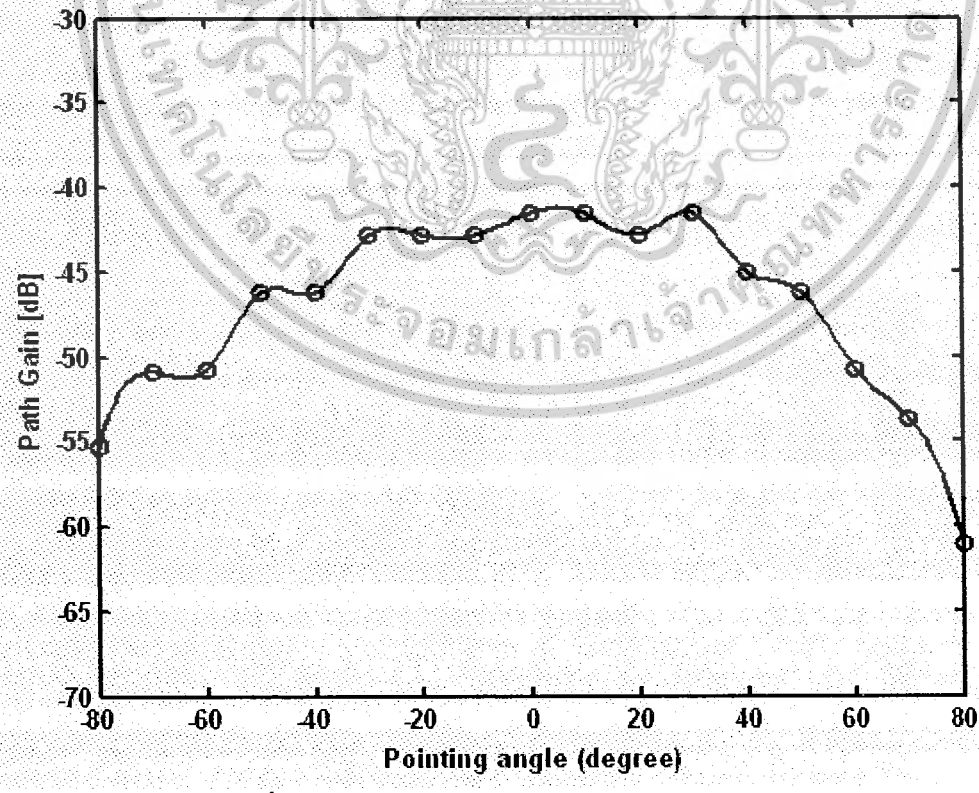


รูปที่ 5.23 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

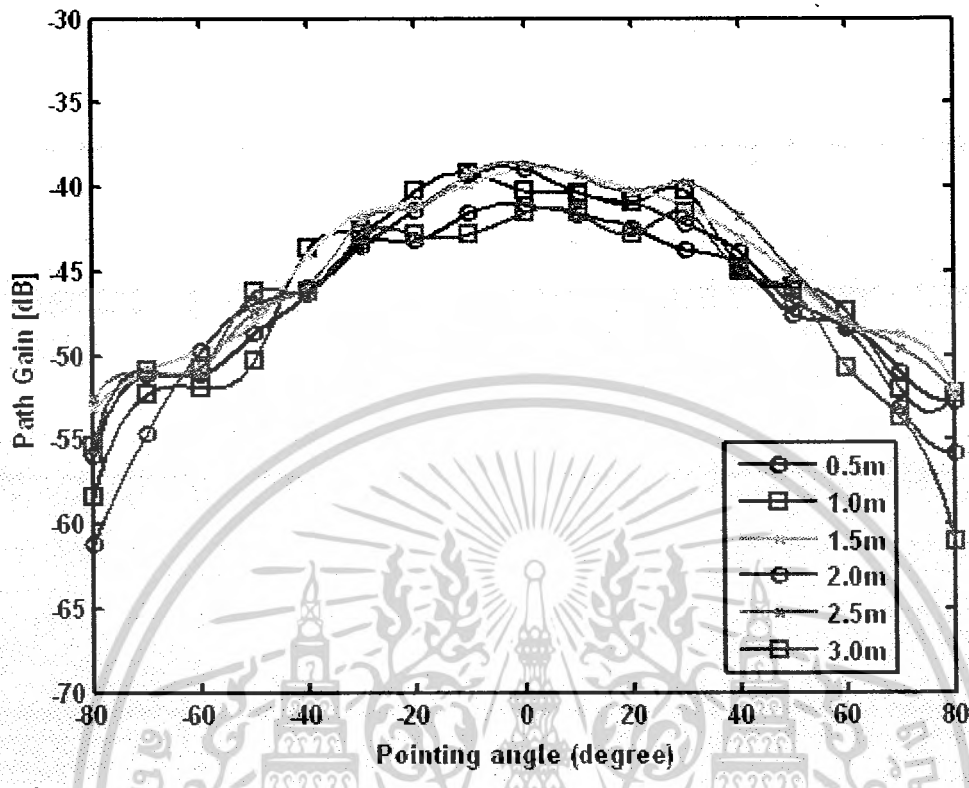


รูปที่ 5.24 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.5 เมตร



รูปที่ 5.25 อัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 3.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

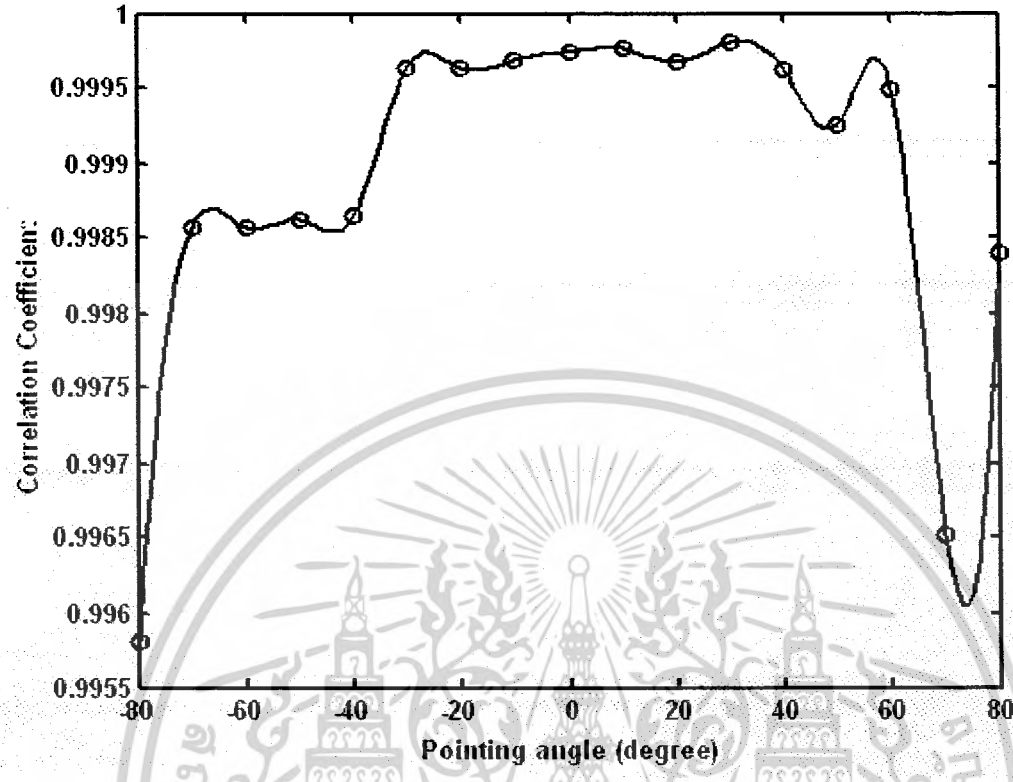


รูปที่ 5.26 การเปรียบเทียบอัตราการขยายเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร

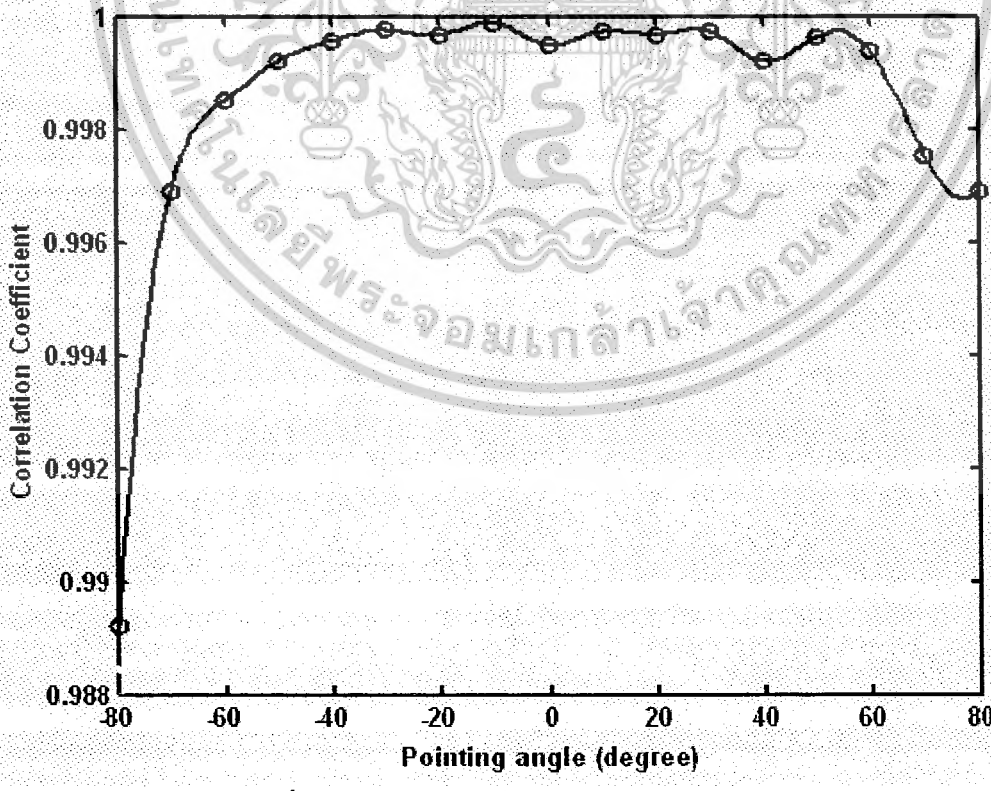
5.3.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.27 ถึงรูปที่ 5.33 ตามลำดับ ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในระยะทางที่ต่างกัน และมุมของตัวรับสัญญาณก็ต่างกันด้วย จะพบว่าเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณน้อยที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่ามากกว่าเมื่อตัวรับสัญญาณห่างจากตัวส่งสัญญาณมากกว่า ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

