

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาทดลองวัดของการกระจัดกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผิวอาคารในรูปแบบ

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

**EXPERIMENTAL STUDY OF ELECTROMAGNETIC WAVE
SCATTERING FROM BUILDING SURFACE IN UWB RADIO
PROPAGATION MODELING**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิศวกรรมสารสนเทศ

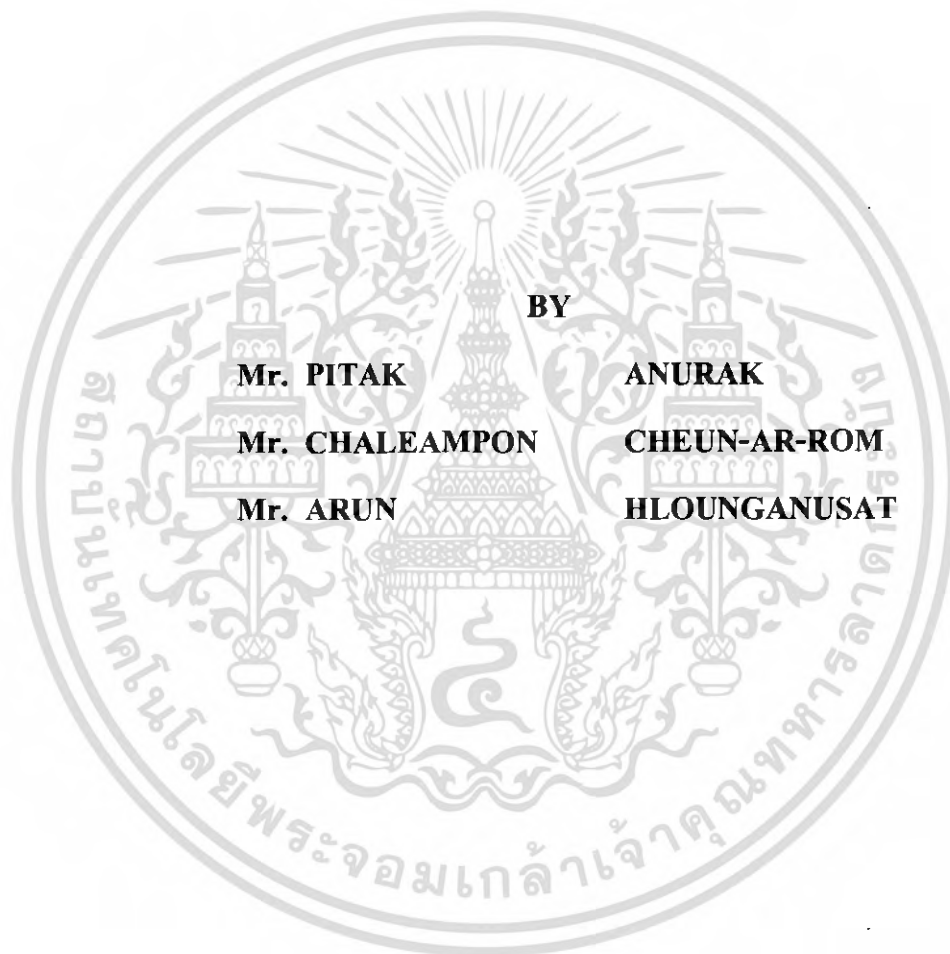
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EXPERIMENTAL STUDY OF ELECTROMAGNETIC WAVE
SCATTERING FROM BUILDING SURFACE IN UWB RADIO
PROPAGATION MODELING**



BY

Mr. PITAK

ANURAK

Mr. CHALEAMPON

CHEUN-AR-ROM

Mr. ARUN

HLOUNGANUSAT

**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 THECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาทดลองวัดของการกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผิวอาคารในรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง		
ชื่อนักศึกษา	นาย พิทักษ์	อนูรักษ์	รหัส 48015584
	นาย เฉลิมพล	ชื่นอารมณ์	รหัส 48015755
	นาย อรัญ	เหลือองอนุศาสตร์	รหัส 48015780
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2550		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์



(ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล)
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาทดลองวัดของการกระจัดกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผิวอาคารในรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง		
ชื่อนักศึกษา	นาย พิทักษ์	อนุรักษ์	รหัส 48015584
	นาย เฉลิมพล	ชื่นอารมณ	รหัส 48015755
	นาย อรัญ	เหลือองอนุศาสตร์	รหัส 48015780
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงค์ ผศ. พิชญ สุพรรณกุล		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (UWB) ได้เข้ามามีบทบาทในกระบวนการสื่อสารไร้สายระยะสั้นเป็นอย่างมาก ดังนั้น เพื่อให้มีการสื่อสารมีประสิทธิภาพสูงสุดในการสื่อสารของ ช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการสื่อสาร โครงการนี้ได้ศึกษาทดลองวัดและวิเคราะห์ผลของการกระจัดกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผนังภายในอาคาร โดยพิจารณาพื้นผิวของอาคารในลักษณะที่เป็น ผนังอาคาร (อิฐ) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ วัดสัญญาณการส่งผ่านในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz และใช้สายอากาศปากแตรเป็นสายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และสายอากาศทางด้านรับ (Rx) ผลที่ได้นี้จะนำมาวิเคราะห์หาผลกระทบที่เกิดจากการกระจัดกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผนังอาคารและเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพการส่งผ่านสัญญาณย่านความถี่กว้างยิ่ง ได้ดีที่สุด

Thesis Title Experimental Study of Electromagnetic Wave Scattering from Building Surface in UWB Radio Propagation Modeling

Student Mr. Pitak Anurak ID 48015584
Mr. Chaleampon Cheun-ar-rom ID 48015755
Mr. Arun Hlounganusat ID 48015780

Advisor Mr. Sathaporn Promwong
Asst. Prof. Pichaya Supanakoon

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2007

ABSTRACT

Nowadays, an ultra wideband (UWB) technology is become to be important part of wireless communication system. According to the best performance, the effects from the wireless communication technology are necessary to study. This proposal studies and analyzers the effect from the electromagnetic wave scattering from building surface. The this thesis considered the wall (brick). By using the vector network analyzer (VNA) is to measurement at frequency range from 3 GHz to 11 GHz. The horn antennas are used as the transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The results are analyzed to consider the effects from the electromagnetic wave scattering from building and improve the transmission performance.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำชี้แนะแนวทางการทำงานพร้อมทั้งการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน

จากท่าน อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมปริญญาบัตร ทางผู้จัดทำปริญญาบัตร ขอขอบพระคุณในความกรุณาทั้งหมดที่มีให้ด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล ที่ให้คำแนะนำเนื้อหาเพิ่มเติมที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำปริญญาบัตร ชี้แนะแนวทางในการดำเนินชีวิต ทั้งยังเป็นกำลังใจในการทำปริญญาบัตรตลอดมา

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ ที่ให้คำแนะนำตลอดจนช่วยแนะนำแนวทางในการทำปริญญาบัตร ตรวจสอบข้อบกพร่องพร้อมทั้งแนะนำการแก้ไข

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นกำลังใจในการศึกษา ให้ความรักและห่วงใยในทุกๆด้านมาโดยตลอด

นาย พิทักษ์ อนุรักษ์
นาย เฉลิมพล ชื่นอารมณ
นาย อรัญ เหลืองอนุศาสตร์
คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ	3
บทที่ 2 เทคโนโลยีของการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	4
2.1 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (UWB)	4
2.2 ลักษณะเฉพาะของแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (UWB)	6
2.2.1 จุดเด่นของ UWB	8
2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (UWB)	9
2.3.1 กฎข้อบังคับของ UWB ในสหรัฐอเมริกา	9
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป	11
2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	13
2.4.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse)	14
2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิล (Gaussian monocycle pulse)	14
2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล (Gaussian doublet pulse)	15
2.5 วิธีการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	16
2.5.1 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (PAM)	16
2.5.2 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM)	17
2.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส (BPSK)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 แบนด์วิดท์	18
2.7 การนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งาน	19
2.7.1 โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง	19
2.7.2 การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สาย	19
2.7.3 โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ	20
2.7.4 โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์	20
2.8 ข้อดีข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	20
2.8.1 ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	20
2.8.2 ข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	21
2.9 สรุป	22
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ	23
3.1 สาเหตุและที่มา	23
3.2 พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ	23
3.2.1 หลักทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสในระบบคลื่นวิทยุ UWB	23
3.2.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)	25
3.2.3 การสูญเสียเชิงวิถีเนื่องจากพื้นผิวเรียบ	25
3.2.4 อัตราขยายเชิงวิถี (Path gain)	26
3.2.5 การกระจัดกระจาย(Scattering)	27
3.2.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	28
บทที่ 4 แบบแผนการวัดและการทดลองงานวิจัย	29
4.1 ทฤษฎีสายอากาศปากแตร (Horn Antenna)	29
4.1.1 ค่าการสูญเสียจากการแผ่กระจายกำลังงานในอากาศว่าง	29
4.1.2 การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain Measurement)	30
4.1.3 สายอากาศปากแตรทรงพีระมิด (Pyramidal Horn Antenna)	32
4.2 แบบจำลองการวัดการกระจัดกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองผิวขรุขระและผิวเรียบ ครั้งที่ 1	35
4.2.2 สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองแนวตรงครั้งที่ 1	36
4.3 ขั้นตอนในการวัด	36
4.3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1	36
4.3.2 ขั้นตอนในการวัดตามแบบจำลองครั้งที่ 1-1 และ 1-2	36
4.3.3 ขั้นตอนในการวัดตามแบบจำลองครั้งที่ 1-3	37
4.3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 2	38
4.3.5 ขั้นตอนในการวัดตามแบบจำลองครั้งที่ 2	39
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	40
5.1 การวิเคราะห์สัญญาณ	40
5.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ	40
5.2.1 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 1 (มุม 50 องศา)	40
5.2.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 1 (มุม 60 องศา)	43
5.2.3 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 1 (มุม 70 องศา)	45
5.2.4 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 2 (ตัวส่งทำมุม 0 องศา)	49
5.2.5 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 2 (ตัวส่งทำมุม 45 องศา)	52
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	56
6.1 สรุปผลจากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ	56
6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินโครงการ	56
6.3 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ	56
6.4 แนวทางในการแก้ปัญหา	57
6.5 ข้อเสนอแนะ	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	58
เว็บไซต์อ้างอิง	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	60
ภาคผนวก ข การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัด	63
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ผล	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	ขั้นตอนในการทำปริญญานิพนธ์	3
2.1	กำลังงานและความถี่ของ UWB เมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน	5
2.2	ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่	6
2.3	ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียภายในบ้าน	7
2.4	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของUWB ภายในอาคาร	11
2.5	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของUWB ภายนอกอาคาร	12
2.6	สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	14
2.7	สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน โมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	15
2.8	สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลตทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	15
2.9	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ	16
2.10	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามตำแหน่ง	17
2.11	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบสองเฟส	18
3.1	การประยุกต์ใช้สมการของฟรีส	24
3.2	แบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิวเรียบ	26
3.3	ลักษณะการสะท้อนบนพื้นขรุขระ	27
4.1	สายอากาศปากแตร (Horn Antenna)	31
4.2	สายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด	32
4.3	ค่าผิดพลาดเชิงเฟส(Phase Errors:) อันเนื่องมาจากความโค้งของหน้าคลื่นในสายอากาศปากแตร	33
4.4	ค่าส่วนประกอบการสูญเสีย(Loss Factor) ที่เกิดขึ้นในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก	34
4.5	มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบผิวขรุขระและผิวเรียบ	35
4.6	มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบแนวตรง	36
4.7	ลักษณะในการวัดสัญญาณตามแบบจำลองผนังผิวขรุขระครั้งที่ 1-1	37
4.8	ลักษณะในการวัดสัญญาณตามแบบจำลองผนังผิวเรียบครั้งที่ 1-2	37
4.9	ลักษณะในการวัดสัญญาณตามแบบจำลองครั้งที่ 1-3	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ลักษณะในการวัดสัญญาณตามแบบจำลองผนังผิวขรุขระและผิวเรียบ	39
5.1 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 50 องศา	40
5.2 ค่าอัตราขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 50 องศา	41
5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 50 องศา	42
5.4 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ตัวส่งทำมุม 50 องศา	42
5.5 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 60 องศา	43
5.6 ค่าอัตราขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 60 องศา	44
5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 60 องศา	44
5.8 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ตัวส่งทำมุม 60 องศา	45
5.9 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 70 องศา	46
5.10 ค่าอัตราขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 70 องศา	46
5.11 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 70 องศา	47
5.12 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ตัวส่งทำมุม 70 องศา	48
5.13 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 0 องศา	49
5.14 ค่าอัตราขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 0 องศา	50
5.15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 0 องศา	50
5.16 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ตัวส่งทำมุม 0 องศา	51
5.17 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบตัวส่งทำมุม 45 องศา	52
5.18 ค่าอัตราขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 45 องศา	53
5.19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 45 องศา	53
5.20 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ตัวส่งทำมุม 45 องศา	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร	10
2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร	11
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 1	36
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 2	38
5.1 ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองต่างๆ	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการวิจัย

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น รวมถึงได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยในการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายนั้นมีจุดประสงค์เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ อาทิ จำนวนข้อมูลที่สามารถส่งได้, อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล, จำนวนของผู้ใช้ในระบบ, ระยะทางที่สามารถส่งได้ และความสามารถในการใช้งานร่วมกัน เป็นต้น

เพื่อรองรับสื่อแบบมัลติมีเดียที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (Ultra-Wideband) การสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a มีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission : FCC) อยู่ในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และมีสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังในการส่งให้อยู่ที่ระดับไม่เกิน -41.3 dBm/MHz อันเป็นระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวน เพื่อไม่ให้ระบบการสื่อสารนี้ไปกวนกับระบบการสื่อสารเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่าการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญและควรนำมาศึกษาทดลอง โดยในการศึกษาทดลองนั้นได้ใช้สายอากาศปากแตร (Horn Antenna) ที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งในการแพร่กระจายคลื่นแบบดังกล่าวจะเกิดปรากฏการณ์ของคลื่นหลากหลายลักษณะด้วยกัน โดยปรากฏการณ์หนึ่งที่สำคัญคือการกระจัดกระจายของคลื่น (Scattering) กล่าวคือเมื่อคลื่นตกกระทบกับพื้นผิวขรุขระจะมีการกระจัดกระจายไปในหลายทิศทาง จึงได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์ดังกล่าวและผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษามาตรฐานและเทคโนโลยี ของระบบการสื่อสารแบบแถบ ความถี่กว้าง
ยิ่ง
- 1.2.2 เพื่อทำการออกแบบรูปแบบของการจำลอง ในการทดลองวัดและรูปแบบสัญญาณ
คลื่นวิทยุแบบแถบความถี่กว้างยิ่งก่อนทำการทดลองวัด
- 1.2.3 เพื่อเป็นการวางแผนและจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆพร้อมด้วยเครื่องมือที่ใช้สำหรับใน
การวัดทดลองอย่างถูกต้อง และมีความเหมาะสม
- 1.2.4 เพื่อศึกษาหาค่าสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบแถบความถี่ความยิ่ง ซึ่ง
ประกอบด้วยผ่าผนังแบบผิวราบ และผิวขรุขระ
- 1.2.5 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของผลที่ได้จากการวัด นำมาประเมิน สำหรับทำการ
วิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างผลทางทฤษฎี และผลที่ได้จากการวัด
- 1.2.6 เพื่อนำผลงานวิจัยรายงานออกสู่สาธารณะชน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

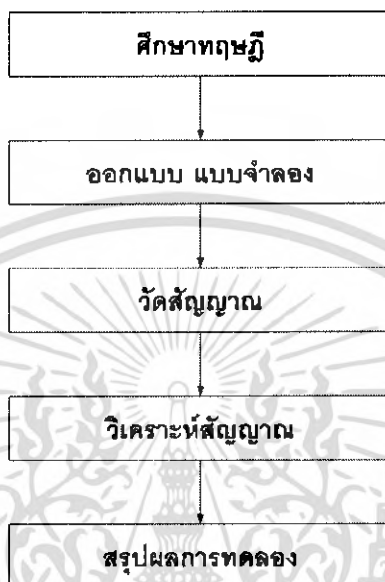
- 1.3.1 ศึกษาคุณลักษณะและข้อจำกัด ของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง
- 1.3.2 ทำการเปรียบเทียบระหว่างผนังผิวเรียบและผิวขรุขระทั้งสองชนิดและข้อดีข้อเสีย
- 1.3.3 ทำการทดลองเพื่อศึกษาหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ระยะต่างๆ โดยการนำค่าที่ได้จาก
การทดลองของผนังแบบผิวเรียบและผิวขรุขระทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบหาข้อดีข้อเสีย
- 1.3.4 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง และเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยอ้างอิงกับ
ทฤษฎี เพื่อหาความเหมาะสมของแต่ละชนิด ในการนำไปใช้ในสำนักงาน
- 1.3.5 นำเสนอผลงานวิจัยเข้าร่วมประชุมวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

ในการดำเนินโครงการได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนในการทำปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดยในบทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์ ขอบเขตของโครงการ ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

บทที่ 2 กล่าวถึงเนื้อหาโดยรวมของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง ซึ่งจะประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง รูปสัญญาณที่ใช้ในการส่ง การเข้าถึงช่องสัญญาณ วิธีในการมอดูเลตสัญญาณ คุณสมบัติการส่งผ่านคลื่น

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ

บทที่ 4 กล่าวถึงแบบแผนการวัดและการทดลองงานวิจัยผลที่ได้ในการวัดสัญญาณและตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น ขั้นตอนการทดสอบสัญญาณตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากการทดลองตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปปัญหาที่พบระหว่างดำเนินโครงการ แนวทางแก้ไขปัญหารวมถึงงานในอนาคตหากมีการศึกษาต่อเพื่อเพิ่มพูนผลการวิเคราะห์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เทคโนโลยีของการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

2.1 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (UWB)

ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (Ultra-Wideband communication systems ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า UWB) นั้นไม่ได้เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ เทคโนโลยีนี้ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการที่เป็นความลับของกองทัพสหรัฐฯ ในช่วงระหว่างปี 1960 - 1990 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง คุณสมบัติข้อหนึ่งของระบบการสื่อสารประเภทนี้ที่มีการใช้แบนด์วิดท์ในระบบการสื่อสารที่มากทำให้สามารถได้รับข้อมูลที่มีความแม่นยำในด้านตำแหน่งของวัตถุที่เที่ยงตรงมาก จนกระทั่งปัจจุบันได้เริ่มนำเอาเทคโนโลยีนี้มาใช้งานในระบบการสื่อสารมากขึ้น อันเนื่องมาจากการพัฒนาของเทคโนโลยีการตัดต่อความเร็วสูง (High-speed switching) ทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบมัลติมีเดีย หรือระบบการสื่อสารที่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง โดยที่เทคโนโลยีนี้จะมีความแตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น การสื่อสารแบบแถบแคบ และการสื่อสารแบบแถบกว้าง อยู่ด้วยกัน 2 ประการ คือ

1. UWB นั้นมีการใช้แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณมากกว่า 25% ของความถี่กลาง โดยที่การหาค่าเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$BW = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \times 100\% \quad (2.1)$$

โดยที่ f_H คือ ค่าขอบความถี่บนของระบบการสื่อสาร

f_L คือ ค่าขอบความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร

UWB นี้จะกำหนดแบนด์วิดท์ของระบบได้จากช่วงห่างระหว่างความถี่บน และความถี่ล่างของระบบ โดยที่ค่าของความถี่ทั้ง 2 นี้จะกำหนดได้จากความถี่ที่ให้ระดับกำลังงานของสัญญาณต่ำกว่าระดับกำลังงานสูงสุด 10 dB ซึ่งเป็นระดับของกำลังสัญญาณรบกวนพื้น (noise floor) ของระบบการสื่อสารประเภทอื่น

2. UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณพาห้เข้ากับสัญญาณข้อมูลก่อนทำการส่งข่าวสาร ดังนั้นในภาคส่งของUWB จึงไม่ต้องใช้อุปกรณ์ประเภทการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูเลตความถี่ (Modulation) และเครื่องส่งที่มีกำลังมาก จึงเป็นการลดต้นทุนของระบบการสื่อสาร

ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารของ UWB ที่ทาง FCC ได้อนุญาตให้ใช้ในระบบการสื่อสารนี้จะอยู่ในช่วง 3.1GHz ถึง 10.6 GHz และจากการที่ช่วงความถี่ที่ทาง FCC กำหนดให้ใช้มีขนาดที่กว้างมาก ดังนั้น UWB จึงสามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารในระบบการสื่อสารได้เป็นจำนวนมาก โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของระบบการสื่อสารกับแบนด์วิดท์ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนี้ แสดงได้ดังสมการที่ (2.2)

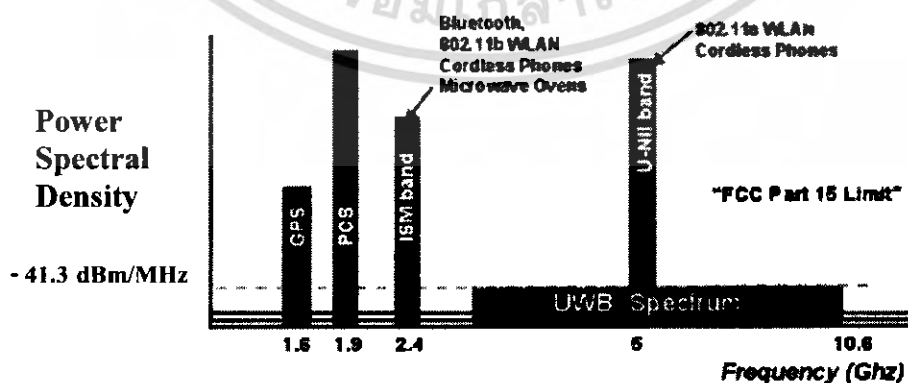
$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.2)$$

โดยที่ C คือ ความจุของช่องสัญญาณ (Channel Capacity) มีหน่วยเป็น bps

B คือ แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น Hz

$\frac{S}{N}$ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน

UWB เป็นระบบการสื่อสารที่มีแบนด์วิดท์ของระบบที่กว้างมาก และได้ไปทับซ้อนกับระบบการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless Local Area Networks ; WLAN) เป็นต้น ดังนั้นทาง FCC จึงได้มีการกำหนดกำลังงานของระบบที่แพร่ออกมาในช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารประเภทนี้ไว้ที่ระดับ -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับของกำลังงานของสัญญาณรบกวน โดยในรูปที่ 2.1 แสดงระดับกำลังงานและช่องความถี่ของ UWB เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารอื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน



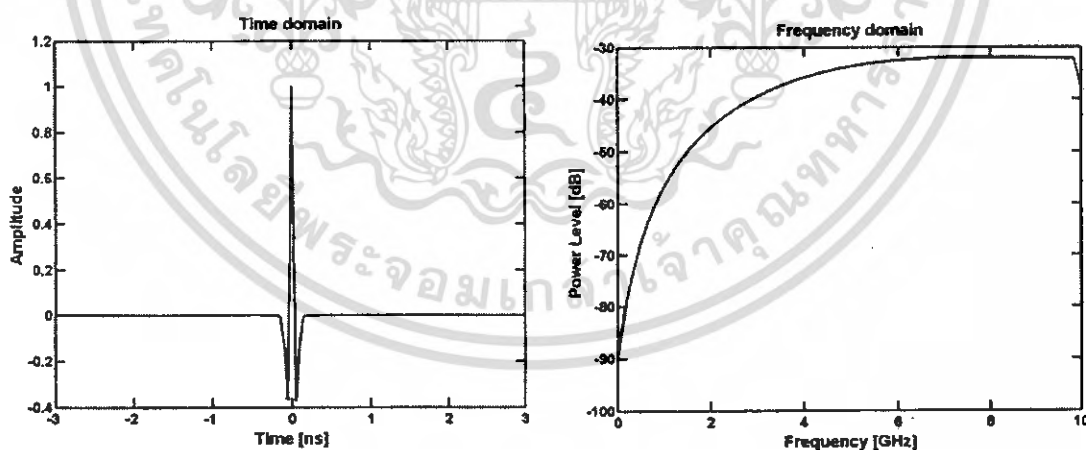
รูปที่ 2.1 ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมและย่านความถี่ของ UWB เมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 จะพบว่าระดับกำลังงานของ UWB จะอยู่ในระดับที่ต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน ดังนั้นสัญญาณของ UWB จึงไม่ไปรบกวนกับสัญญาณของระบบการสื่อสารเดิม ซึ่งเป็นเหตุให้สามารถนำเอา UWB ไปใช้งานในที่ๆ มีระบบการสื่อสารเดิมใช้อยู่ได้และยังแสดงให้เห็นระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ

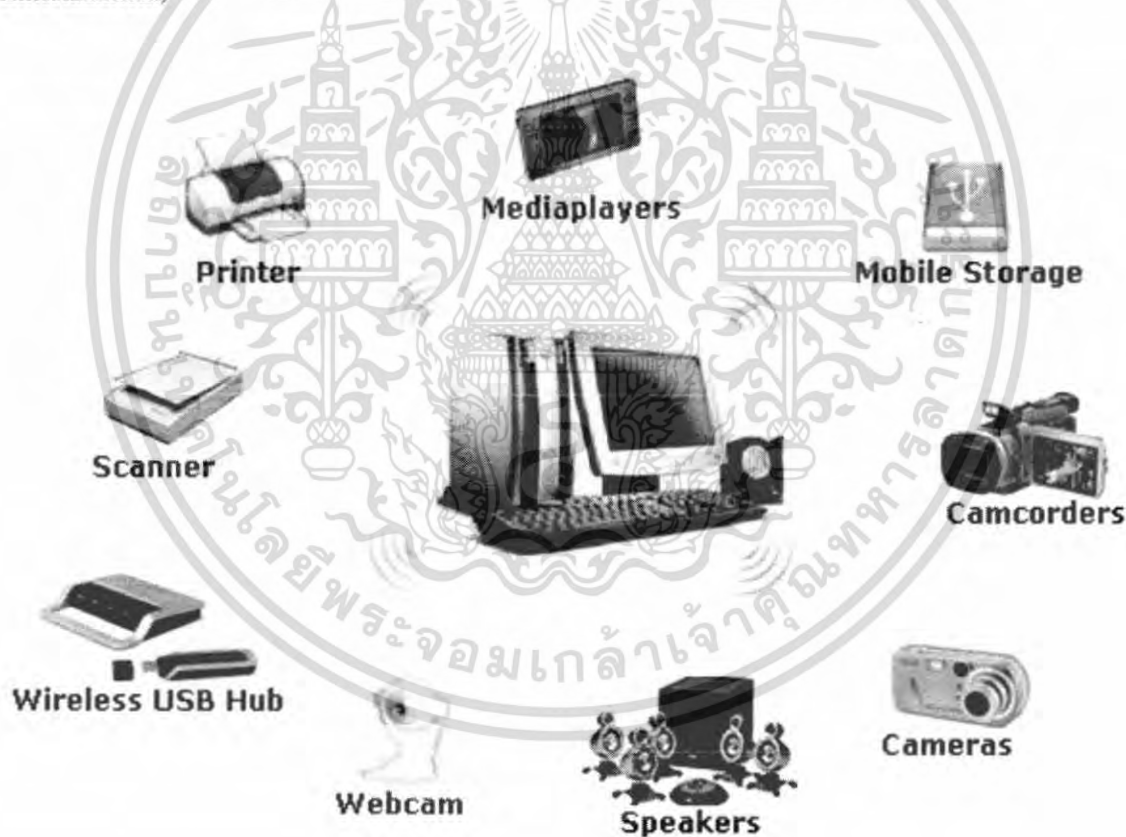
2.2 ลักษณะเฉพาะของแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (UWB)

UWB เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น โดยจุดเด่นของ UWB เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห้ (Radio Frequency, RF) เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของ UWB จะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับต่ออัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mbps ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้คิวตี้ไซเคิล (duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณใน โดเมนความถี่

หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยีอย่าง Wi - Fi หรือ Bluetooth แล้วก็จะพบว่า UWB จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็ว ในการรับส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำกว่า รวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่น ๆ UWB จะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร และความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ Wi - Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุด 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน UWB มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่าซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าว UWB จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทให้ความบันเทิงภายในบ้าน (Home Entertainment)



รูปที่ 2.3 ลักษณะการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียภายในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 จุดเด่นของ UWB

ถ้าจะกล่าวถึง แถบความถี่ความยิ่ง (UWB) หรือรวมถึงพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short – pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอยด์ (Non- sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (Carrier less) แถบกว้างยิ่ง (Super wideband) การอัดพัลส์แบบเฟอเอ็มอย่างรวดเร็ว (Fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมโน (Mono pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารอาทิเช่น

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise) เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (Pseudo – random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณ UWB นี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณ UWB นั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของ UWB นั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวนพื้น (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณ UWB นี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำความซับซ้อนที่น้อยและต้นทุนที่ต่ำของ UWB เกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะของสัญญาณดั้งเดิมที่ยังไม่ผ่านการมอดูเลต (Base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ใน โดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห้รวมเข้าไป และในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ นั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห้เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (up – conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (down – conversion) และตัวผลิตความถี่ (local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับ UWB ด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (Multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิธของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้UWB มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิธีรุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียง