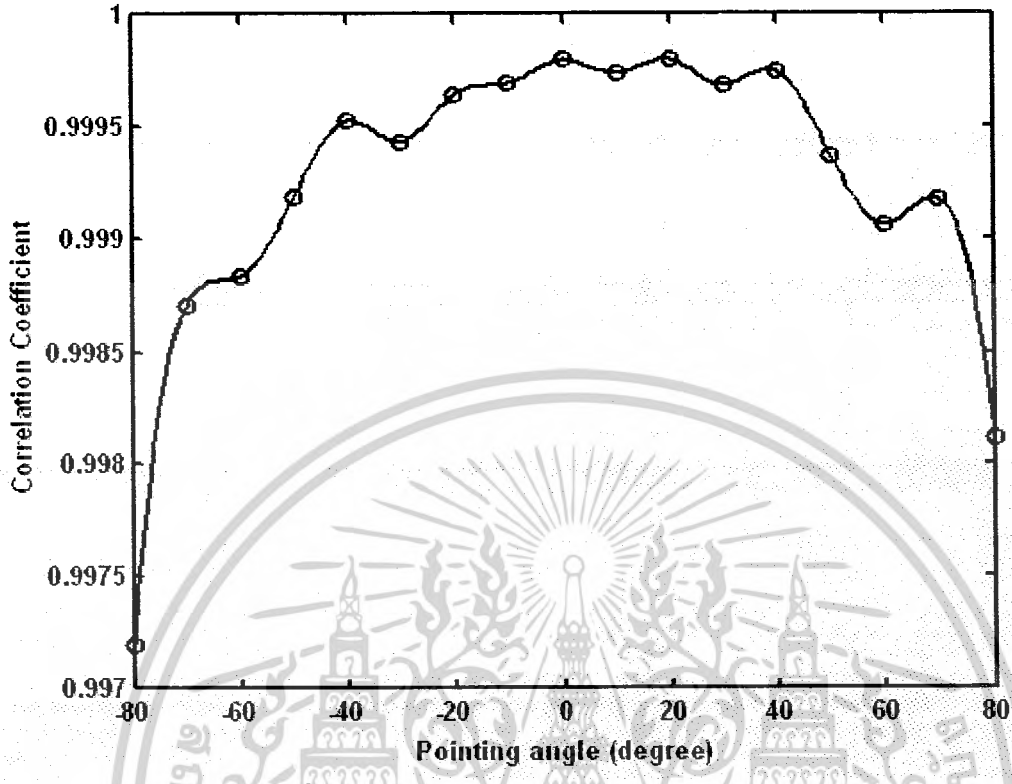


รูปที่ 5.27 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 0.5 เมตร

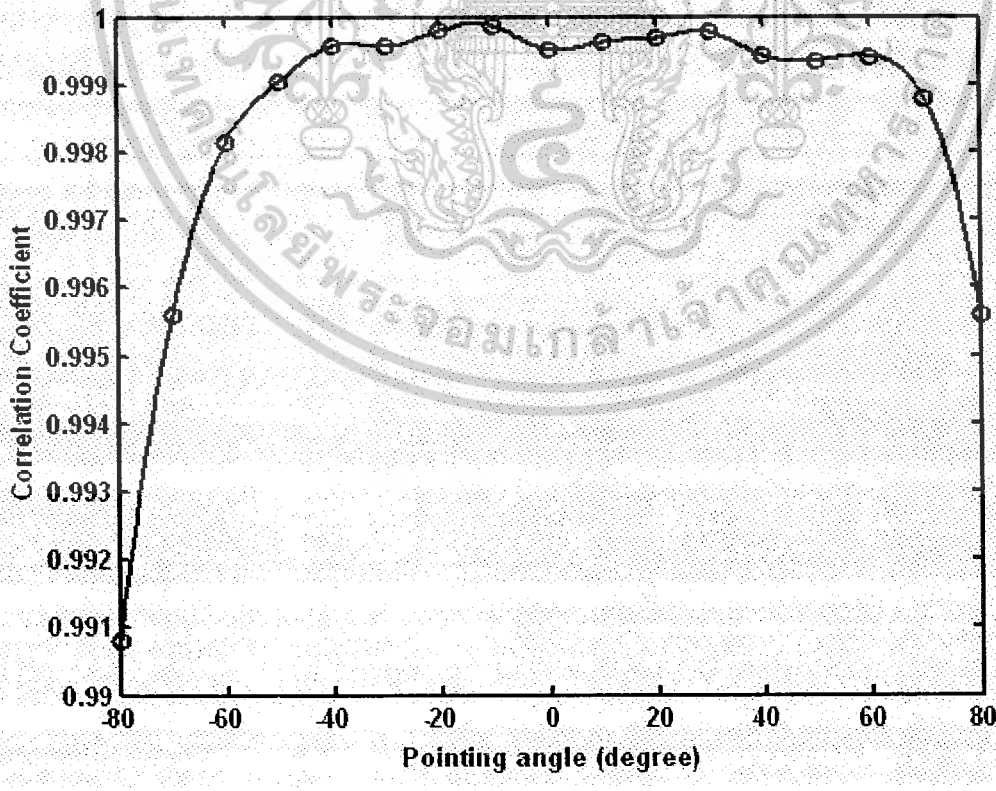


รูปที่ 5.28 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

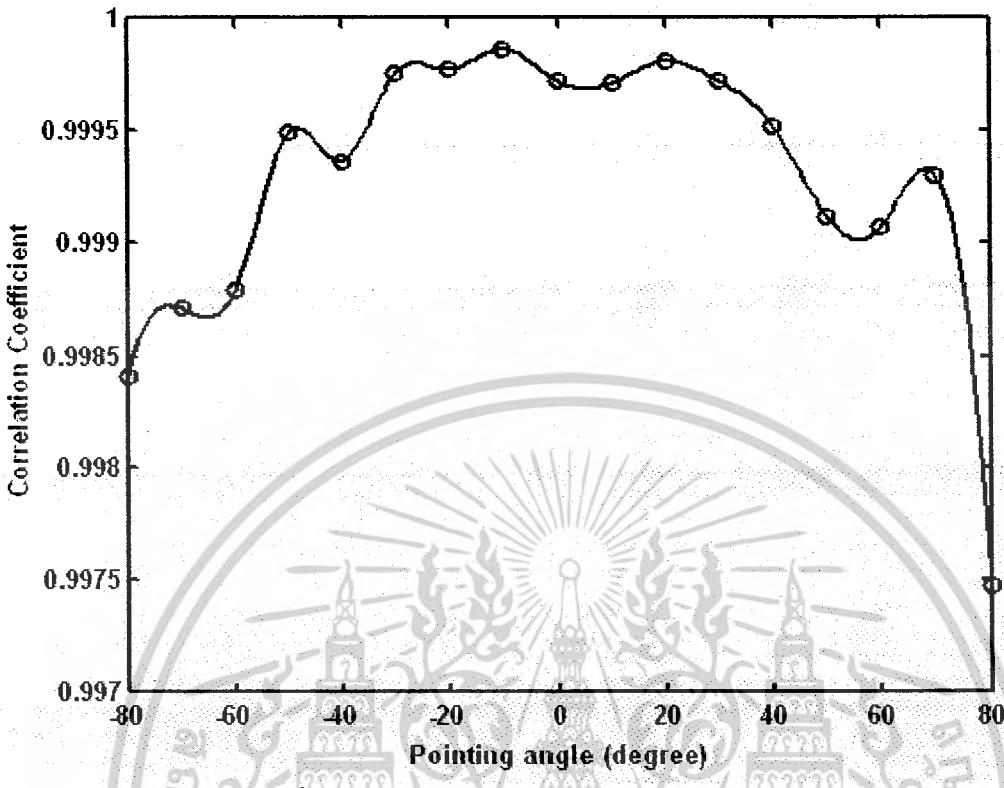


รูปที่ 5.29 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.5 เมตร

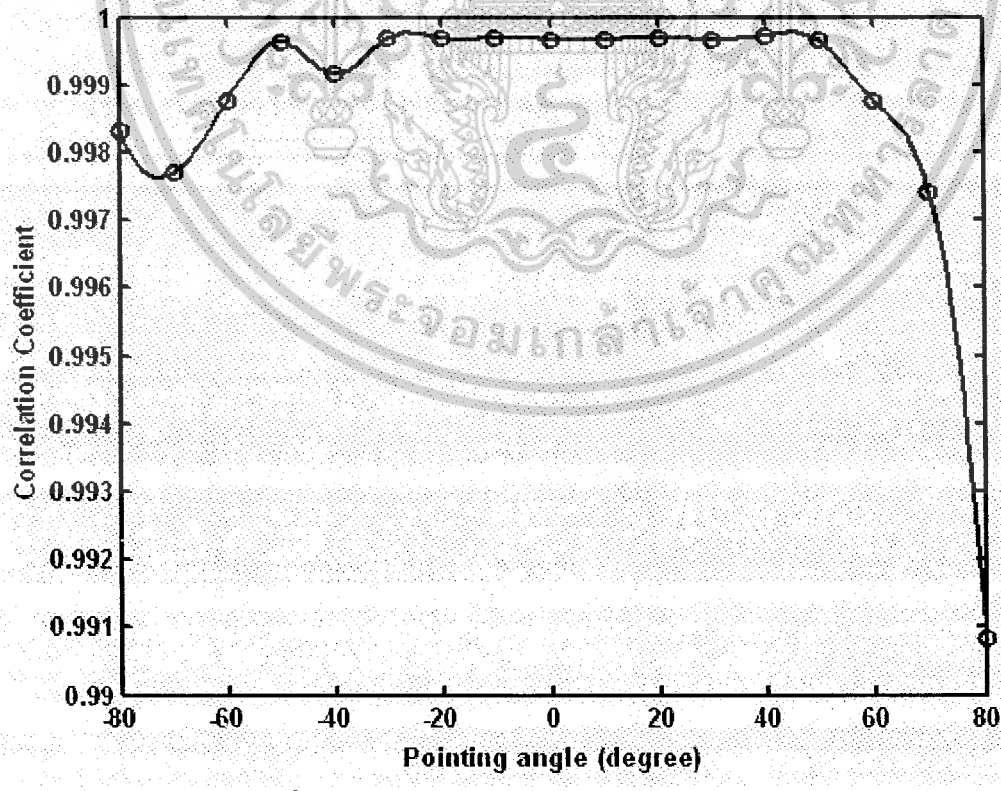


รูปที่ 5.30 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 2.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

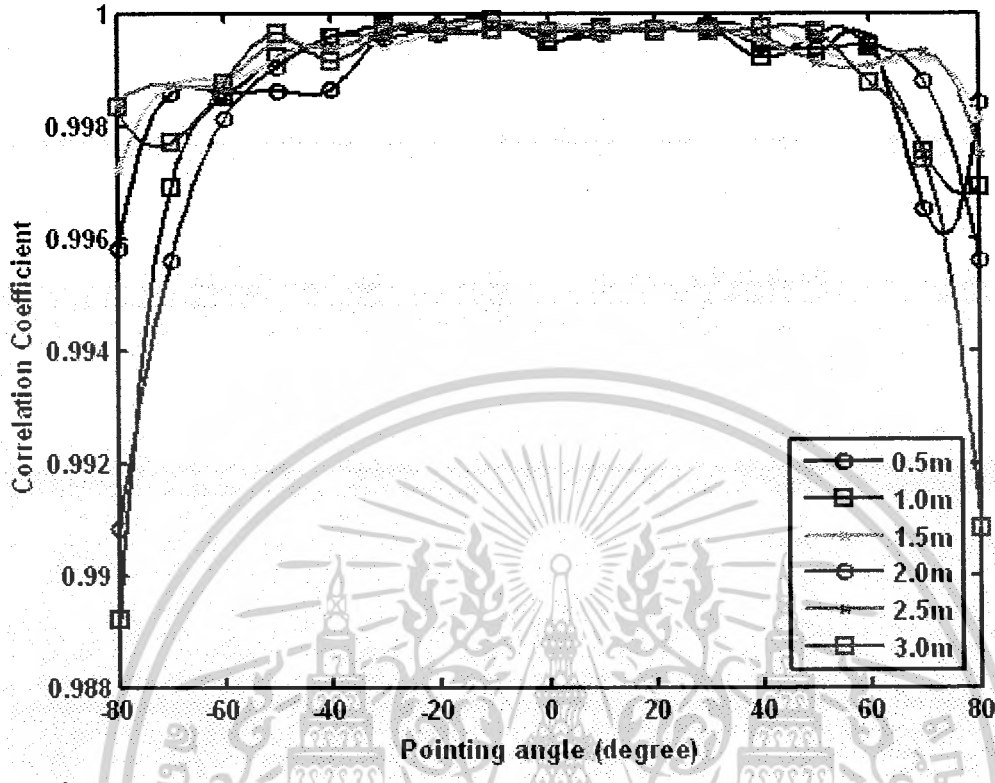


รูปที่ 5.31 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 2.5 เมตร



รูปที่ 5.32 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 3.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