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (Tracking) ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุUWB มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้UWB ที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองเป็นต้น

2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (UWB)

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นคือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามลดข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการ โดยใช้ชื่อว่า Ultra – Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute; ETSI) หรือสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union; ITU)

2.3.1 กฎข้อบังคับของ UWB ในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมากๆ แต่ก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำ UWB มาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกร่องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับภาคการพาณิชย์ การเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA (Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งใน UWB ด้วยเช่นกัน

UWB ได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับ UWB ซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ (B_f) ของสัญญาณ โดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ (2.1) ที่แสดงไว้แล้วข้างต้น ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎส่วนรับ UWB ซึ่งเป็นข้อกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับ UWB และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานใน UWB ทั้ง 4 ประเภท และการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัดไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ (2.1) และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ (เมกกะเฮิรตซ์)	ภายใน	ภายนอก
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 – 3100	-51.3	-61.3
3100 – 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

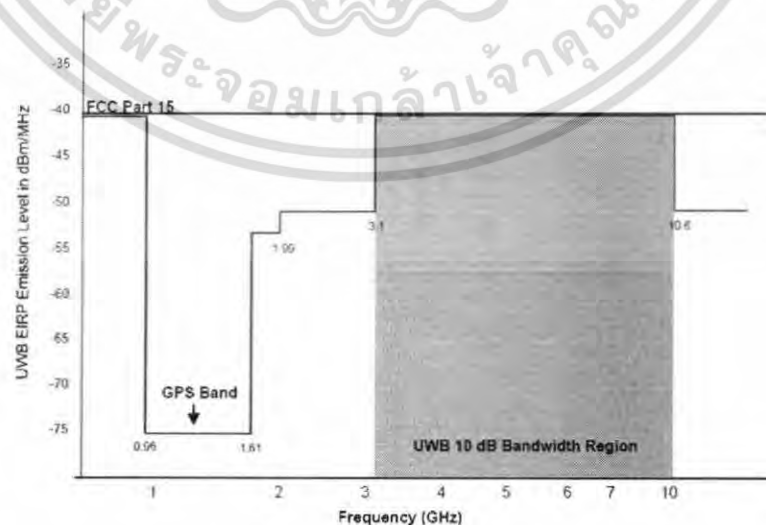
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

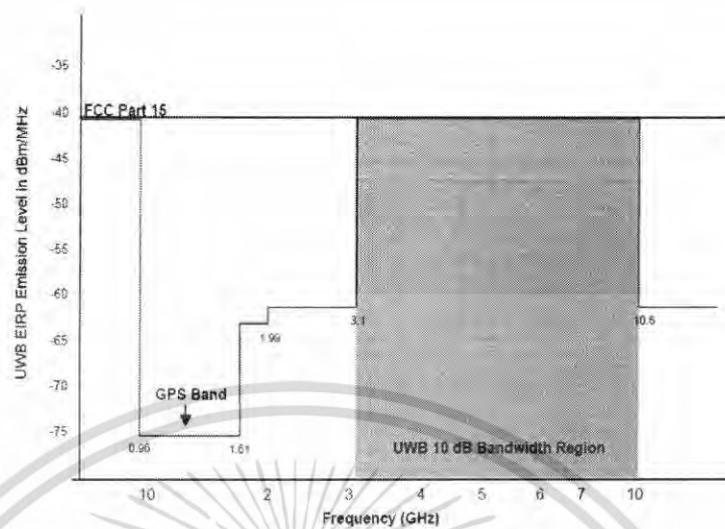
Place	Frequency range [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
Indoor mask	$-51.3 + 87 \log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log(f / 10.6)$
Outdoor mask	$-61.3 + 87 \log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log(f / 10.6)$

โดยในตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของ UWB ภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ โดย FCC ของ UWB ภายนอกอาคาร

รูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารทั้ง 2 รูปมีข้อกำหนดที่เหมือนกันคือ ความถี่จะอยู่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี UWB ตามมาตรฐานฉบับร่าง IEEE 802.15.3a สัญญาณที่ใช้ส่งจะต้องมีความหนาแน่นกำลังงานที่ใช้ส่งได้ไม่เกิน -41.3 dBm/MHz โดยข้อแตกต่างของระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมของทั้ง 2 รูปนี้ก็คือ ข้อกำหนดระดับการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารนั้นสามารถอนุญาตให้ใช้กำลังได้สูงกว่าระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายนอกอาคารในส่วนของบริเวณที่ใกล้เคียงย่านความถี่ UWB ซึ่งสาเหตุที่อนุญาตให้ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารมีกำลังส่งสูงกว่าระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายนอกอาคารในบริเวณที่ใกล้เคียงย่านความถี่ UWB เป็นเพราะว่า การสื่อสารของสัญญาณที่ใช้ภายในอาคารจะไปรบกวนระบบสื่อสารอื่นๆ นั้นทำได้น้อยกว่าการสื่อสารของสัญญาณที่ใช้ภายนอกอาคารเนื่องจากภายในอาคารจะสามารถดูดกลืนสัญญาณคลื่นที่มีการแพร่กระจายไปในอากาศได้มากกว่า ส่วนภายนอกอาคารการดูดกลืนสัญญาณที่แพร่กระจายนั้นจะทำได้น้อยหรืออาจจะไม่มีเลย ซึ่งอาจจะไปรบกวนต่อระบบอื่นได้เลยเป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อกำหนดกำลังส่งของสัญญาณมีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

ลักษณะเฉพาะโดยทั่วไปของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง คือกำหนดให้อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ตามมาตรฐานโดยตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งนั้นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง อีกทั้งช่วงแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดวัด ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมาประมาณ 10 dB หรือเท่ากับ 500 MHz โดยระดับที่ยินยอมให้แพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นได้ถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm/MHz ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดให้รูปแบบของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งจึงมีหลายๆ สถาบันที่กำลังศึกษาวิจัยข้อมูลในเรื่องของสัญญาณที่จะใช้ส่งในระบบแถบกว้างยิ่งในอนาคต

UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ใช้สัญญาณพาห้ในการนำพาเอาสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปสู่ช่องสัญญาณ โดยที่สัญญาณที่ใช้ใน UWB จะใช้สัญญาณที่มีรูปแบบเป็นสัญญาณอิมพัลส์ในการส่งข้อมูล โดยสัญญาณอิมพัลส์ที่ใช้ในการส่งจะมีคาบของสัญญาณที่สั้นมาก ดังนั้นเมื่อทำการแปลงสัญญาณที่ทำการส่งจะมีแถบความถี่ที่กว้างมาก โดยที่ในการแปลงสัญญาณจาก โดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่นี้จะสัมพันธ์กันดังแสดงในสมการที่ (2.3)

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.3)$$

โดยที่ $s(t)$ คือ สัญญาณที่ใช้ในการส่งในโดเมนเวลา

$S(f)$ คือ สัญญาณที่ใช้ในการส่งเมื่อถูกแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่

รูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลในUWB นั้นจะมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท เช่น สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ (Gaussian waveform) สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian monocycle) และสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเบิล (Gaussian doublet) เป็นต้น โดยที่สัญญาณที่ใช้ในการส่งในระบบการสื่อสารประเภทนี้จะมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกันอยู่หนึ่งข้อคือ สัญญาณอิมพัลส์ที่ใช้ในการส่งนั้นเมื่อทำการแปลงสัญญาณในโดเมนความถี่แล้ว จะต้องสอดคล้องกับช่วงความถี่ที่ทาง FCC กำหนด

2.4.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse)

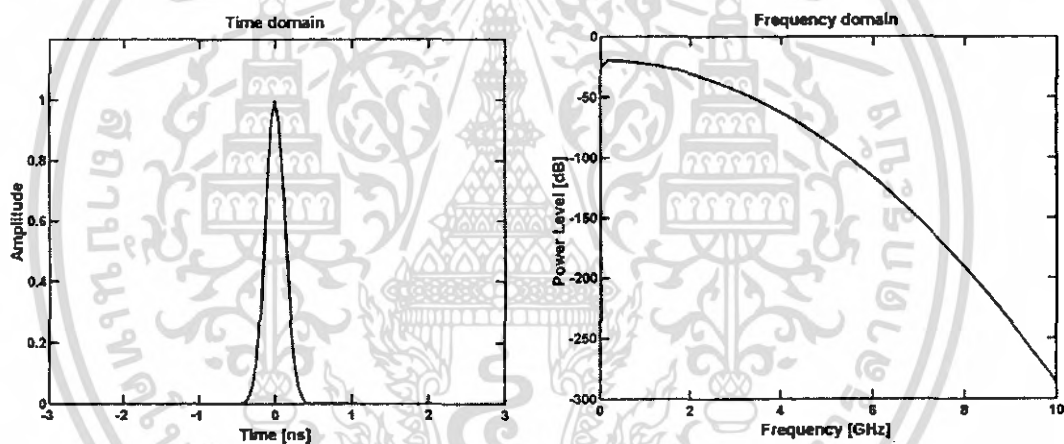
สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนนั้นจะแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งจากรูปจะสังเกตได้ว่า รูปร่างของสัญญาณจะมีรูปร่างเหมือนการแจกแจงข้อมูลที่มีลักษณะแบบปกติ (Normal distribution) โดยที่สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2.4)

$$s(t) = Ae^{-\left[\frac{(t-T_c)}{\tau}\right]^2} \quad (2.4)$$

โดยที่ A คือ ขนาดของสัญญาณ

τ คือ ค่าตัวแปรของสัญญาณพัลส์ (Pulse Shape parameter)

T_c คือ ค่าคาบเวลาของสัญญาณชีพ



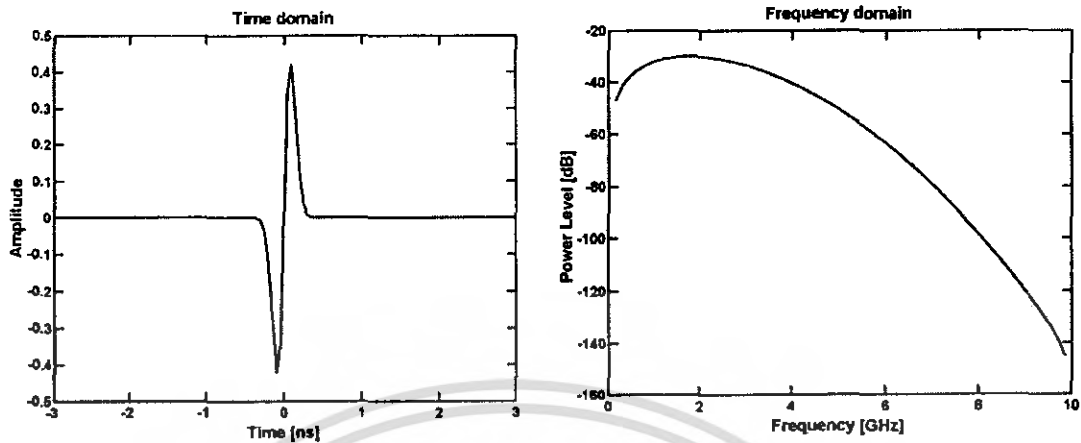
รูปที่ 2.6 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนทั้งในโดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิล (Gaussian monocycle pulse)

สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลนั้นจะมีรูปร่างของสัญญาณคล้ายกับสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนอันดับที่ 2 โดยที่สัญญาณพัลส์นี้สามารถสร้างได้จากสมการที่ (2.5) โดยที่ตัวแปรต่างๆ ในสมการนี้จะเหมือนกับตัวแปรที่ได้อธิบายมาก่อนแล้วในสมการที่ (2.4) และรูปร่างของสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลจะแสดงในรูปที่ 2.7

$$s(t) = \frac{2A}{\tau} \sqrt{e^{-(t-T_c)/\tau}} \times e^{-2\pi\left[\frac{(t-T_c)}{\tau}\right]^2} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

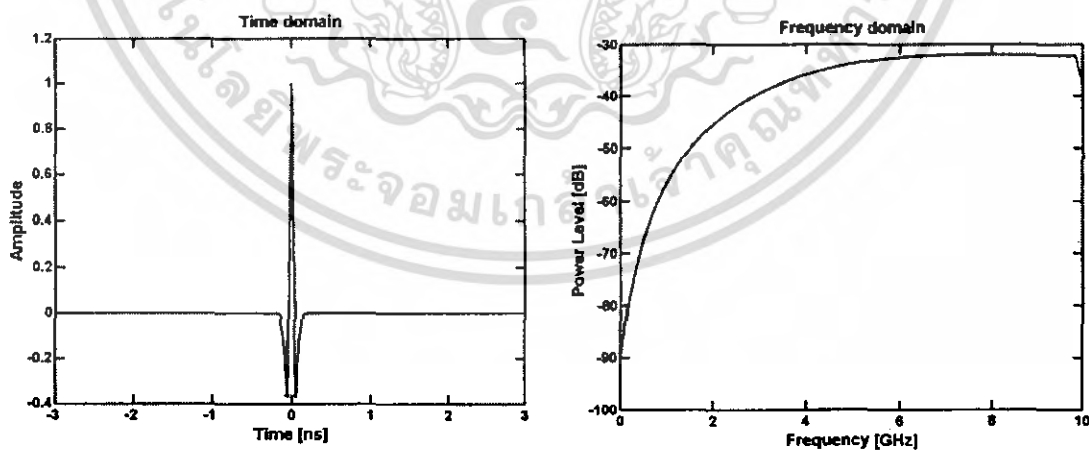


รูปที่ 2.7 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล (Gaussian doublet pulse)

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิลเป็นสัญญาณที่ได้จากการหาอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน ซึ่งสัญญาณแบบเกาส์เซียนดับเบิลสามารถสร้างได้จากสมการที่ (2.6)

$$s(t) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] e^{-2\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.8 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

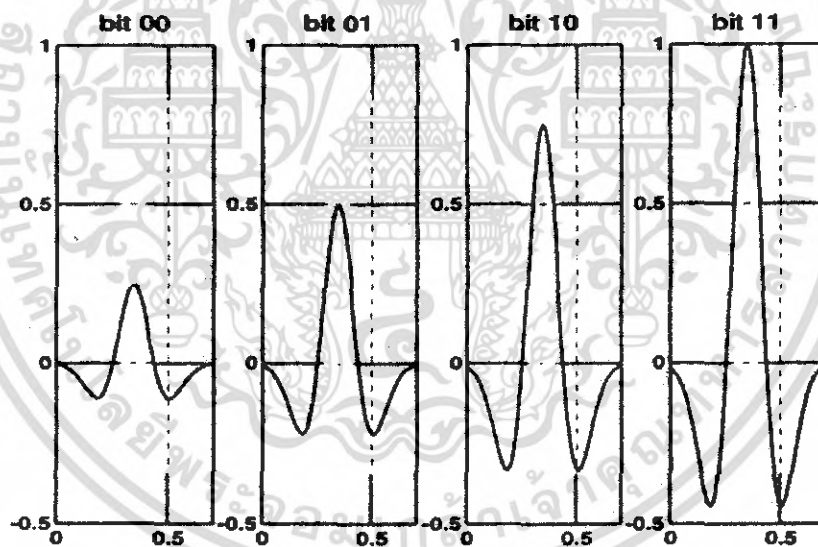
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