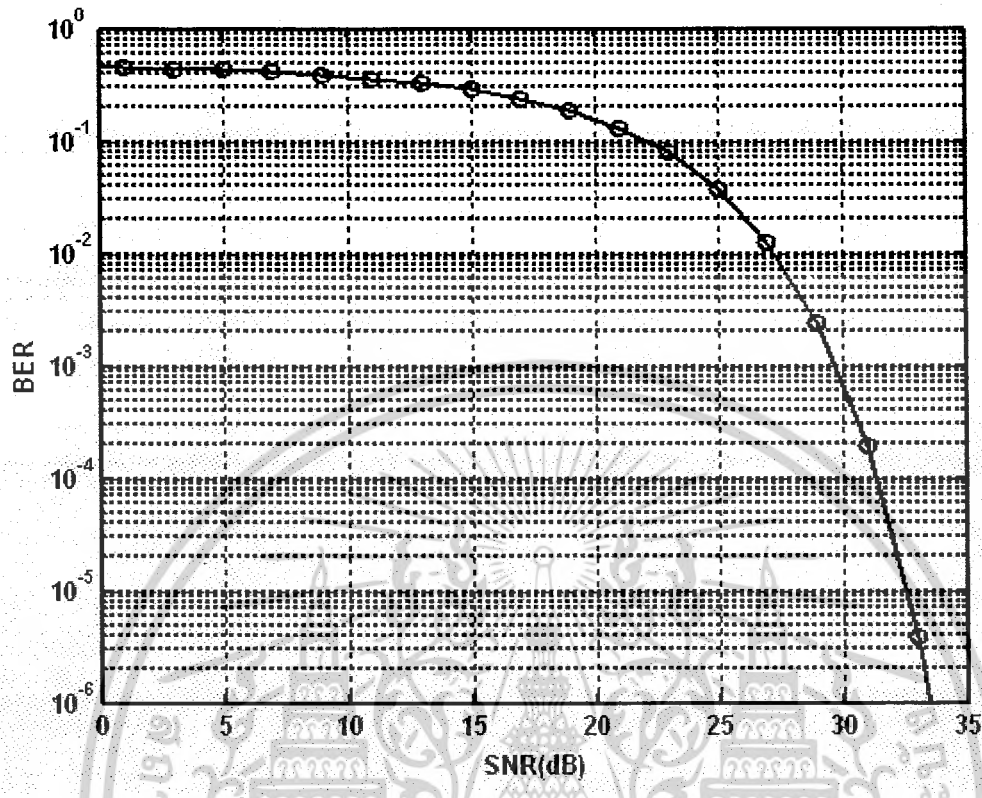
รูปที่ 5.33 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร

5.3.4 การหาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิต

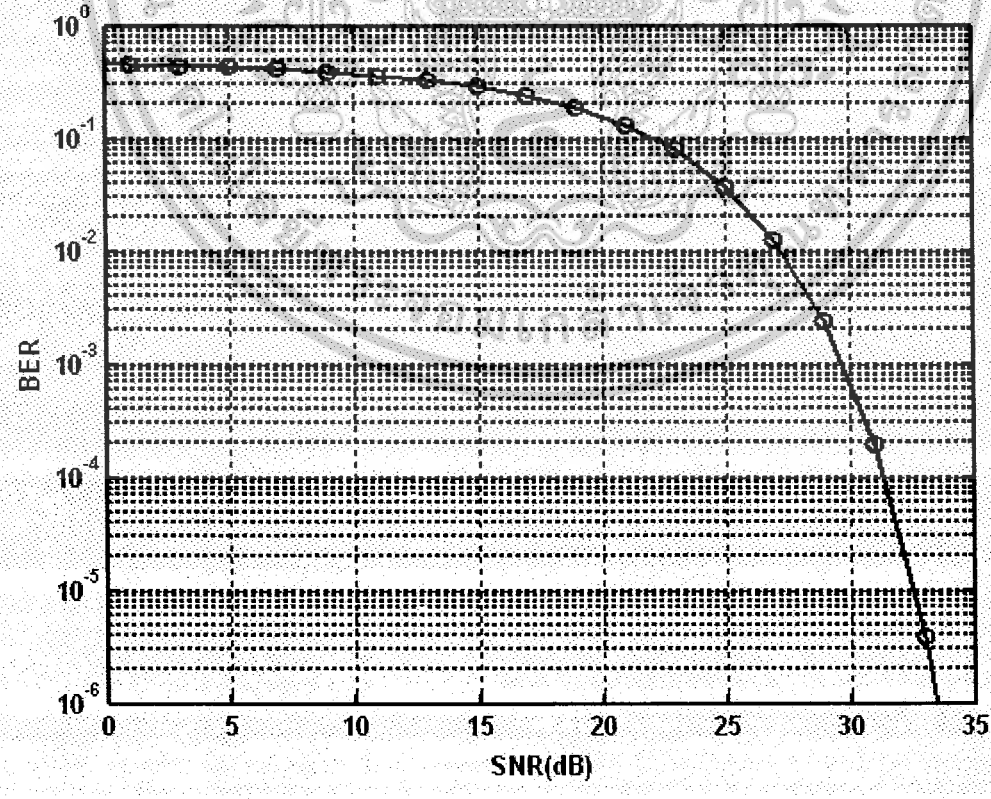
เมื่อพิจารณาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตดังแสดงในรูปที่ 5.34 ถึงรูปที่ 5.39 ตามลำดับของระยะทาง ซึ่งแสดงค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในระยะทางที่ต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละรูปจะพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กัน โดยที่จุดที่มีค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าสูง

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระยะทางทางของตัวรับสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 5.34 ถึงรูปที่ 5.39 จะพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในระยะทางที่ใกล้ตัวส่งส่งสัญญาณจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในระยะทางที่ไกลจากตัวส่งสัญญาณมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

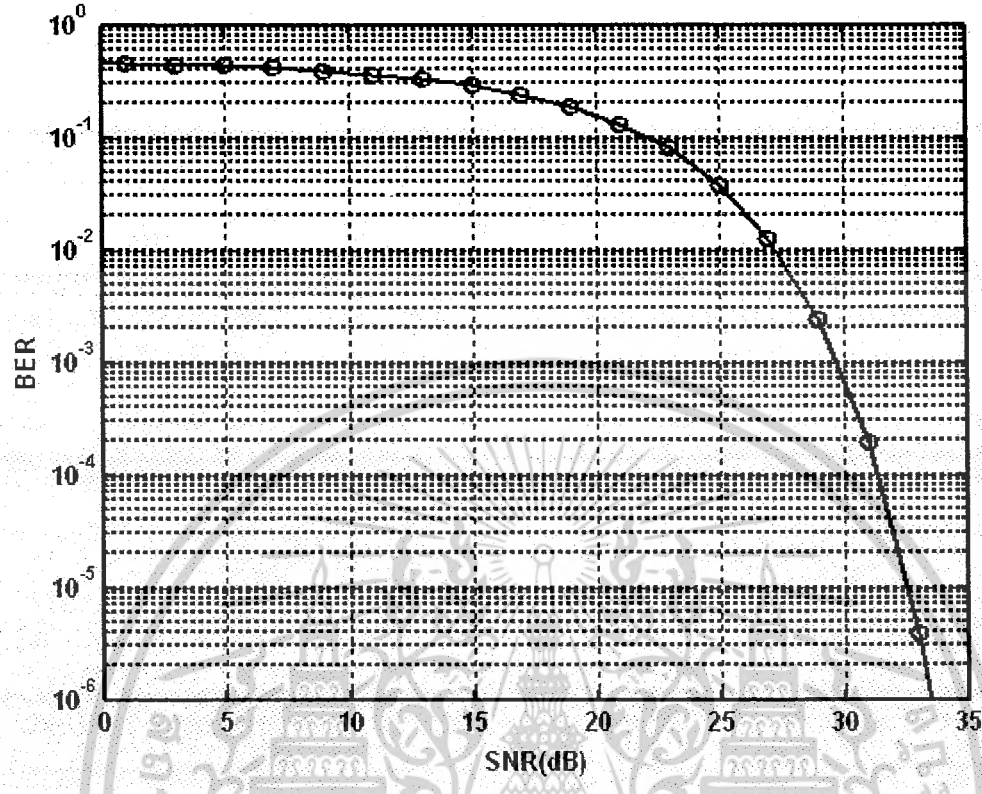


รูปที่ 5.34 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 0.5 เมตร

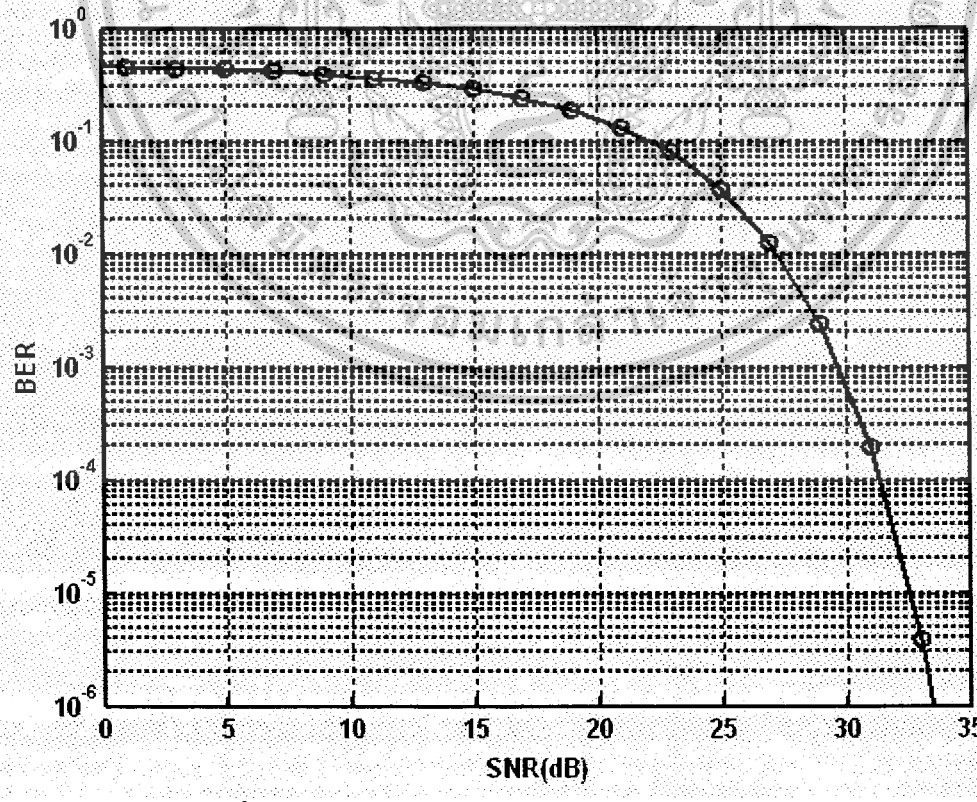


รูปที่ 5.35 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 1.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