ในการส่งสัญญาณข่าวสารในระบบการสื่อสาร UWB นั้นสามารถทำการมอดูเลตได้หลายวิธีแต่ที่นิยมนำมาใช้มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาดของสัญญาณ (Pulse Amplitude Modulation) การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (Pulse Position Modulation) และการมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi-Phase Modulation) เป็นต้น

2.5.1 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (Pulse Amplitude Modulation :PAM)

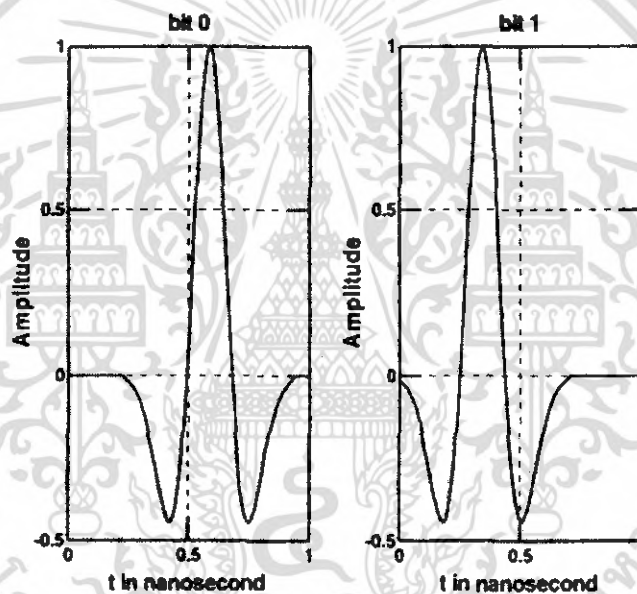
การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (PAM) นั้นจะอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในรูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณข้อมูลในระบบการสื่อสาร UWB ที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ ตามขนาด โดยมีทั้งหมด 4 ระดับ ซึ่งการมอดูเลตตามขนาดนั้นจะมีข้อเสียในด้านอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ

2.5.2 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (Pulse Position Modulation :PPM)

การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยที่ในรูปที่ 2.10 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งแบบ 2 ตำแหน่ง โดยที่ในรูปที่ 2.10 นั้นบิต “0” จะแทนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่อยู่หลังตำแหน่งปกติ (Nominal-Position) และบิต “1” จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งปกติ โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์



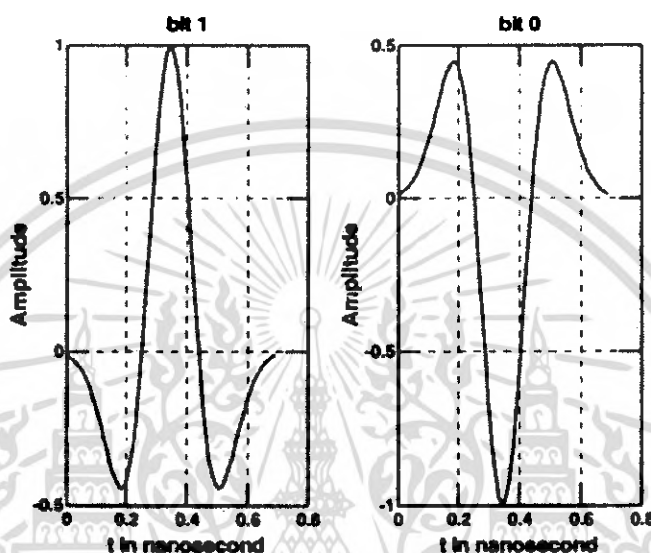
รูปที่ 2.10 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามตำแหน่ง

83137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi-phase Modulation : BPSK)

การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟสนั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์ โดยในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟสแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบสองเฟส

2.6 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการขยาย ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบ จนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำ ยกตัวอย่างเช่น แบนด์วิดท์ 10:1 แสดงว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูง มีค่ามากกว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำอยู่ 10 เท่าสำหรับสายอากาศแบนด์วิดท์แคบๆ แบนด์วิดท์ที่จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำหารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น) เช่น แบนด์วิดท์ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศ เป็น 5% ของความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ตามคุณสมบัติได้อย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียวได้ จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไป ปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทิร์นกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ มักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศนอกจากนี้แบนด์วิดท์ของอัตราขยายจะมีแบนด์วิดท์ค่าเดียวกับแพทเทิร์นแบนด์วิดท์ ในขณะที่แบนด์วิดท์ของอินพุทอิมพีแดนซ์ และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นค่าเดียวกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์

2.7 การนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งาน

เทคโนโลยี UWB คือเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ที่ใช้แถบความถี่ในช่วงตั้งแต่ความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และมีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดเท่ากับ 110 Mbps ภายในรัศมี 10 เมตร และ 480 Mbps ภายในรัศมี 2 เมตร จะเห็นได้ว่า UWB สามารถให้อัตราการส่งข้อมูลสูงกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก และในการใช้งานจริงเราสามารถนำ UWB มาประยุกต์ใช้งานได้ 2 โหมด เมื่อเราแบ่งตามอัตราการส่งข้อมูล คือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลสูง หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลเกินกว่า 100 Mbps ในระยะใกล้ อีกโหมดคือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลต่ำและค้นหาตำแหน่งหมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลลดลงเพื่อเพิ่มระยะการสื่อสารไร้สายสามารถใช้บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำเพื่อว่าในอนาคตเราสามารถนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งานต่างๆได้ ดังนั้นจึงแบ่งการใช้งานในอุตสาหกรรมและการบริการเป็นดังนี้

2.7.1 โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง

โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง คือโครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายปานกลางมีอัตราการส่งข้อมูลที่มีความเร็ว 100-150 Mbps ภายในระยะ 1 ถึง 10 เมตร สถาปัตยกรรมหลักที่ใช้ในการสื่อสารเป็นแบบเพียร์ทูเพียร์ (Peer-To-Peer) และใช้ รีเลย์/บริดจ์ (Relay/ Bridge) ในการเชื่อมโยงกับโครงข่ายภายนอก ซึ่งจะแบบไร้สาย หรือใช้สายเคเบิลก็ได้

2.7.2 การเชื่อมโยงอินเทอร์เน็ตไร้สาย

การเชื่อมโยงอินเทอร์เน็ตไร้สาย (WEIL) เป็นการขยายแนวคิดเพิ่มเติมจากการส่งสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง (HDR) ให้สูงยิ่งขึ้นไปอีก (1Gbps, 2.5 Gbps) ซึ่งการเชื่อมโยงไร้สายนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ในวงจำกัดการดำเนินงานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายแบบนี้จะสามารถทำได้ภายในระยะสั้นมาก หรือภายในรัศมี 1-2 เมตร การเชื่อมโยงอินเทอร์เน็ตไร้สายเกิดขึ้นได้มาจากความต้องการของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องการให้การเชื่อมโยงโครงข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้สายเคเบิล เปลี่ยนไปใช้แบบไร้สายแทน และจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ต้องการให้การส่ง สัญญาณวีดีโอแบบไร้สายระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับฉาก LCD มีคุณภาพสูง

2.7.3 โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ

โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะคือโครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายสูง ที่อยู่เป็นพื้นที่ภายในหรือพื้นที่สำนักงานทั่วไป ภายในระยะ 30 เมตร

2.7.4 โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์

โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์ เป็นโครงข่ายสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร UWB ที่อยู่บริเวณภายนอก เป็นไปตามความต้องการของตลาดการให้บริการที่จะเกิดขึ้นมาใหม่ สำหรับเครื่อง PDA ที่จะส่งข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันและอย่างร้านให้บริการข้อมูลดิจิทัลความเร็วสูง สำหรับดาวน์โหลดข้อความหนังสือพิมพ์ รูปภาพ การให้บริการเช่าม้วนเทป VDO, VCD, DVD เป็นต้น

2.8 ข้อดีข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

2.8.1 ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

- มีแบนวิดท์ (Bandwidth) ของสัญญาณมากกว่าเทคนิคอื่นๆ เช่น Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ด้วยแบนด์วิธที่กว้างนี้รวมกับความหนาแน่นของสเปกตรัมของกำลังที่มีค่าน้อยทำให้ Ultra Wideband สามารถใช้ความถี่ร่วมกับระบบอื่นๆ ที่อยู่ในช่วงเดียวกันได้

- การรบกวนจากภายในระบบเองมีค่าน้อยมาก ทำให้สามารถนำระบบที่ใช้ Ultra Wideband จำนวนมากมาใช้ร่วมกันได้ในบริเวณที่กำหนด

- จากการที่ใช้พัลส์ที่มีช่วงแคบทำให้ระบบแบบแถบกว้างยิ่งไม่ได้รับผลจาก Multipath มากนักพัลส์ที่สะท้อนกลับนั้นจะไม่เกิดการซ้อนทับกันจึงไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน

- สามารถให้ข้อมูลข่าวสารในด้านระยะทางที่มีความถูกต้องสูง (น้อยกว่าเซ็นติเมตร)ทำให้สามารถบอกตำแหน่งได้โดยใช้ตัวส่งหลายตัวมาทำงานพร้อมกัน หรือแม้แต่การค้นหาคำแหน่งที่ต้องการซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สายอากาศต่อกันหลาย ๆ อัน

- มีอัตราการส่งข้อมูลได้สูงกว่าและสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่า เพราะวาระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยังมีแบนวิทท์กว้าง และมีการส่งแบบ Pulse ของสัญญาณที่แคบมากจึงทำให้การส่งสัญญาณเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และมีความสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมาก

- มีการใช้พลังงานน้อยในการส่งสัญญาณ เพราะระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยังได้ถูกกำหนดค่ากำลังงานการแพร่กระจายออกของสัญญาณไว้ที่ -41.3 dbm/MHz เพื่อที่ไม่ให้สัญญาณไปรบกวนกับระบบของ IEEE 802.11a

- มีความสามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี ไม่ว่าจะเป็นกำแพง หรือมนุษย์ เพราะวาระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยังมีการส่งผ่านช่องสัญญาณที่เป็นลักษณะของ Slow Fadingเนื่องจาก มีช่วงแบนวิทท์กว้างมาก

- มีราคาถูกลง เพราะที่วงจรภาครับของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยังไม่มียจร Mixer (VCO, PLL) IF และ LNA

- ยากต่อการขโมยข้อมูล เพราะวาระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยังมีการใช้ช่วงความถี่ที่กว้างมาก และช่วงความถี่พัลส์ที่แคบมาก ๆ

2.8.2 ข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้าง

- เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ Distortion ได้ในการส่ง เนื่องจากการส่งแบบ Pulse อาจจะทำให้เกิด Distortion ได้

- ระบบสัญญาณที่ใกล้เคียงกับ Noise อาจจะทำให้เกิดการ Mismatch กันได้

- อุปกรณ์ อาจไม่สามารถใช้งานได้ทั่วโลก เนื่องจากช่วงความถี่ UWB มีความถี่ที่กว้าง ทำให้ผู้ผลิตในแต่ละประเทศออกแบบอุปกรณ์ของตนให้สามารถรับความถี่ในช่วงต่างๆ ที่แตกต่างกัน ทำให้อุปกรณ์ของประเทศหนึ่ง อาจจะไม่สามารถใช้ในอีกประเทศหนึ่งได้

- เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน และยังมีอุปกรณ์หรือโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ที่มาสนับสนุนระบบยังมีน้อยอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งผู้ผลิตรายต่างๆ ก็กำลังแข่งขันกันพัฒนาอุปกรณ์หรือโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ เพื่อที่ให้เทคโนโลยีบริษัทตนเป็นที่ยอมรับในวงกว้าง และเพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้ ดังนั้น อุปกรณ์ของบริษัทต่าง ๆ

ที่ผลิตมาจะไม่สามารถรองรับอุปกรณ์ของบริษัทหนึ่งได้ จนกว่า เทคโนโลยี จะเป็นรูปแบบเดียวกันทั้งหมดซึ่งคงอาจจะต้องใช้เวลาอีกหลายปี

2.9 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งหรือ Ultra wideband ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิธของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา UWBWG และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป ETSI หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ ITU เป็นต้น ซึ่งเป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของเทคโนโลยีนี้

UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ได้รับความนิยมที่จะใช้ในระบบการสื่อสารที่ต้องการอัตราส่งข้อมูลที่สูง เนื่องจากระบบการสื่อสารประเภทนี้ใช้แบนด์วิธในการส่งข้อมูลที่มีขนาดที่กว้างมาก และทำให้สามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมาก โดยระบบการสื่อสารประเภทนี้จะไม่มีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณพาห์ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องส่งกำลังสูง ซึ่งส่งผลทำให้เครื่องส่งและเครื่องรับในระบบการสื่อสารนี้ใช้ต้นทุนที่ต่ำ สัญญาณที่ใช้ในการส่งในระบบการสื่อสารประเภทนี้จะใช้สัญญาณพัลส์ที่มีคาบสัญญาณที่สั้นมากในการส่งข้อมูล ในส่วนของการมอดูเลตสัญญาณในระบบการสื่อสารนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง และการมอดูเลตแบบสองเฟส จากการที่ระบบการสื่อสารนี้สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง ดังนั้นระบบการ

จากการศึกษาที่ผ่านมาในหน่วยนี้ ผู้ศึกษาได้เข้าใจถึง ค่าการสูญเสียกำลังงานที่เรียกว่า ค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายในอากาศว่าง (Free-Space Propagation Loss) ซึ่งเกิดจากการแยกจากกันระหว่างสายอากาศสองตัว และได้เรียนรู้คุณลักษณะของสายอากาศปากแตรทรงพีระมิดเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะค่าความกว้างลำครึ่งกำลัง ค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง ค่าพื้นที่ประสิทธิผลและค่าอัตราขยายของสายอากาศชนิดนี้ และที่สำคัญได้เข้าใจวิธีการคำนวณเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศด้วยวิธีแทนที่ (Substitution Method)

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการ

3.1 สาเหตุและที่มา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารเป็นสิ่งที่เป็นโดยเฉพาะเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่จะอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานได้มากขึ้น และเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยังเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญและน่าจะนำมาทำการศึกษา โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและทดสอบการกระจายของสัญญาณในการส่งผ่านแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง ในกรณีที่สายอากาศตัวส่งตัวรับทำมุมกัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบต่าง ๆ ที่มีอยู่ต่อรูปสัญญาณ เพื่อนำไปอ้างอิงในการออกแบบใช้งานจริงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