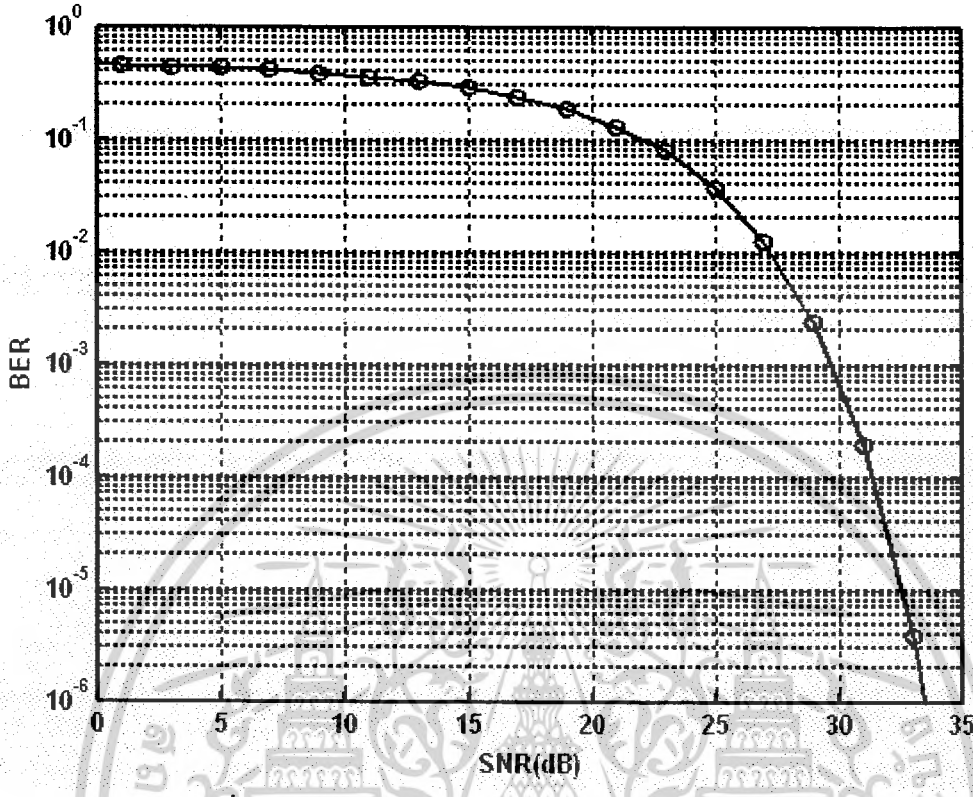


รูปที่ 5.36 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 1.5 เมตร

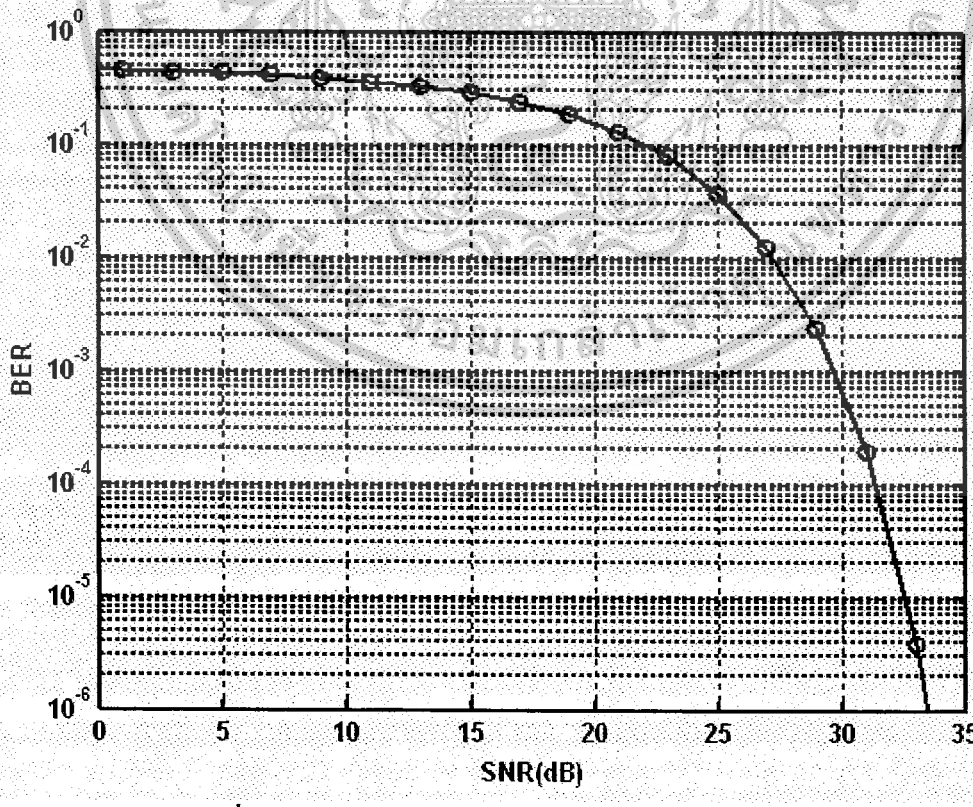


รูปที่ 5.37 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.38 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.5 เมตร



รูปที่ 5.39 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 3.0 เมตร

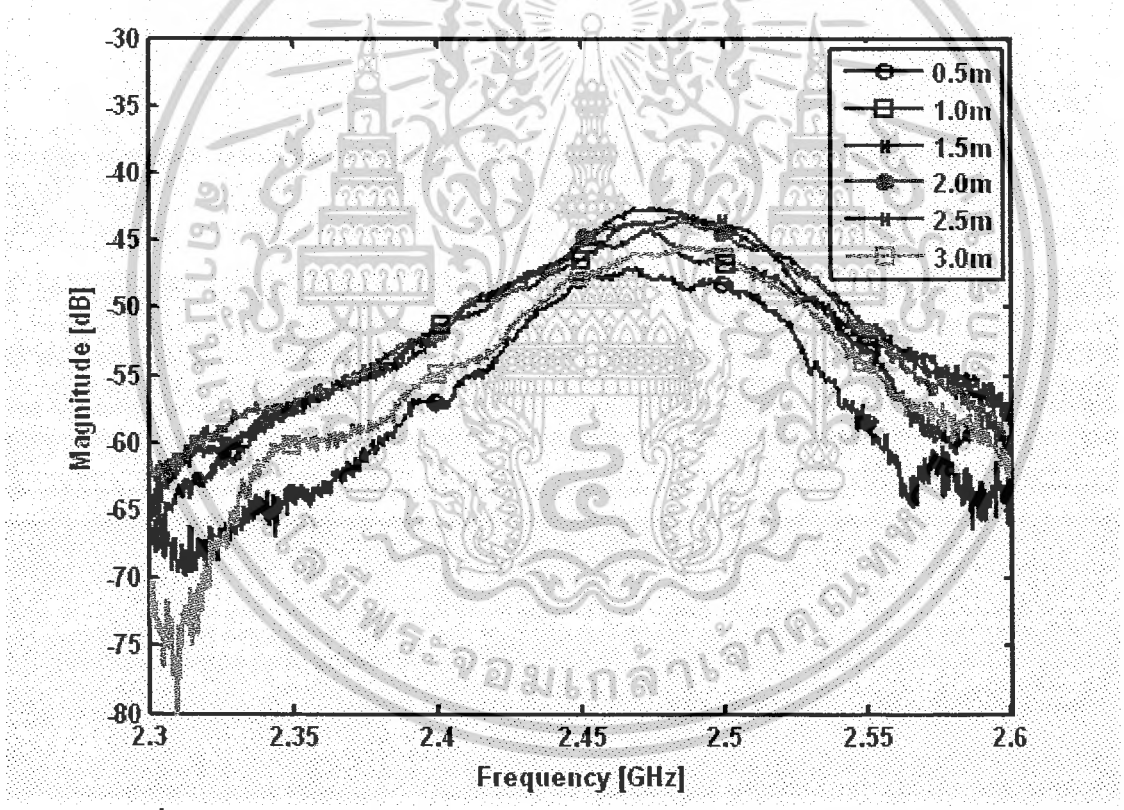
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 3

การทดลองวัดช่องสัญญาณนี้ได้ทำการวัดหน้าลิฟท์ ชั้น 12 ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ โดยจะทำการพิจารณาไปในแต่ละส่วนตามลำดับ

5.4.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน

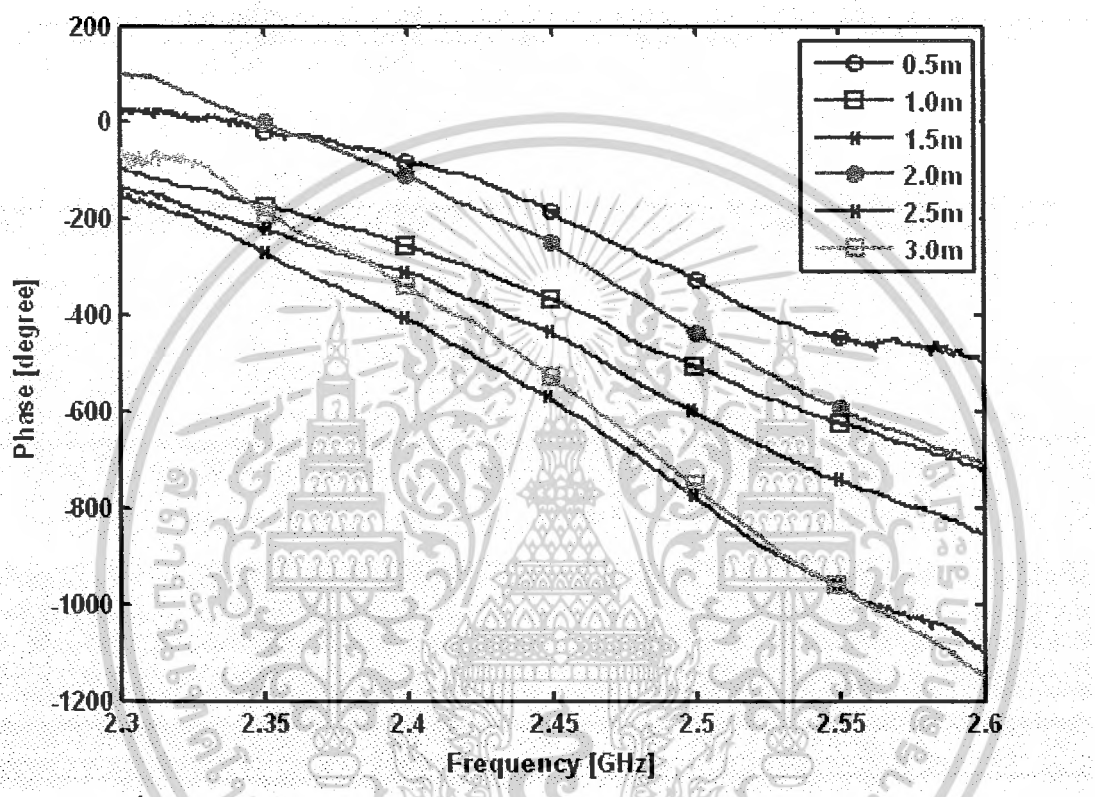
ผลจากการวัดสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านจะมีขนาดกำลังสูงสุดที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต และจะมีสัญญาณรบกวนที่บริเวณก่อนย่านความถี่ 2.40 กิกะเฮิร์ต และหลังจากช่วงความถี่ 2.50 กิกะเฮิร์ต ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 5.40 จะเห็นได้ว่าที่ระยะทางสั้นที่สุดสัญญาณก็จะมีขนาดของกำลังสูงสุดด้วย ส่วนที่ระยะทางไกลที่สุดสัญญาฯก็จะมีขนาดกำลังต่ำสุด