โดยในการออกแบบแบบจำลองนั้นได้พยายามที่จะออกแบบจำลองที่สามารถอธิบายการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผนังอาคาร ซึ่งในการนี้จึงได้สร้างผนังอิฐขึ้นมาเพื่อใช้เป็นแบบจำลอง ทั้งนี้ในการสร้างแบบจำลองได้พิจารณาส่วนของทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงด้วยทฤษฎีแบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นที่สำคัญ

3.2 พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ

3.2.1 หลักทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสในระบบคลื่นวิทยุ UWB

เป็นสมการเพื่อใช้หาฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ในอากาศว่าง (Free space) ในการหารูปแบบของสัญญาณการส่งผ่าน ได้พิจารณาจากฟังก์ชันการส่งผ่าน H_{Friss}

$$H_{Friss}(f, d) = \frac{V_r(f)}{V_t(f, d)} = H_f(f, d)H_r(f)H_t(f) \quad (3.1)$$

โดยที่	H_f	คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ในอากาศว่าง
	H_r	คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านรับ
	H_t	คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านส่ง
	V_r	คือ ค่าพลังงานของสัญญาณทางด้านรับ
	V_t	คือ ค่าพลังงานของสัญญาณทางด้านส่ง
	f	คือ ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

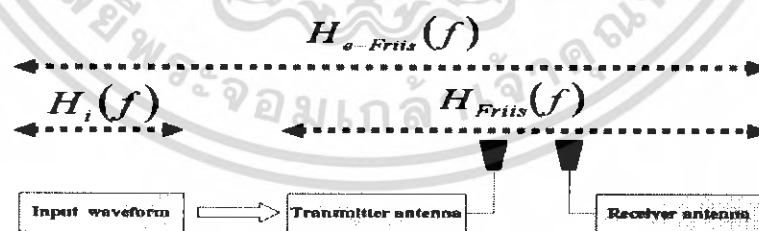
d คือ ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ

จากการที่สายอากาศมีทิศทางในการแพร่กระจายสัญญาณทำให้ค่าของการถ่ายโอนของอากาศว่างต้องมีการระบุรูปแบบเสียใหม่มีดังนี้

$$H_f(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp^{-jkd} \tag{3.2}$$

เมื่อ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ และ $\lambda = \frac{c}{f}$
 $\lambda =$ ความยาวคลื่น
 $c =$ ความเร็วแสงเท่ากับ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

เนื่องด้วยหลักการของฟรีสที่ได้กล่าวมาข้างต้น ไม่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างด้านส่งกับด้านรับได้ทำให้ไม่สามารถพิจารณาการผิดพลาดของสัญญาณได้ เพราะว่ามีสมการของข้างต้นที่ได้พูดไปแล้วนั้นไม่มีสัญญาณด้านอินพุตมาเกี่ยวข้องจึงต้องมีการปรับแต่งประยุกต์ให้เหมาะสมกับความต้องการเสียใหม่โดยสมการที่ได้ เพราะว่ามีสมการที่ 3.3 นั้นไม่มีสัญญาณด้านอินพุตมาเกี่ยวข้องจึงต้องมีการปรับแต่งประยุกต์ให้เหมาะสมกับความต้องการเสียใหม่ โดยสมการที่ปรับแต่งแล้วมีรูปแบบดังนี้



รูปที่ 3.1 การประยุกต์ใช้สมการของฟรีส

$$H_{e-Friis} = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_f H_t H_r \cdot H_i \tag{3.3}$$

โดยที่ $H_i =$ แทนค่าการถ่ายโอนของสัญญาณอินพุต นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่น คือ การคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ PL เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ 3.4

$$L_{dB} = 20 \log \left(\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right) \quad (3.4)$$

โดยที่ v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง
 v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max|v_t(t)|}{\max|v_r(t,d)|} \right] \quad (3.5)$$

โดยในสมการที่ 3.5 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log[\max|v_r(t,d)|] \quad (3.6)$$

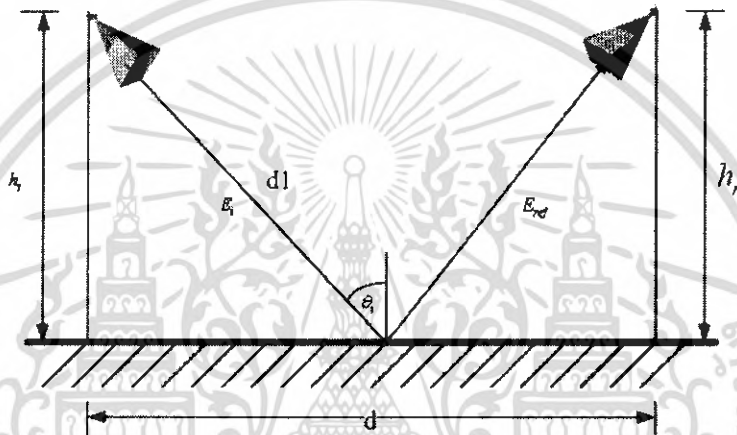
3.2.3 การสูญเสียเชิงวิถีเนื่องจากพื้นผิวเรียบ

ในส่วนต่อนี้จะกล่าวถึงผลกระทบของพื้นผิวดต่อการส่งผ่านสัญญาณ โดยเปรียบเทียบกับ การส่งผ่านสัญญาณในอากาศว่าง ทั้งนี้สมมติให้การส่งผ่านสัญญาณนี้เกิดขึ้นในบริเวณที่มีพื้นผิวเรียบไม่มีสิ่งก่อสร้างใดๆ หรือเนินเขาในบริเวณนั้นเลย ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จะประกอบด้วยสัญญาณเพียง 2 ส่วน คือ ส่วนที่แพร่มาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยตรงและส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนจากพื้นผิวดังที่แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นว่ามีความแตกต่างจากในกรณีของการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างตรงที่ได้รับสัญญาณเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งสัญญาณจากส่วนที่สะท้อนกับพื้นผิวและเราจะเรียกการสูญเสียของสัญญาณในสภาพแวดล้อมลักษณะนี้ว่า การสูญเสียเชิงวิถีเนื่องจากพื้นผิวเรียบ (Plane path loss)

ถ้าหากเราสมมติว่าพื้นผิวที่สะท้อนมีลักษณะราบเรียบและมีคุณสมบัติเป็นตัวนำที่เคลื่อนที่กระทบกับผิวจะสะท้อนออกเกือบทั้งหมดโดยที่มีเฟสเปลี่ยนไป 180 องศา



รูปที่ 3.2 แบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิวเรียบ

3.2.4 อัตราขยายเชิงวิถี (Path gain)

ในรายงานฉบับนี้จะใช้อัตราขยายเชิงวิถีมาใช้ในการวิเคราะห์หาการลดทอนของสัญญาณด้านรับ โดยอัตราขยายเชิงวิถีเป็นส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถีและสามารถคำนวณหาการสูญเสียเชิงวิถีในแบบจำลองการสะท้อนจากพื้นเป็นอัตราส่วนของขนาดของคลื่นที่สูงสุดของสัญญาณด้านส่งกับขนาดของคลื่นที่สูงสุดของสัญญาณด้านรับ ซึ่งสามารถเขียนในอยู่ในรูปเดซิเบลดังสมการที่ 3.7

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{\max |v_r(t)|}{\max |v_s(t)|} \right) \quad (3.7)$$

และ อัตราขยายเชิงวิถีเป็นส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถี ดังสมการที่ 3.4

$$G_p = 20 \log_{10} (\max |v_r(t)|) \quad (3.8)$$

โดย t คือเวลาที่สัญญาณด้านรับมาถึงสายอากาศด้านรับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

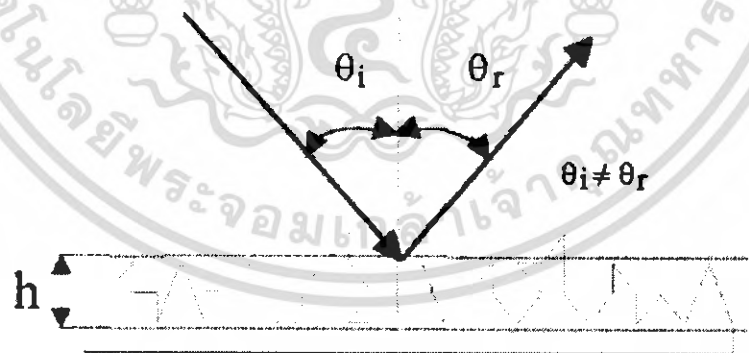
3.2.5 การกระจัดกระจาย (Scattering)

สัญญาณที่ถูกรับซึ่งมีอยู่ในเวลานี้ในสิ่งแวดล้อมของวิทยุเคลื่อนที่ได้ได้แรงกว่าการทำนายสัญญาณที่ถูกระงับและการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงหรือแสงที่ผ่านวัตถุบ่อยๆ เนื่องจากเวลาที่คลื่นวิทยุพุ่งชนบนผิวหยาบพลังงานที่ถูกสะท้อนถูกแพร่กระจายในทิศทางทั้งหมด(ขยายกว้าง)ทำให้เกิดการกระจัดกระจาย วัตถุอย่างเช่นตู้ไปรษณีย์โคมไฟหรือต้นไม้มักจะทำการกระจายพลังงานในทิศทางทั้งหมดและดังนั้นให้พลังงานวิทยุเพิ่มที่ตัวรับ

ผิวที่ราบเรียบที่มีการขนาดใหญ่กว่าช่วงคลื่นน่าจะถูกสร้างแบบในฐานะผิวที่มีลักษณะสะท้อน. อย่างไรก็ตามพื้นผิวที่มีความขรุขระน้อยเช่นนั้นทำให้เกิดความแตกต่างผลการแพร่กระจายจากการสะท้อน พื้นผิวที่มีความขรุขระน้อยใช้เกณฑ์ของเรย์ลี (Rayleigh) ที่ให้ค่าจำกัดความสูงของส่วนที่ยื่นออกหรือความสูงวิกฤต (h_c) ในรูปของมุมตกกระทบ (θ_i) บ่อยๆ

$$h_c = \frac{\lambda}{8 \cos \theta_i} \quad (3.9)$$

ดังนั้นถ้าในพื้นผิวไหน มีค่า h คือระดับความสูงของพื้นผิวมีค่ามากกว่า h_c จะสามารถกล่าวได้ว่าพื้นผิวนั้นเป็นพื้นผิวที่ขรุขระ แต่ถ้า h มีค่าน้อยกว่า h_c จะสามารถกล่าวได้ว่าพื้นผิวนั้นเป็นพื้นผิวที่เรียบ



รูปที่ 3.3 ลักษณะการสะท้อนบนพื้นขรุขระ

3.2.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

ในการตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็น โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ดังแสดงตามสมการที่ 3.10 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์สองของผลคูณระหว่างค่าอัตราสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ 3.11 ถึงสมการที่ 3.13

$$c = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{|r_a(\tau)|} \cdot \max |r_b(\tau)|} \quad (3.10)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้าม คือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_a(t) v_b(t + \tau) dt \quad (3.11)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตราสหสัมพันธ์

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_a(t) v_a(t + \tau) dt \quad (3.12)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_b(t) v_b(t + \tau) dt \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

แบบแผนการวัดและการทดลองงานวิจัย

4.1 ทฤษฎีสายอากาศปากแตร (Horn Antenna)

4.1.1 ค่าการสูญเสียจากการแผ่กระจายกำลังงานในอากาศว่าง (Free Space Propagation Loss)

การที่สายอากาศรับถูกเลื่อนให้ห่างออกไปจากตัวสายอากาศส่ง ทำให้ระดับของกำลังงานที่รับได้ มีค่าลดลงนั้น เป็นผลมาจากการสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายกำลังงานในอากาศอิสระ ซึ่งค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้ จะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าระยะทางยกกำลังสองระหว่างสายอากาศตัวส่งและตัวรับ ค่าการสูญเสียนี้ เรียกว่า ค่าการสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายกำลังงานในอวกาศว่าง ซึ่งแสดงในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$L_f (dB) = 10 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) \quad (4.1)$$

โดยที่ r คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ

λ คือ ความยาวคลื่นในอากาศอิสระ (มีหน่วยเท่ากับระยะทาง)

เมื่อกำหนดค่าความยาวคลื่น สมการ (1) จะแสดงให้เห็นว่า L_f ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองเท่านั้น ความสัมพันธ์นี้สามารถพิจารณาได้ด้วยการทดลอง โดยการส่งสัญญาณจากสายอากาศอันหนึ่ง และวัดกำลังงานที่รับได้ที่ระยะห่างต่างๆกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสายอากาศโดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติเจาะจงทิศทาง ดังนั้นทิศทางสายอากาศต้องเหมือนเดิมตลอดการทดลอง ถ้าเราทราบระยะห่างระหว่างสายอากาศที่แตกต่างกันออกไป เราจะทราบค่าการลดทอนของกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทางหนึ่งสัมพันธ์กับค่าการลดทอนที่รับได้จากอีกระยะทางหนึ่ง จึงสามารถคำนวณได้โดยง่าย โดยใช้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A(dB) = 20 \log \frac{r_1}{r_2} \quad (4.2)$$

เมื่อ A คือ ค่าการลดทอนกำลังงานที่มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

r_1 และ r_2 คือ ค่าระยะห่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

การกำหนดคุณลักษณะเชิงเลขของคุณสมบัติเชิงทิศทางของสายอากาศนั้น หลักการของค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) หรือค่าอัตราขยายเจาะจงทิศทาง (Directive Gain) จะถูกนำมาใช้พิจารณาเสมอ จากที่ได้ทำการศึกษามาแล้วในหน่วยที่ 2 เราทราบว่า ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ก็คือ ค่าความเข้มในการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุดในทิศทางที่กำหนดให้สัมพันธ์กับค่าความเข้มในการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศส่งแบบไอโซทรอปิก ซึ่งมีกำลังงานเท่ากันทุกทิศทาง และสายอากาศที่ไม่มีการสูญเสียนั้น อัตราขยายของสายอากาศ (Directive Gain) จะมีค่าเดียวกันกับค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

4.1.2 การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain Measurement)

การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายที่สุด ก็คือวิธีที่เรียกว่า วิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (Reference Antenna Method) หรือ วิธีการเปรียบเทียบ (Comparison Method) หรือวิธีการแทนที่ (Substitution Method) ซึ่งสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง (P_{ref}) กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ (P_{test}) ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{ref}} G_{ref} \quad (4.3)$$

เมื่อต้องการคำตอบ ให้มีหน่วยเป็น dB ก็จะสามารถหาได้จากสมการ

$$G_{test} (dB) = P_{test} (dB) - P_{ref} (dB) + G_{ref} (dB) \quad (4.4)$$

ก่อนที่จะนำวิธีการแทนที่มานำใช้นั้น เราจะต้องเปรียบเทียบเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ในการอ้างอิงเสียก่อน โดยการใส่สายอากาศสองตัวที่เหมือนกันทุกประการมาเป็นสายอากาศรับและส่ง จากนั้นวัดค่ากำลังงานที่ส่งออกไปและค่าของกำลังงานที่รับได้ นำมาคำนวณหาค่าอัตราขยาย ซึ่งจะเป็นอัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{rec}}{P_o}} \quad (4.5)$$

- เมื่อ G คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่จะใช้เป็นตัวอ้างอิง
 r คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง
 P_{rec} และ P_o คือ กำลังงานที่รับได้และกำลังงานที่ส่งออกไป ตามลำดับ
 λ คือ ความยาวคลื่นในอากาศ (หน่วยเดียวกันกับระยะทาง)



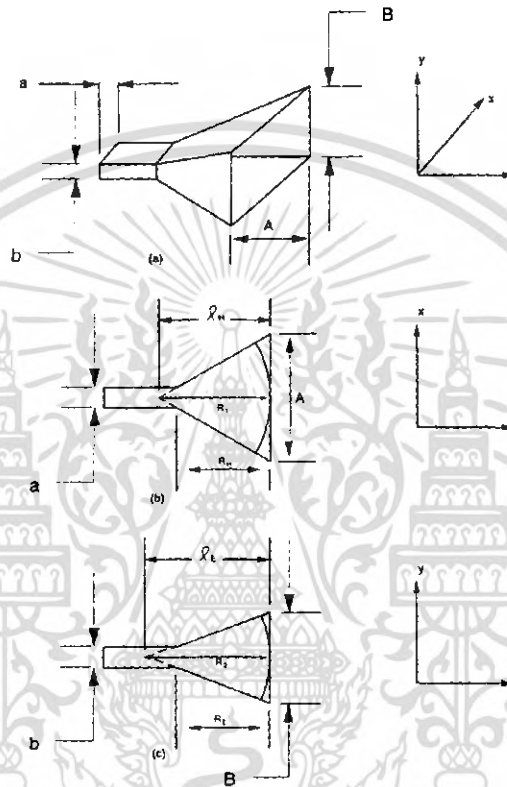
รูปที่ 4.1 สายอากาศปากแตร (Horn Antenna)

สายอากาศปากแตรทรงพีระมิดมักจะถูกใช้เป็นสายอากาศอ้างอิงในการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ เนื่องจากค่าอัตราขยายของสายอากาศสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำจากขนาดทางกายภาพของตัวสายอากาศเอง สำหรับสายอากาศปากแตรแบบเซกเตอร์นั้น ส่วนของปากแตรจะกางออกไปในระนาบใดระนาบหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจัดเป็นสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดกรณีพิเศษ ส่วนสายอากาศปากแตรชนิดอื่นที่ไม่ได้แสดงในที่นี้ ได้แก่ สายอากาศปากแตรทรงกรวย ซึ่งจะใช้กับท่อนำคลื่นวงกลม

คุณลักษณะของสายอากาศปากแตรแบบเซกเตอร์จะใกล้เคียงกับสายอากาศปากแตรทรงพีระมิดอย่างมาก ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศเซกเตอร์ดังกล่าวจะใช้วิธีการประมาณค่าอัตราขยายของสายอากาศปากแตรทรงพีระมิดจากขนาดทางกายภาพของมัน

4.1.3 สายอากาศปากแตรทรงพีระมิด (Pyramidal Horn Antenna)

สายอากาศปากแตรทรงพีระมิดเป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง มีรูปทรงเรขาคณิต ดังรูป



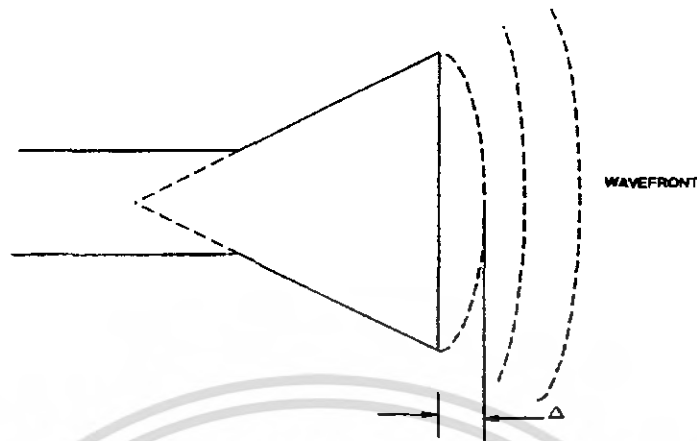
รูปที่ 4.2 สายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด

ท่อนำคลื่นสามารถแผ่กระจายกำลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้หลายโหมด (Mode) โดยมีจำนวนของโหมดที่ไม่สิ้นสุด แต่ละโหมดจะมีองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเป็นเอกลักษณ์ของตัวเอง ถ้ามุมเปิดของปีกของสายอากาศปากแตรทรงพีระมิด มีขนาดเล็กเพียงพอ ก็จะมีเพียงโหมดการกระจายคลื่นเป็นใหญ่ที่เรียกว่า Dominant Mode เท่านั้น ที่สำคัญที่สุด

เส้นสนามของโหมดเป็นใหญ่นี้ ในกรณีที่เป็นสายอากาศปากแตรแบบเซกเตอร์ จะถูกแผ่ขยายออกไปในลักษณะของรูปทรงกระบอก (Cylindrical Form) และในกรณีที่เป็นสายอากาศปากแตรทรงพีระมิดถูกแผ่ขยายออกไปในรูปของทรงกลม (Spherical Form) ดังแสดง

ในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ค่าผิดพลาดเชิงเฟส (Phase Errors: Δ) อันเนื่องมาจากความโค้งของหน้าคลื่นในสายอากาศปากแตร

ในรูปที่ 4.3 ลักษณะของหน้าคลื่น (Wave Front) จะมีความโค้งไม่แบนราบ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดเชิงเฟส (Phase Errors) ซึ่งต้องนำมาคิดในการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศด้วย เราสามารถอธิบายค่าผิดพลาดเชิงเฟสนี้โดยใช้ค่าผิดพลาดของวิถีนอร์มัลไลซ์ (Normalized Path Errors) s และ t

$$s = \frac{\Delta_E}{\lambda} = \frac{B^2}{8\lambda \ell_E} \quad (4.6)$$

$$t = \frac{\Delta_H}{\lambda} = \frac{A^2}{8\lambda \ell_H} \quad (4.7)$$

เมื่อ s และ t คือ ค่าความผิดพลาดของวิถีนอร์มัลไลซ์

λ คือ ความยาวคลื่น

A , B , ℓ_E และ ℓ_H คือ ขนาดที่แสดงในรูปที่ 4.2

ค่าอัตราขยายโดยประมาณของสายอากาศปากแตรทรงพีระมิด สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

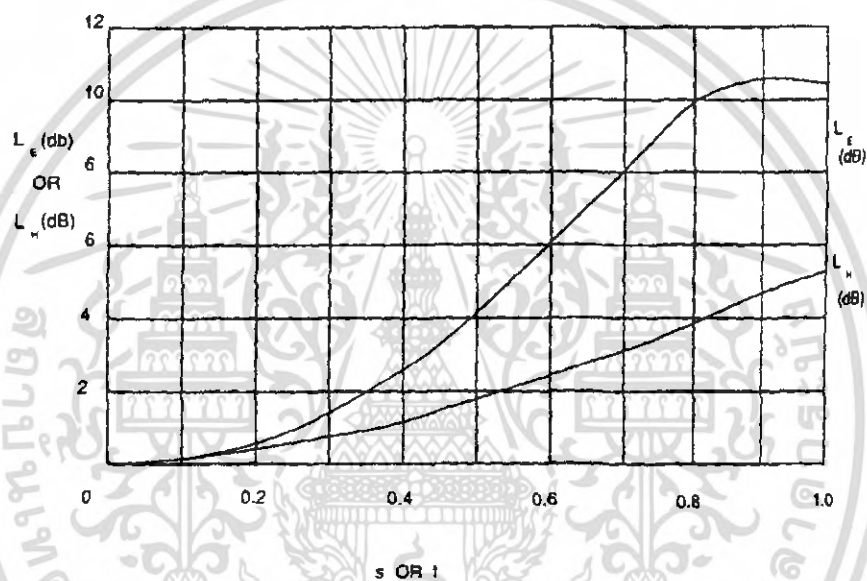
$$G = \frac{32}{\pi} \left(\frac{A}{\lambda} \right) \left(\frac{B}{\lambda} \right) L_E L_H \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ L_E และ L_H แสดงค่าสูญเสียเนื่องจากค่าผิดพลาดเชิงเฟส ที่เกิดจากการกางออกของปากแตรซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการในหน่วย dB ได้คือ

$$G(\text{dB}) = 10.08 + 10 \log \left[\left(\frac{A}{\lambda} \right) \cdot \left(\frac{B}{\lambda} \right) \right] - L_E(\text{dB}) - L_H(\text{dB}) \quad (4.9)$$

ค่าของ L_E (dB) และ L_H (dB) สามารถหาได้ โดยคำนวณค่าของ s และ t โดยใช้สมการ (2.14) และ (2.15) ออกมาก่อน จากนั้นอ่านค่า L_E (dB) และ L_H (dB) จากกราฟในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าส่วนประกอบการสูญเสีย (Loss Factor) ที่เกิดขึ้นในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

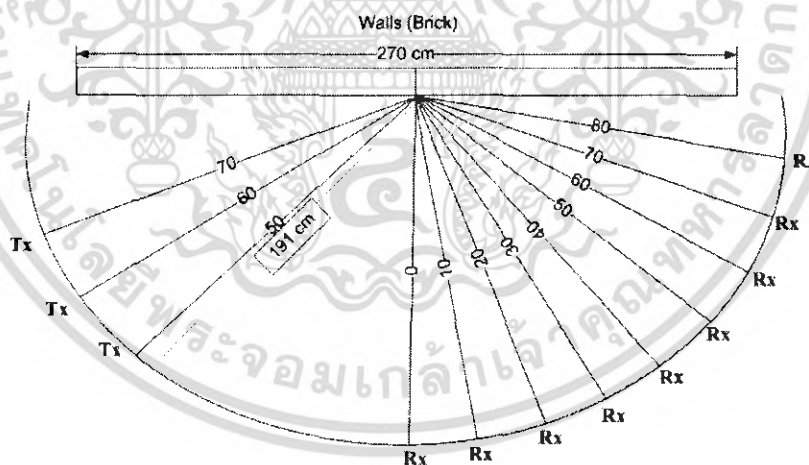
4.2 แบบจำลองการวัดการกระจัดกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โครงการนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การกระจัดกระจายของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้าง โดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzers (VNA) ทำการวัดในแถบความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz ความถี่สูงของสายอากาศทางด้านรับและด้านส่งกำหนดไว้ที่ 1.35 เมตร สายอากาศที่ใช้เป็นปากแตร (horn Antenna) ทั้งด้านส่งและด้านรับ

การวัดได้ทำการวัด ที่หน้าลิฟ ชั้น 12 ของอาคาร E-12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยให้สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับห่างจากกำแพง 1.91 เมตร ดังในรูปที่ 4.5 โดยทำการวัดในแบบจำลอง

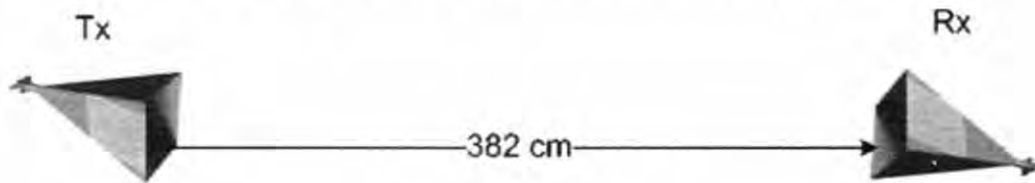
ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะนำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Math lab และนำเสนอในรูปแบบของค่าแมกนิจูด (magnitude), ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss), อัตราขยายเชิงวิถี (Path gain), การกระจัดกระจาย (Scattering), และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ในย่านแถบความถี่กว้าง โดยใช้ลักษณะการวางสายอากาศแบบจำลองต่าง ๆ จะเป็นไปตามดังนี้

4.2.1 สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองผิวขรุขระและผิวเรียบครั้งที่ 1



รูปที่ 4.5 มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบผิวขรุขระและผิวเรียบ

4.2.2 สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองแนวตรงครั้งที่ 1



รูปที่ 4.6 มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบแนวตรง

4.3 ขั้นตอนในการวัด

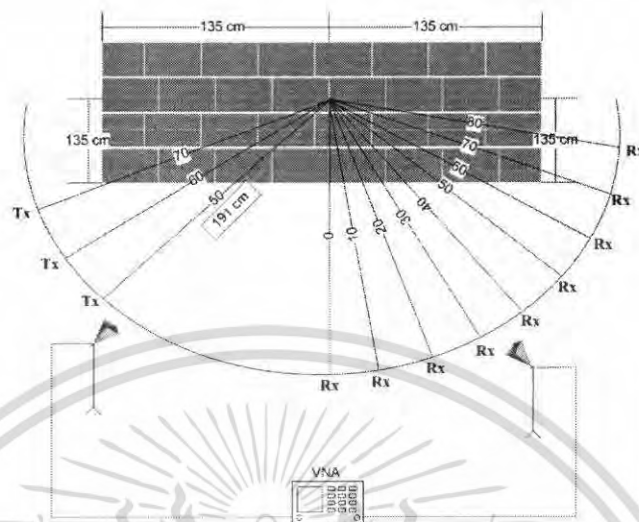
4.3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1

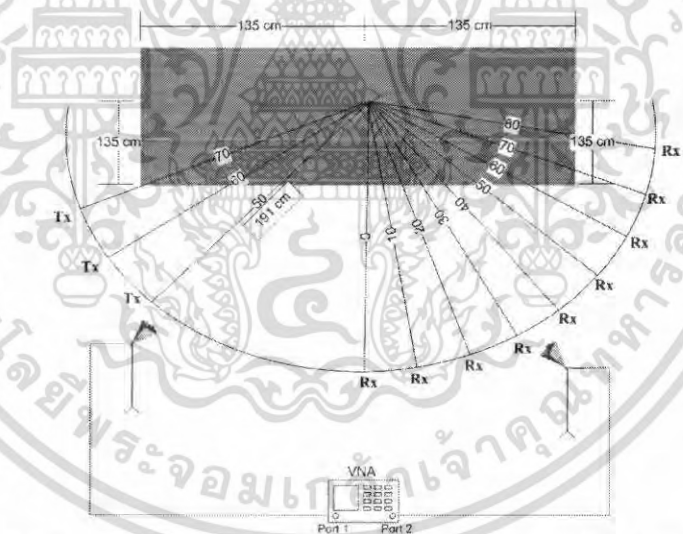
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ทดสอบ
ช่วงความถี่	3 GHz ถึง 11 GHz
จำนวนของจุดความถี่	801
ช่วงของกำลังของสัญญาณ	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านรับและด้านส่งสัญญาณ	135 cm
ช่วงของการเคลื่อนระยะของสายอากาศด้านรับ	0° ถึง 80°
ช่วงของการเคลื่อนระยะของสายอากาศด้านส่ง	50°, 60°, 70°
เคลื่อนสายอากาศด้านรับและด้านส่งครึ่งละ(เข้าหาพื้นผิว)	10°