รูปที่ 5.40 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ระยะ 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านจะเห็นได้ว่าที่ระยะทางใกล้ๆ เฟสจะเป็นเส้นตรงมากที่สุดโดยเพาะที่ช่วงความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต และเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นความผิดเพี้ยนของสัญญาณก็มากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.41 ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าขนาดของเฟสจะสอดคล้องกับคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด

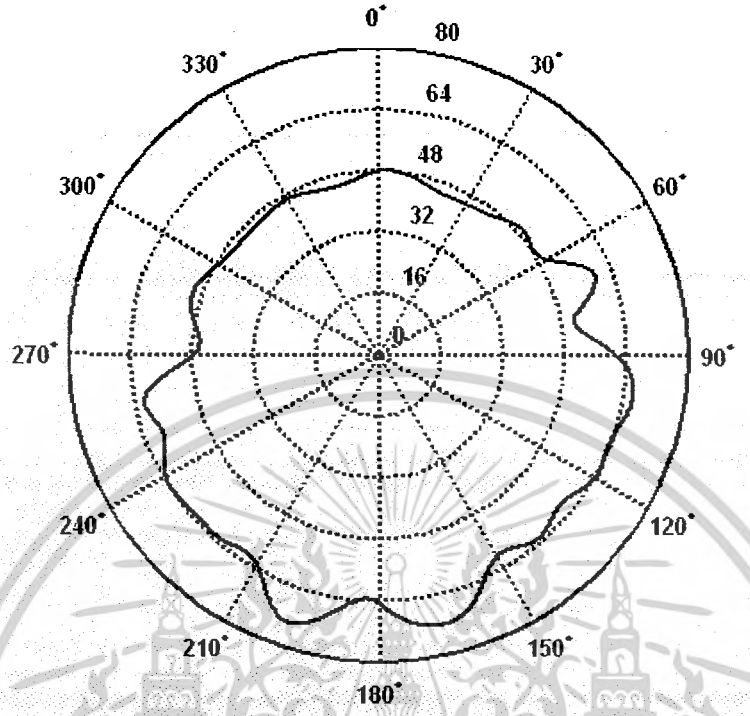


รูปที่ 5.41 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ระยะ 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เมตร

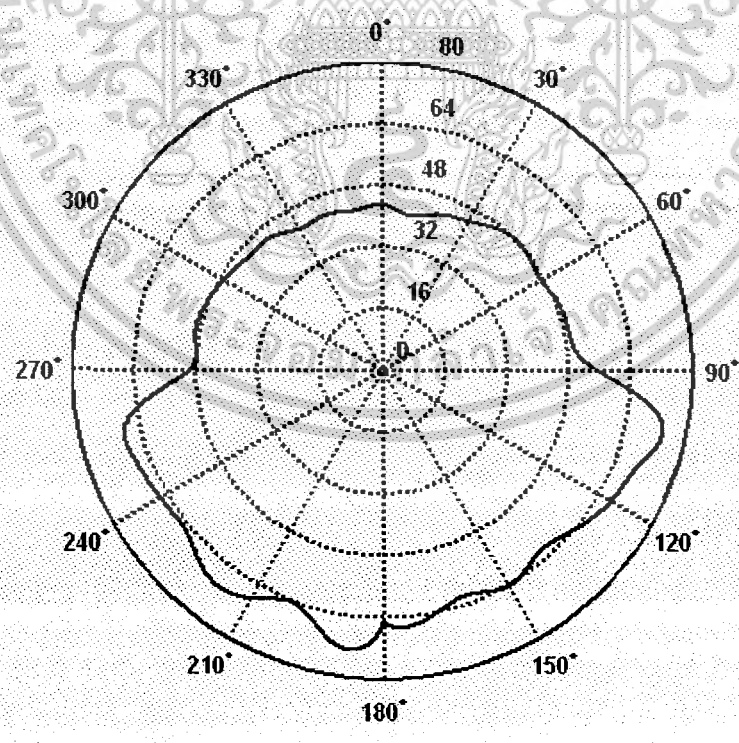
5.4.2 การหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี

เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีที่ระยะทางของตัวรับสัญญาณต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.42 ถึงรูปที่ 5.47 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะเพิ่มมากขึ้นด้วย และมุมที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุดเมื่อพิจารณาจากทั้ง 5 ระยะทางแล้ว คือที่มุม 110 องศา และที่มุม 260 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