4.3.2 ขั้นตอนในการวัดตามแบบจำลองครั้งที่ 1-1 และ 1-2

หลังจากจัดวางแบบจำลองดังรูปที่แสดงข้างต้นแล้ว กำหนดให้ผลการตอบสนองการ วัดจากเครื่อง Vector Network Analyzers ที่ความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz โดยให้พอร์ต 1 เป็นพอร์ตด้านส่ง และพอร์ต 2 เป็นพอร์ตด้านรับ กำหนดความสูงของสายอากาศที่ 1.35 เมตร โดยให้สายอากาศมีการเคลื่อนที่ทำมุม โดยในการบันทึกค่าตอบสนองความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz แต่ละครั้งทำด้วยเครื่อง Vector Network Analyzer ซึ่งควบคุมโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ลักษณะในการวัดสัญญาณตามแบบจำลองผนังผิวขรุขระครั้งที่ 1-1

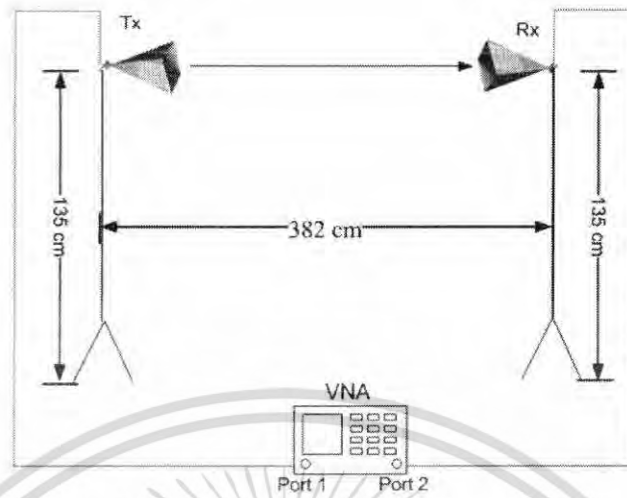


รูปที่ 4.8 ลักษณะในการวัดสัญญาณตามแบบจำลองผนังผิวเรียบครั้งที่ 1-2

4.3.3 ขั้นตอนในการวัดตามแบบจำลองครั้งที่ 1-3

ทำการวัดคล้ายกันแบบที่ 3 แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ ทำการวัดทางด้านส่งและด้านรับให้มีระยะห่างกันเป็นระยะทาง 382 cm โดยวัดอยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ลักษณะในการวัดสัญญาณตามแบบจำลองครั้งที่ 1-3

4.3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 2

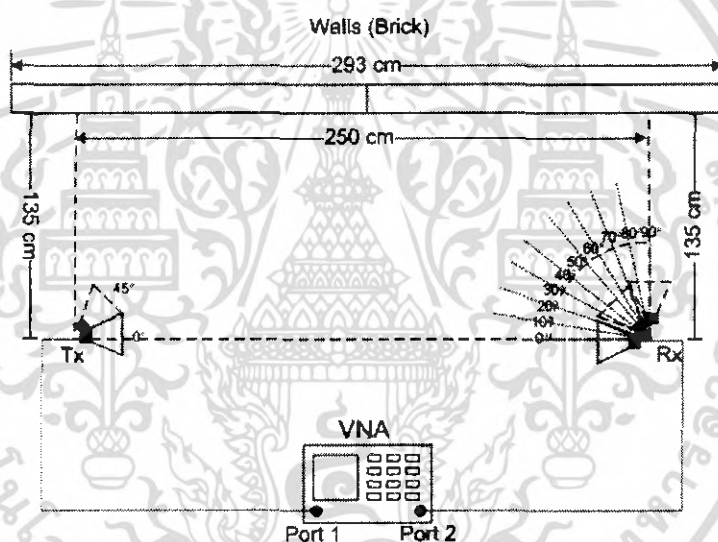
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ทดสอบ
ช่วงความถี่	3 GHz ถึง 11 GHz
จำนวนของจุดความถี่	801
ช่วงของกำลังของสัญญาณ	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านรับและด้านส่งสัญญาณ	135 cm
มุมสายอากาศรับที่ละ 10 องศา	0° ถึง 90°
มุมสายอากาศส่ง	0° & 45°
ความถี่ของผนังผิวขรุขระ	0.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ขั้นตอนในการวัดตามแบบจำลองครั้งที่ 2

หลังจากจัดวางแบบจำลองดังรูปที่แสดงข้างต้นแล้ว กำหนดให้ผลการตอบสนองการวัดจากเครื่อง Vector Network Analyzers ที่ความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz โดยให้พอร์ต 1 เป็นพอร์ตด้านส่ง และพอร์ต 2 เป็นพอร์ตด้านรับ กำหนดความสูงของสายอากาศที่ 1.35 เมตร โดยให้สายอากาศมีการเคลื่อนที่ท่ามุม โดยในการบันทึกค่าตอบสนองความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz แต่ละครั้งทำด้วยเครื่อง Vector Network Analyzer ซึ่งควบคุมโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

การวัดได้ทำการวัด ที่หน้าลิฟ ชั้น 12 ของอาคาร E-12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยให้สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับท่ามุมห่างจากกำแพง 1.91 เมตร ดังในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ลักษณะในการวัดสัญญาณตามแบบจำลองผนังผิวขรุขระและผิวเรียบ

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

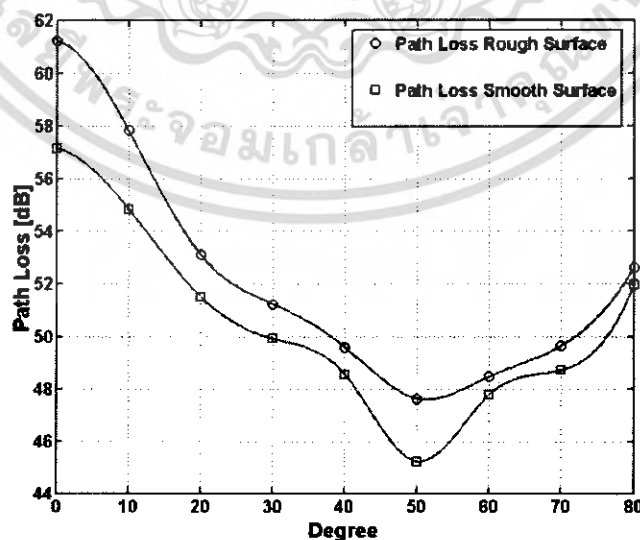
5.1 การวิเคราะห์สัญญาณ

สิ่งที่ได้จากการวัดสัญญาณ คือ ค่าของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ที่ 3 GHz ถึง 11 GHz ซึ่งได้นำผลนี้ไปทำการวิเคราะห์โดยประยุกต์ร่วมกับรูปสัญญาณที่ได้สร้างขึ้น ผลการวิเคราะห์จะแสดงออกมาในรูปแบบของ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss), อัตราขยายเชิงวิถี (Path gain), ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) และการกระจัดกระจาย (Scattering) เมื่อเปรียบเทียบกับมุม เพื่อดูค่าการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อเทียบกับสัญญาณทางด้านส่ง

5.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ

5.2.1 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 1 (มุม 50 องศา)

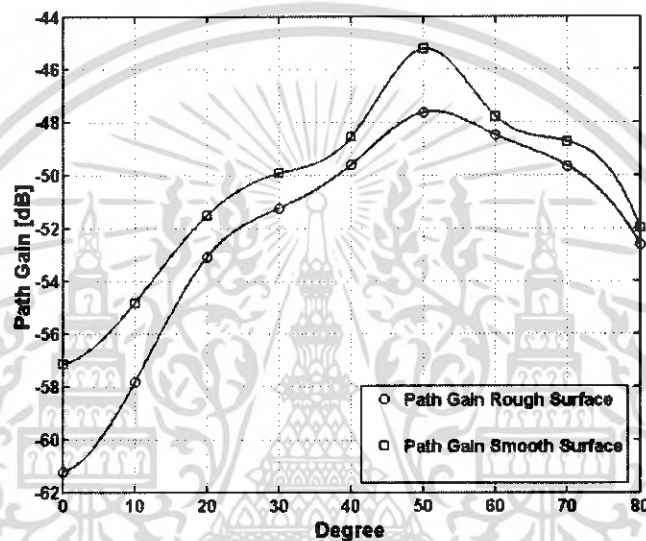
ในแบบจำลองครั้งที่ 1 กำหนดให้สายอากาศทางด้านตัวส่งทำมุม 50 องศา ส่วนสายอากาศทางด้านรับทำมุมตั้งแต่ 0 ถึง 80 องศา ตามลำดับ ผลจากการวัดและวิเคราะห์ได้แสดงตามรูปดังนี้



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 50 องศา

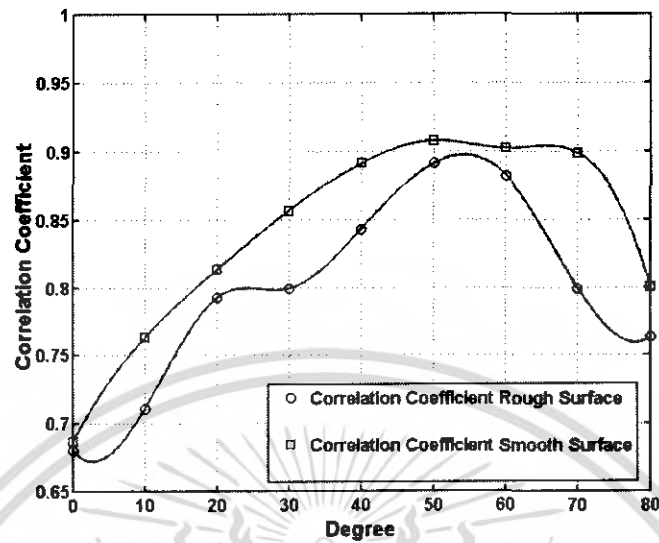
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบ จะเห็นได้ว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวเรียบมีค่าน้อยกว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด คือ จุดที่มีด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 50 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 47.62 dB และผนังผิวเรียบมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 45.22 dB



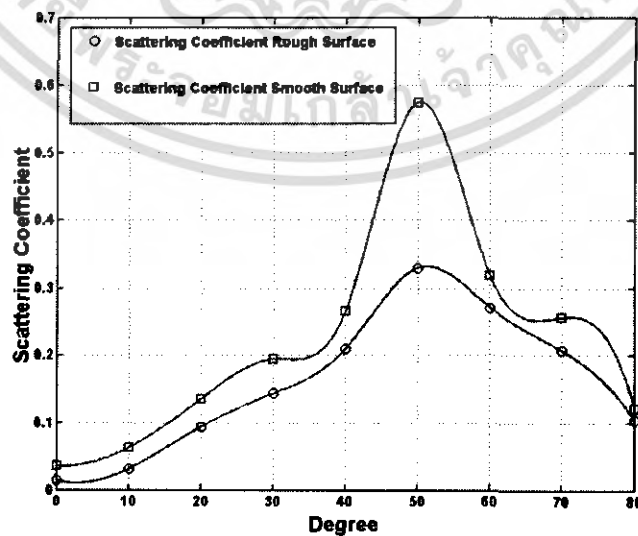
รูปที่ 5.2 ค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 50 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นได้ว่าอัตราการขยายของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าอัตราการขยายของผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าอัตราการขยายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 50 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าอัตราการขยายประมาณ -47.62 dB และผนังผิวเรียบมีค่าอัตราการขยายประมาณ -45.22 dB



รูปที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 50 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 50 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 89.12 % และผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 90.78 %



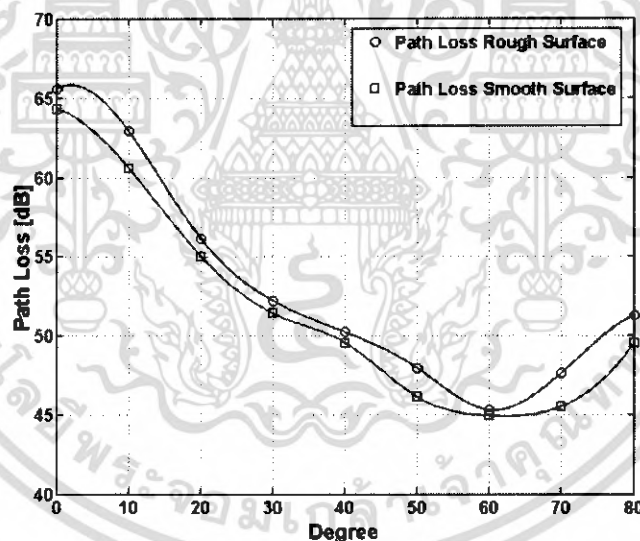
รูปที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายที่ตัวส่งทำมุม 50 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผนังผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผิวขรุขระ โดยจุดที่ค่าที่มีสัมประสิทธิ์การกระจายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 50 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายประมาณ 0.33 วัตต์ และที่ผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายประมาณ 0.5743 วัตต์

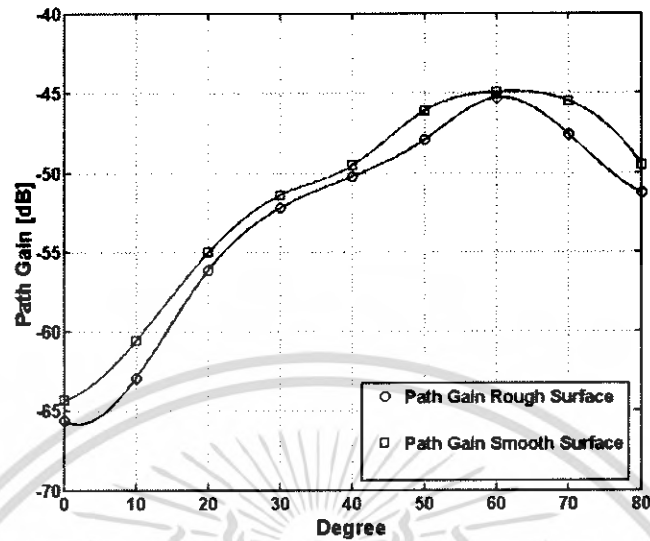
5.2.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 1 (มุม 60 องศา)