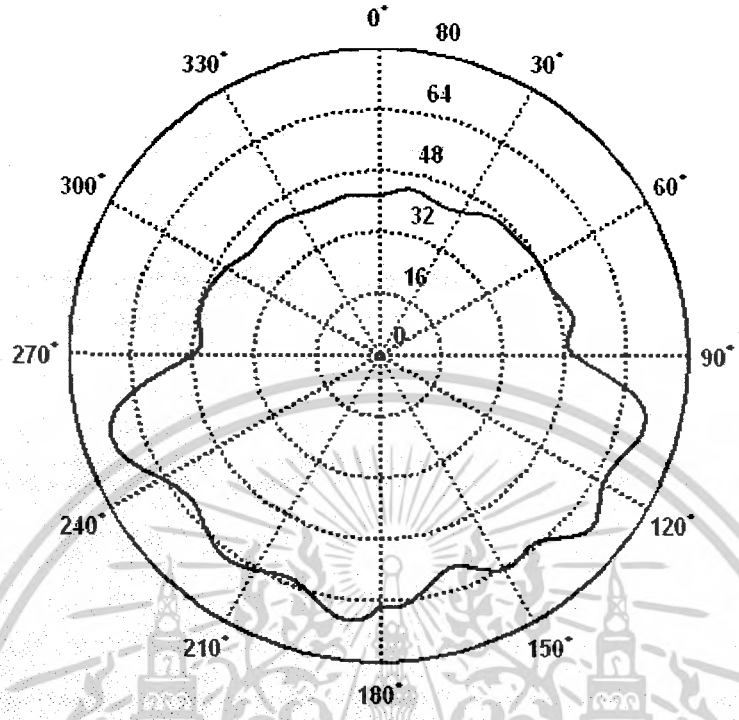


รูปที่ 5.42 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 0.5 เมตร

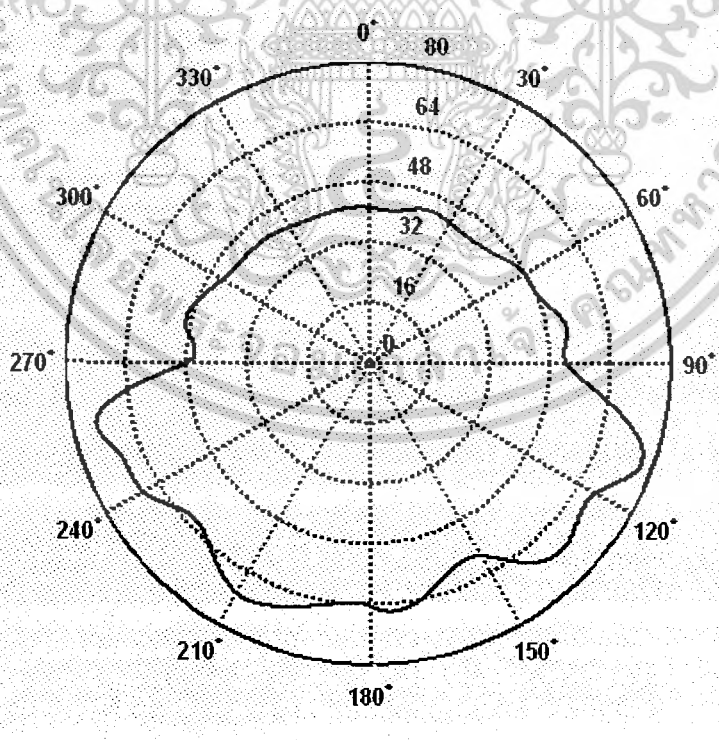


รูปที่ 5.43 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

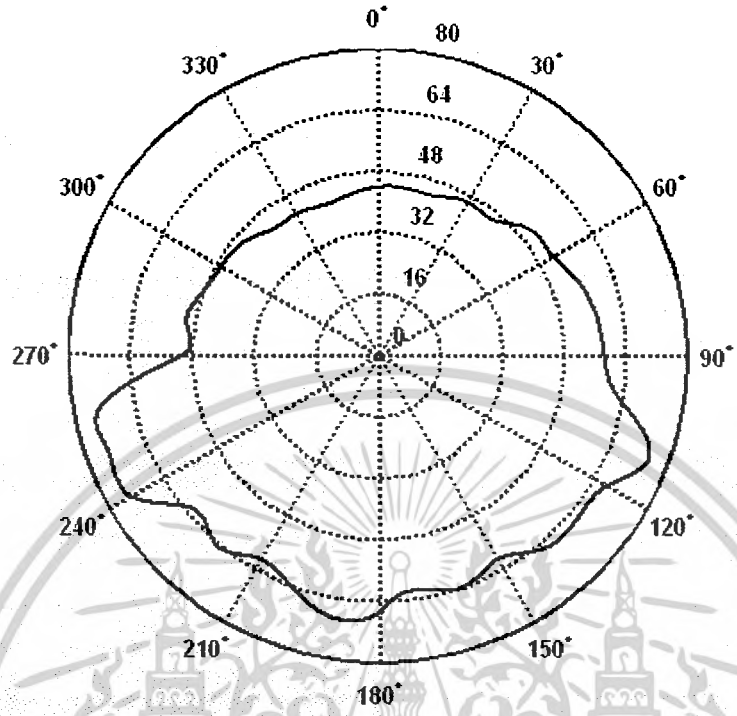


รูปที่ 5.44 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1.5 เมตร

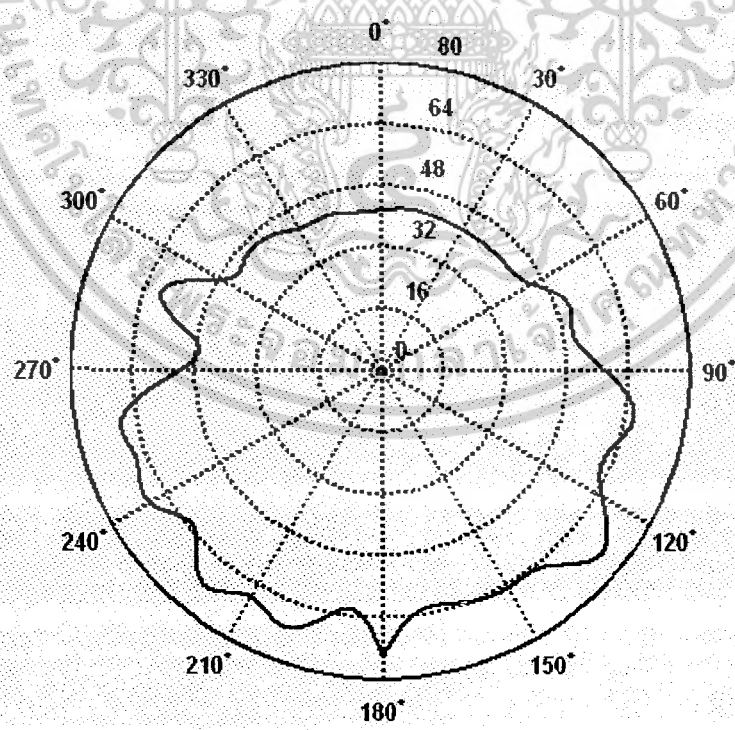


รูปที่ 5.45 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 2.5 เมตร

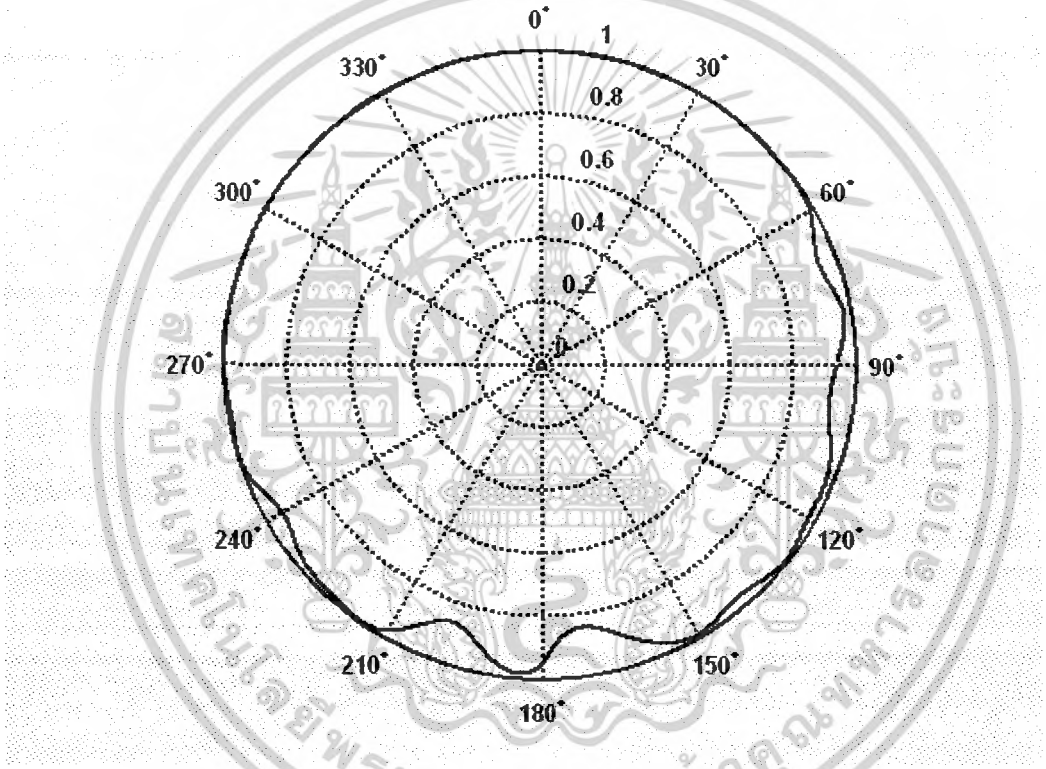


รูปที่ 5.47 การสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 3.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

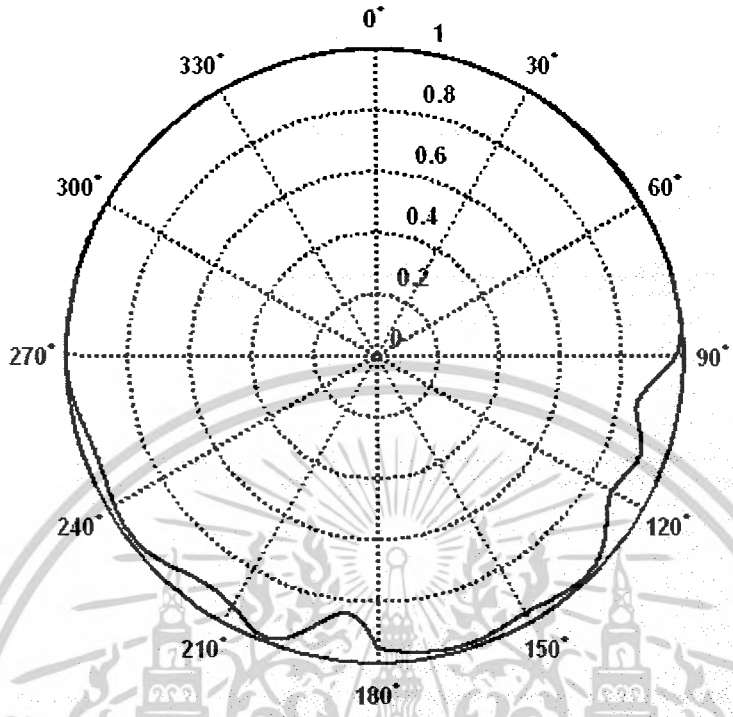
5.4.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.48 ถึงรูปที่ 5.53 ตามลำดับ ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในระยะทางที่ต่างกัน และมุมของตัวรับสัญญาณก็ต่างกันด้วย จะพบว่าเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณน้อยที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่ามากกว่าเมื่อตัวรับสัญญาณห่างจากตัวส่งสัญญาณมากกว่า ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณ

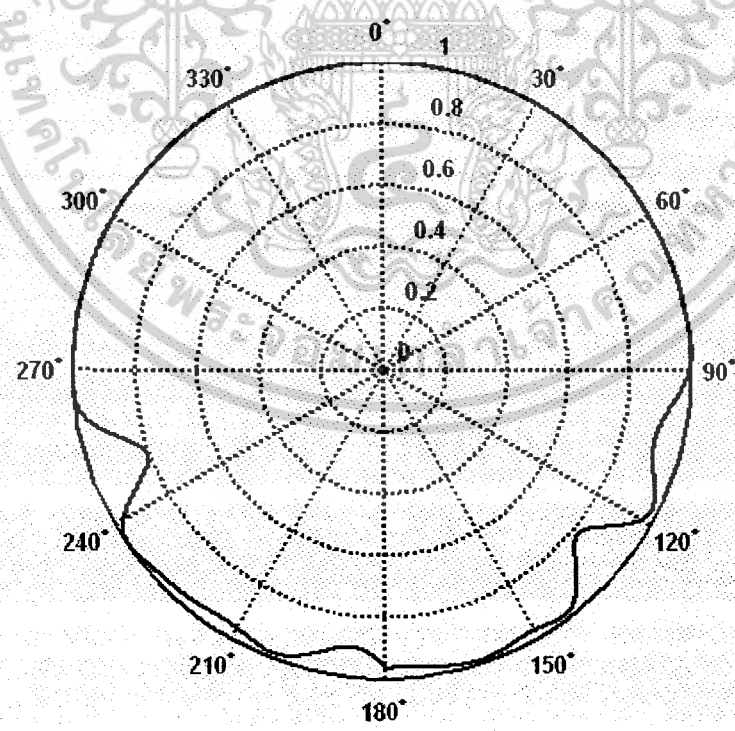


รูปที่ 5.48 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 0.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

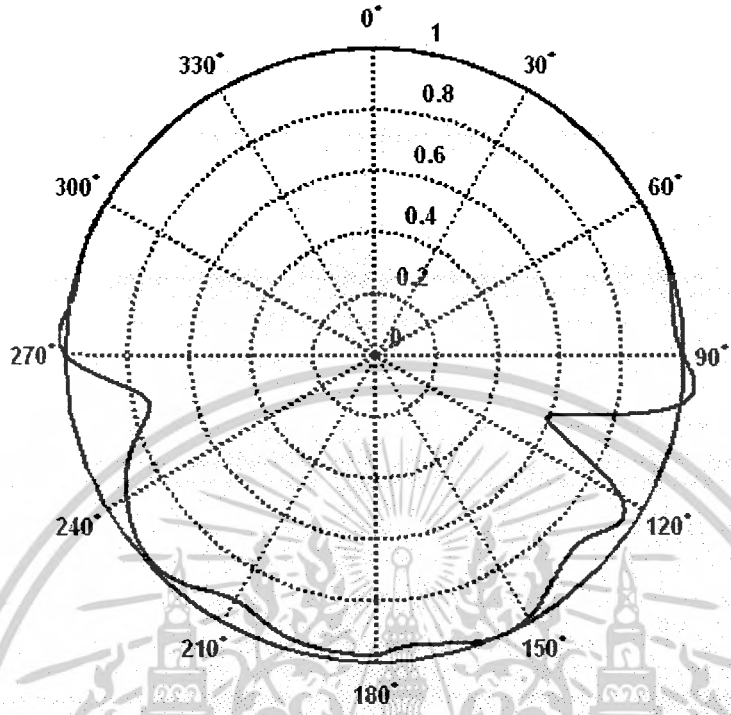


รูปที่ 5.49 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.0 เมตร

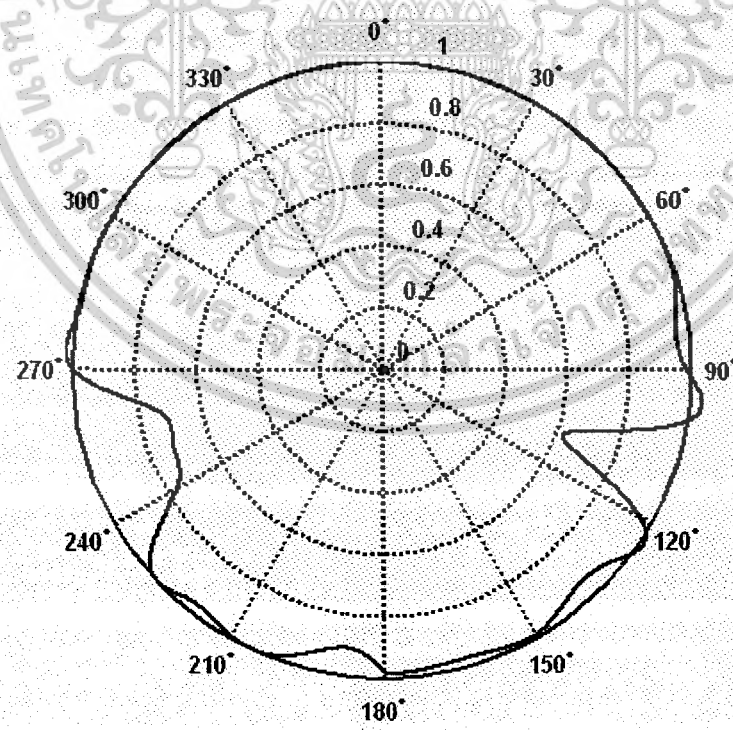


รูปที่ 5.50 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

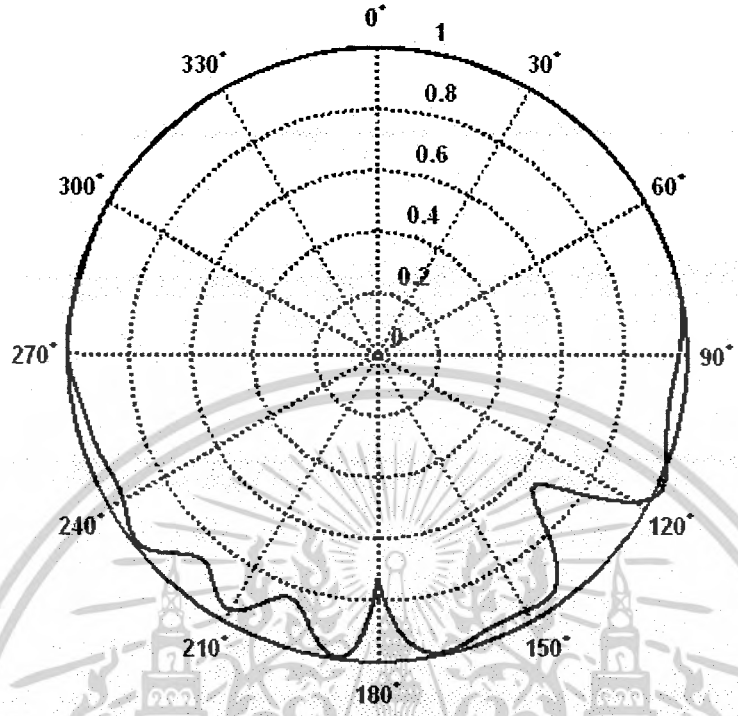


รูปที่ 5.51 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 2.0 เมตร



รูปที่ 5.52 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 2.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

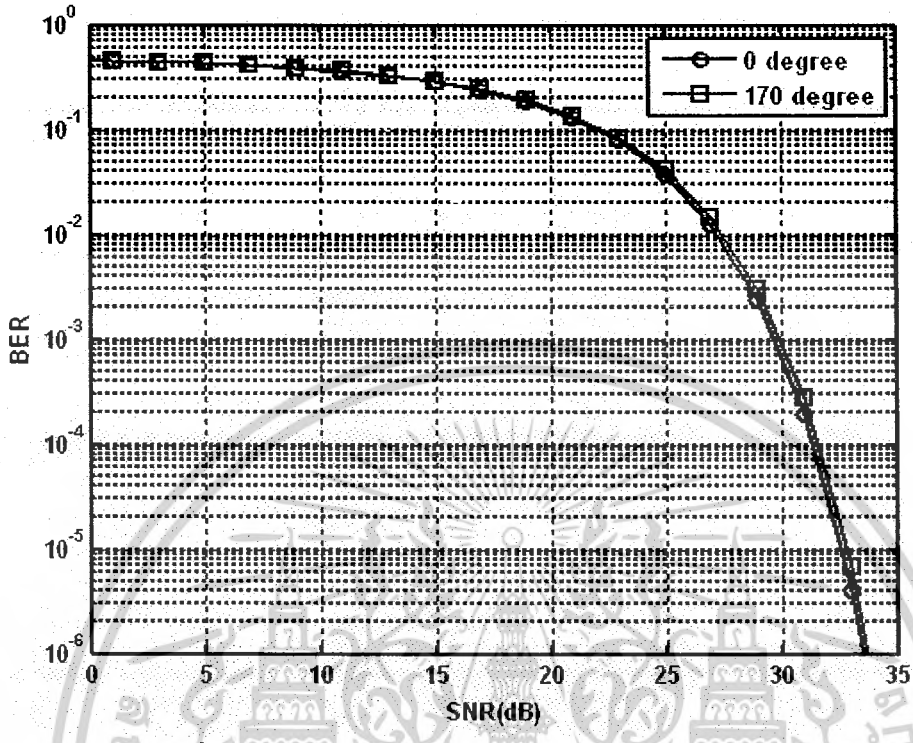


รูปที่ 5.53 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระยะ 3.0 เมตร

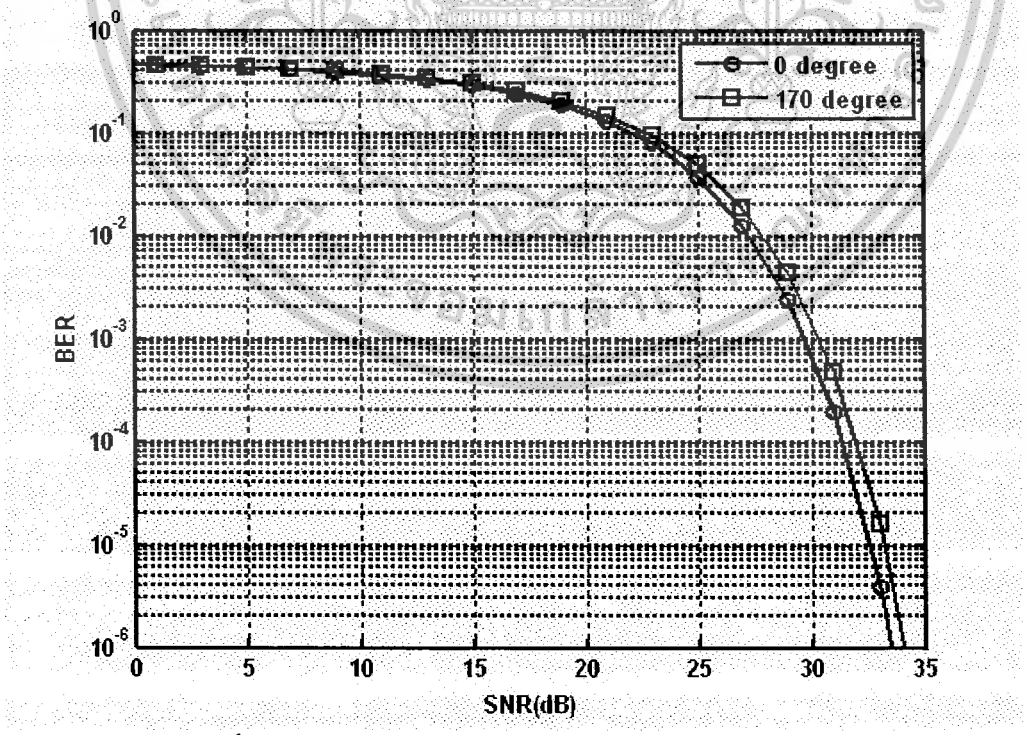
5.4.4 การหาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิต

เมื่อพิจารณาค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตดังแสดงในรูปที่ 5.54 ถึงรูปที่ 5.59 ตามลำดับของระยะทาง ซึ่งแสดงค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตเมื่อตัวรับสัญญาณอยู่ในระยะทางที่ต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละรูปจะพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันโดยที่จุดที่มีค่าอัตราความผิดพลาดต่อบิตต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

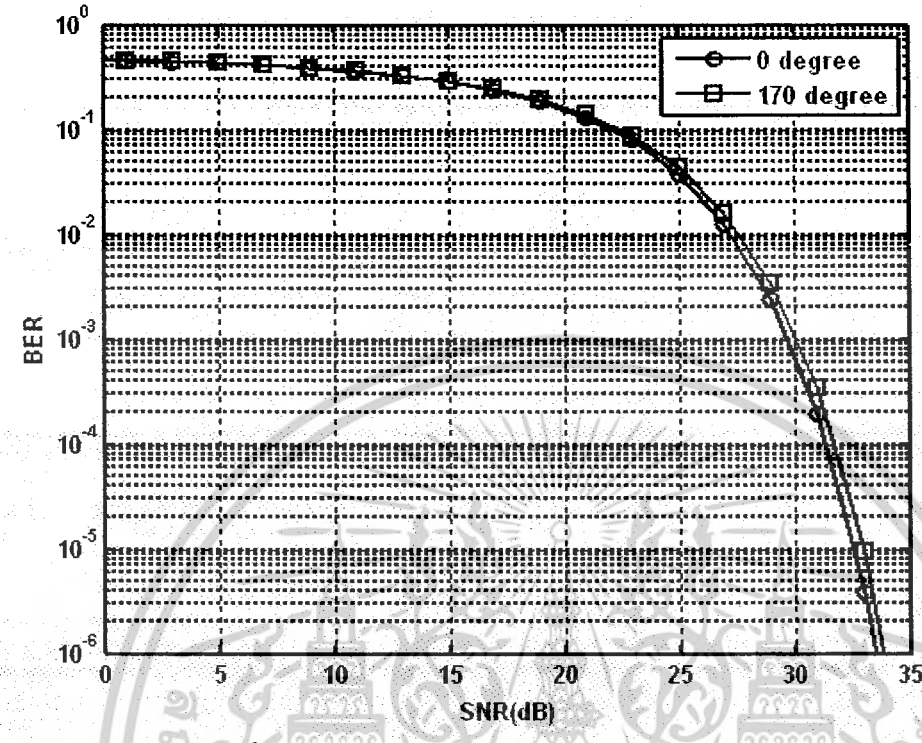


รูปที่ 5.54 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 0.5 เมตร

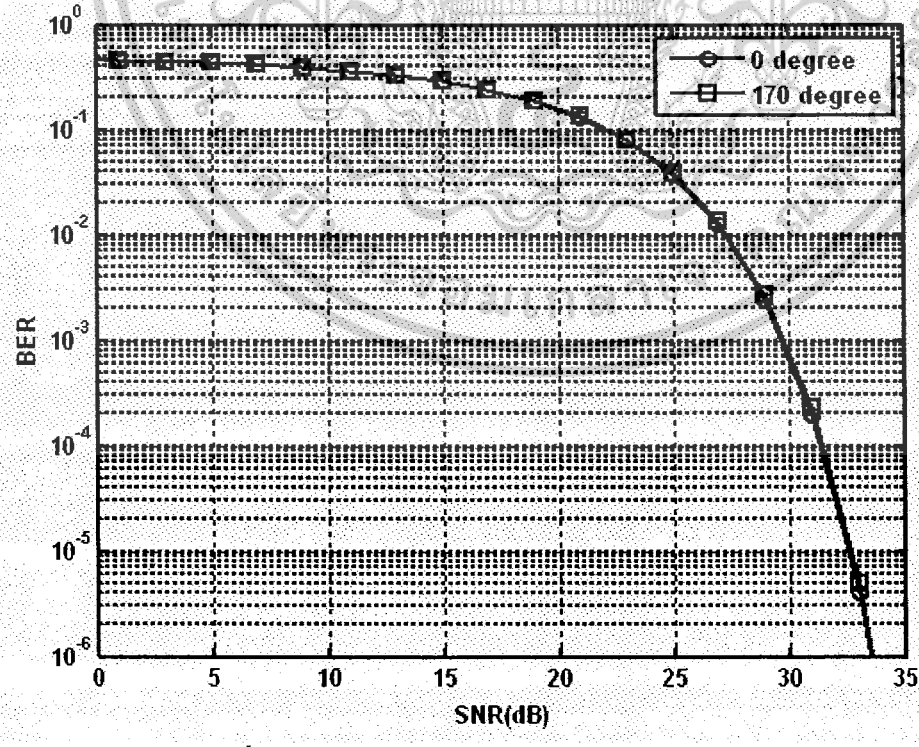


รูปที่ 5.55 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 1.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

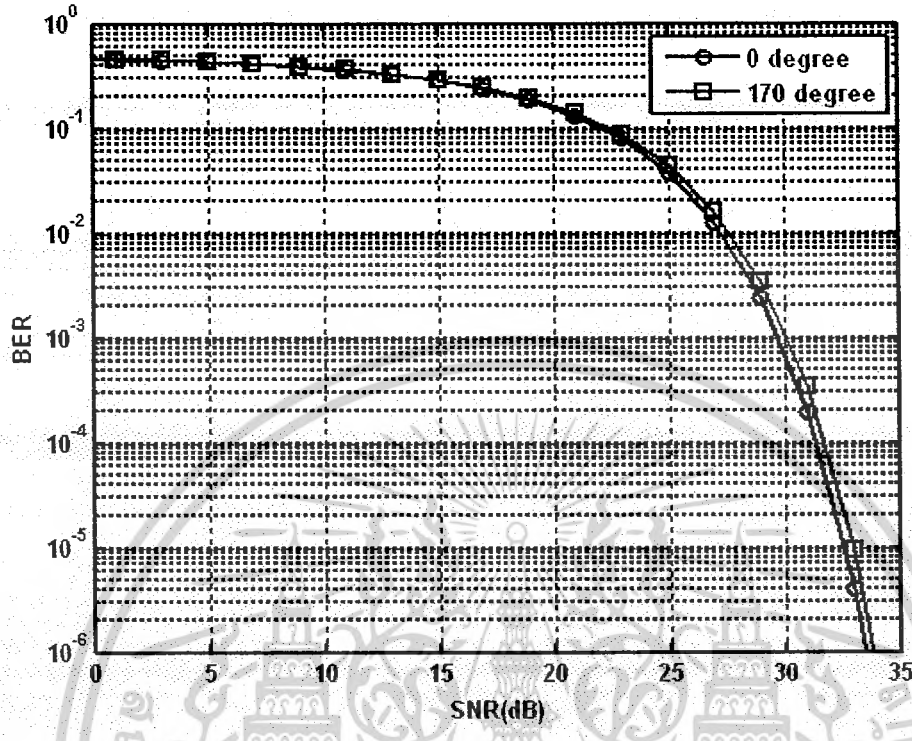


รูปที่ 5.56 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 1.5 เมตร

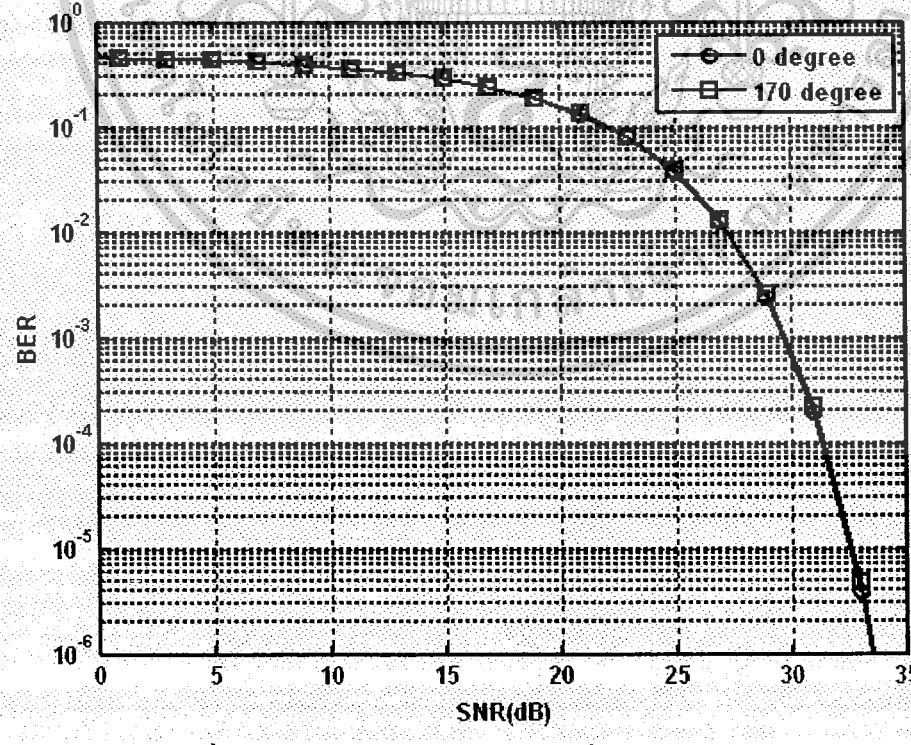


รูปที่ 5.57 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.58 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 2.5 เมตร



รูปที่ 5.59 อัตราความผิดพลาดต่อบิตที่ระยะทาง 3.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงการสูญเสียการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ที่ใช้ในระบบ RFID โดยสัญญาณนั้นจะมีช่วงความถี่ในช่วง 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz ซึ่งเป็นความถี่จะใช้ในระบบ RFID จากผลการทดลอง จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 โมเดล คือ โมเดลแรกจะเป็นการวัดแบบรูปตัวแอล โดยแบ่งทิศทางการวัดออกเป็น 2 กรณี คือ LOS และ NLOS ส่วนโมเดลที่สองจะเป็นการวัดแบบระยะทางครึ่งวงกลม โดยสรุปผลการทดลองไว้ดังนี้

6.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

6.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ สามารถอธิบายได้ว่า ในตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีระยะทางอยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าเฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องส่งสัญญาณออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าโมเดลแรกจะมีเฟสในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นในช่วงความถี่ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz ส่วนโมเดลที่สองจะมีเฟสที่มีลักษณะที่เป็นเชิงเส้นในช่วงความถี่ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz โดยที่ระยะที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้นมากที่สุดคือ ระยะ 2.5 เมตร

6.1.3 การสูญเสียเชิงวิถี สามารถอธิบายได้ว่า ค่าสูญเสียจะแปรผันตรงกับระยะทาง คือ การสูญเสียมากขึ้นระยะทางก็จะมากขึ้นตามลำดับ เพราะฉะนั้นทั้ง 2 โมเดลสามารถสรุปผลได้ดังนี้

โมเดลแรก พิจารณาจาก LOS คือ ระยะในช่วง 0 ถึง 150 cm การสูญเสียลดลงเนื่องจากสายอากาศรับและสายอากาศส่งไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกันจึงทำให้การสูญเสียน้อยลง แต่เมื่อระยะทางมากขึ้นทำให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นตามลำดับ

โมเดลแรก พิจารณาจาก NLOS คือ ระยะช่วงแรกจะมีค่าสูญเสียน้อยสุดที่สุดเนื่องจากสายอากาศรับยังรับสัญญาณได้อยู่ แต่เมื่อระยะเข้าไปมากทำให้การสูญเสียเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน อันเนื่องมาจากการบังของกำแพงทำให้รับสัญญาณไม่ได้เท่าไหร่ ส่วนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่รับได้ในช่วงนี้เกิดจากการสะท้อน และการหักเหของสัญญาณ ทำให้เกิดการ delay ในการรับสัญญาณ

โมเดลที่สอง คือ ในช่วงระหว่างมุม -20° ถึง 20° จะมีการสูญเสียน้อยที่สุดและระยะที่มีการสูญเสียน้อยที่สุดคือ ระยะ 2.5 เมตร ที่มุม 0° ส่วนมุม -80° ถึง -60° จะมีการสูญเสียมากที่สุกเนื่องมาจากการติดตั้งสายอากาศไม่ตั้งฉากกัน

6.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าจะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปรผกผันกับระยะทาง

6.1.5 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง BER กับระยะทาง จะเห็นได้ว่า BER เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นเพราะยิ่งระยะทางไกล ค่าความสูญเสียเชิงวิถีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน

6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

1. จากการทดลองวัดค่าแต่ละโมเดล ทำให้ได้ค่าต่าง ๆ ที่นำมาวิเคราะห์ผิดเพี้ยนไปบ้าง เนื่องจากผลกระทบจากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อากาศ สิ่งกีดกวางที่อยู่บริเวณทำการทดลอง ฯลฯ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ เกิดการชำรุดไปบ้าง เป็นต้น

2. จากการที่ทำการศึกษาโครงงานนี้พบว่ายังมีหลายส่วนๆ ที่ยากต่อความเข้าใจ ในการที่จะทำการวิเคราะห์จึงค่อนข้างจะทำได้ช้า และการที่พัฒนาต่อต้องศึกษารายละเอียดให้มากขึ้นเพื่อพัฒนารูปแบบการใช้งานจริง

3. ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทฤษฎีของเทคโนโลยี RFID และโปรแกรมที่มาใช้ในการวิเคราะห์ จึงต้องใช้เวลาในการศึกษานาน

4. ยังขาดความชำนาญในการใช้อุปกรณ์เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ใหม่ที่ยังไม่มีการใช้งานทั่วไปในปัจจุบัน

5. การติดตั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่งไม่ตั้งฉากกัน ทำให้เกิดการผิดพลาดในการวัดและการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **RFID security** 4 free booklets Apr 2006 eBook-DDU www.syngress.com

[2] Michael L. Davis, **"RFID: Definitions,"** Slide presentation, Oct 1997

[3] สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติในงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ http://www.nstda.or.th/sciencetech/documents/salekit-th.pdf

[4] **RFID Sourcebook** By Sandip Lahiri Prentice Hall PTR ISB: 0-13-185137-3

[5] **RFID Handbook** : Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Klaus Finkenzeller John Wiley and Sons Ltd 2003

[6] วัชรากร หนูทอง อนุกูล น้อยไม้ และ ปรินันท์ วรรณสว่าง,**"RFID เทคโนโลยีสารพัดประโยชน์,"** สาร NECTEC กันยายน และตุลาคม พ.ศ.2547

[7] บริษัทออนรอน อิเล็คทรอนิคส์ จำกัด. **"เทคโนโลยี RFID:Radio Frequency Identification Technology. "** กรุงเทพฯ : 2546

[8] Craig K. Harmon, **"An RFID Primer,"** Mississippi Valley State University Slide presentation

[9] เทคโนโลยี RFID กับผลกระทบต่อประเทศไทย http://www.nectec.or.th

[10] **http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=906**

[11] **http://popsci.typepad.com/popsci/images/2007/09/13/rfid.jpg**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้