ในแบบจำลองครั้งที่ 1 กำหนดให้สายอากาศทางด้านตัวส่งทำมุม 60 องศา ส่วนสายอากาศทางด้านรับทำมุมตั้งแต่ 0 ถึง 80 องศา ตามลำดับ ผลจากการวัดและวิเคราะห์ได้แสดงตามรูปดังนี้



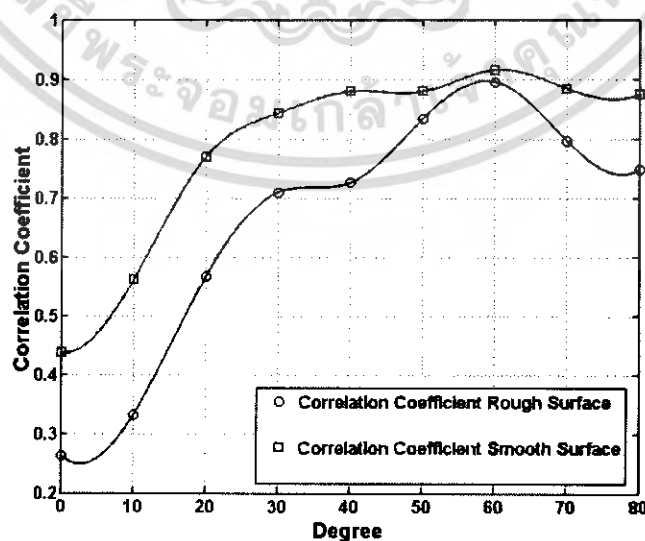
รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 60 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบ จะเห็นได้ว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวเรียบมีค่าน้อยกว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด คือ จุดที่มีด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 60 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 49.3 dB และผนังผิวเรียบมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 44.94 dB



รูปที่ 5.6 ค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 60 องศา

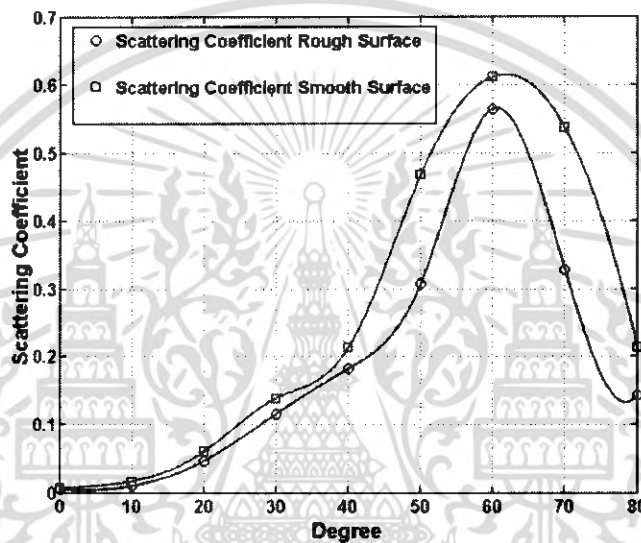
จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นว่าอัตราการขยายของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าอัตราการขยายของผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าอัตราการขยายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 60 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าอัตราการขยายประมาณ -44.94 dB และผนังผิวเรียบมีค่าอัตราการขยายประมาณ -45.3 dB



รูปที่ 5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 60 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 60 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 89.57 % และผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 91.59 %



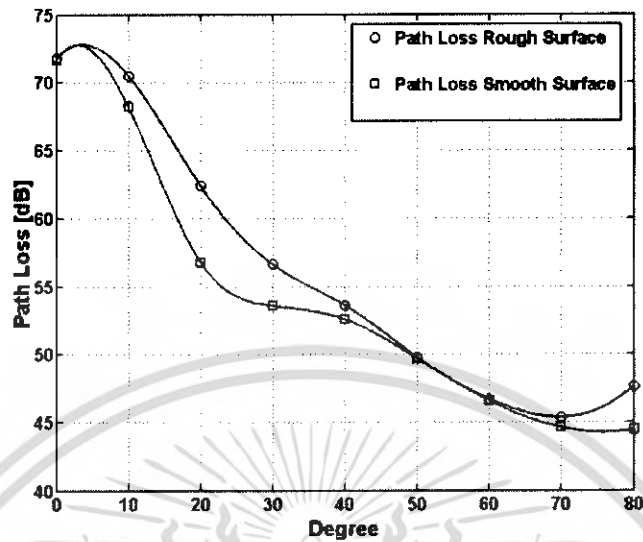
รูปที่ 5.8 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ตัวส่งทำมุม 60 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผนังผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผิวขรุขระ โดยจุดที่ค่าที่มีสัมประสิทธิ์การกระจายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 60 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายประมาณ 0.5643 วัตต์ และที่ผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายประมาณ 0.6117 วัตต์

5.2.3 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 1 (มุม 70 องศา)

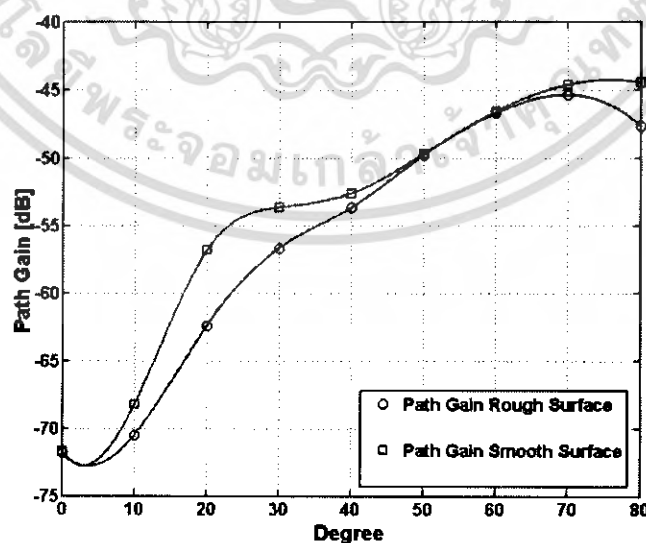
ในแบบจำลองครั้งที่ 1 กำหนดให้สายอากาศทางด้านตัวส่งทำมุม 70 องศา ส่วนสายอากาศทางด้านรับทำมุมตั้งแต่ 0 ถึง 80 องศา ตามลำดับ ผลจากการวัดและวิเคราะห์ได้แสดงตามรูปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



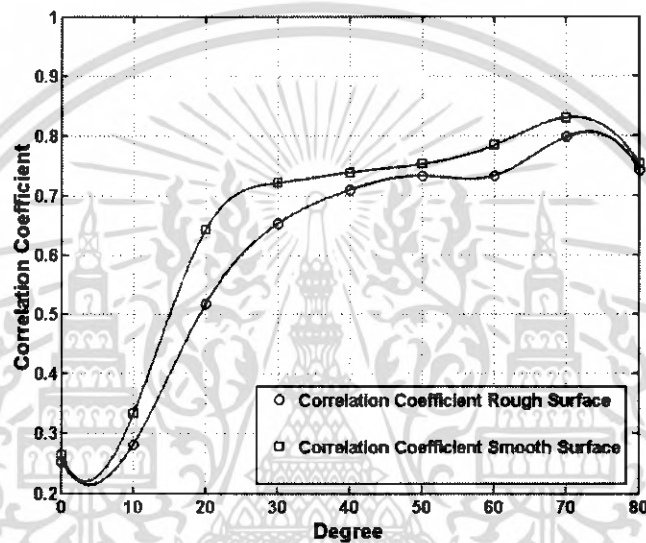
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 70 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบ จะเห็นได้ว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวเรียบมีค่าน้อยกว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด คือ จุดที่มีด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 70 องศาโดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 45.36 dB และผนังผิวเรียบมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 44.61 dB



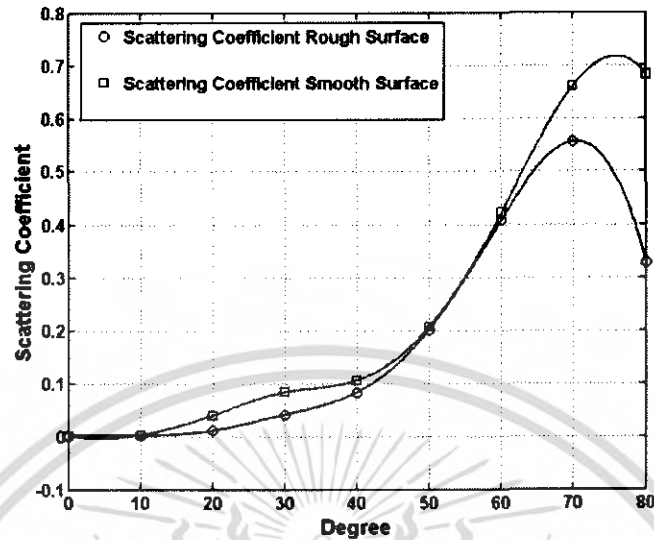
รูปที่ 5.10 ค่าอัตราขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 70 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นว่าอัตราการขยายของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าอัตราการขยายของผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าอัตราการขยายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 70 องศาโดยผนังผิวขรุขระมีค่าอัตราการขยายประมาณ -45.36 dB และผนังผิวเรียบมีค่าอัตราการขยายประมาณ -44.61 dB



รูปที่ 5.11 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 70 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่งจุดที่ทางด้านรับทำมุม 70 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 79.81% และผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 82.99%



รูปที่ 5.12 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายที่ตัวส่งทำมุม 70 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายระหว่างผนังผิวขรุขระ และผนังผิวเรียบจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายของผนังผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายของผิวขรุขระ โดยจุดที่ค่าที่มีสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 70 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายประมาณ 0.5558 วัตต์ และที่ผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายประมาณ 0.6606 วัตต์

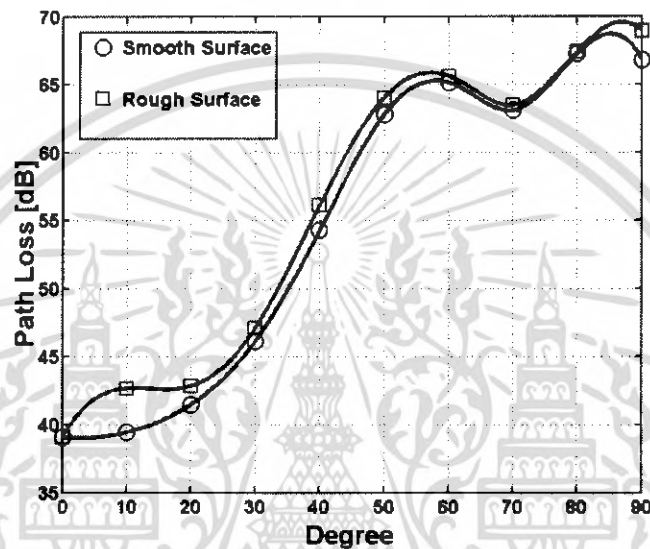
ตารางที่ 5.1 ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองต่างๆ

	แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่ 2		แบบจำลองที่ 3	
	ผิวขรุขระ	ผิวเรียบ	ผิวขรุขระ	ผิวเรียบ	ผิวขรุขระ	ผิวเรียบ
ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB)	47.62	45.22	45.94	45.36	45.36	44.61
ค่าอัตราขยาย (dB)	-47.62	-45.22	-45.3	-44.94	-45.36	-44.61
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (%)	89.12	90.78	89.57	91.59	79.81	82.99
ค่าสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจาย (w)	0.33	0.5743	0.5643	0.6117	0.5558	0.6606

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

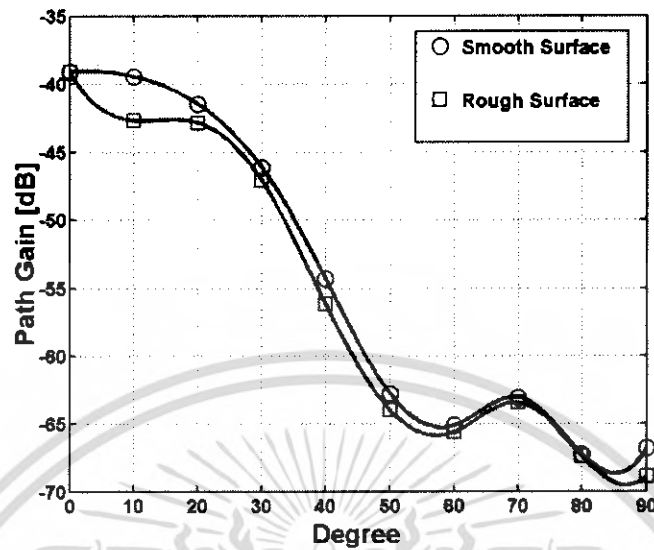
5.2.4 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 2 (ทางด้านตัวส่งทำมุม 0 องศา)

ในแบบจำลองครั้งที่ 2 กำหนดให้สายอากาศทางด้านตัวส่งทำมุม 0 องศา ส่วนสายอากาศทางด้านรับทำมุมตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา ตามลำดับ ผลจากการวัดและวิเคราะห์ได้แสดงตามรูปดังนี้



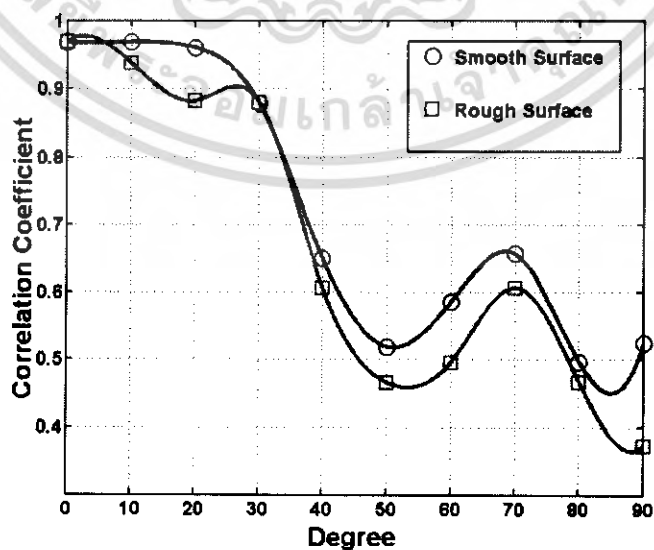
รูปที่ 5.13 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 0 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบ จะเห็นได้ว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวเรียบมีค่าน้อยกว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด คือ จุดที่มีด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 0 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 39.07 dB และผนังผิวเรียบมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 39.07 dB เหตุผลที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากันเพราะว่าทางด้านตัวส่งและทางด้านตัวรับทำมุมเท่ากัน จากนั้นตั้งแต่ทางด้านรับทำมุม 10 ถึง 90 องศา จะมีการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนมุมทางด้านรับทำมุม 70 องศา นั้น จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีลดลงมา เนื่องจากทางด้านรับหันเข้าหากำแพงพอดีกับมุมสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้รับสัญญาณได้มากจึงเกิดการสูญเสียเชิงวิถีลดลงมา



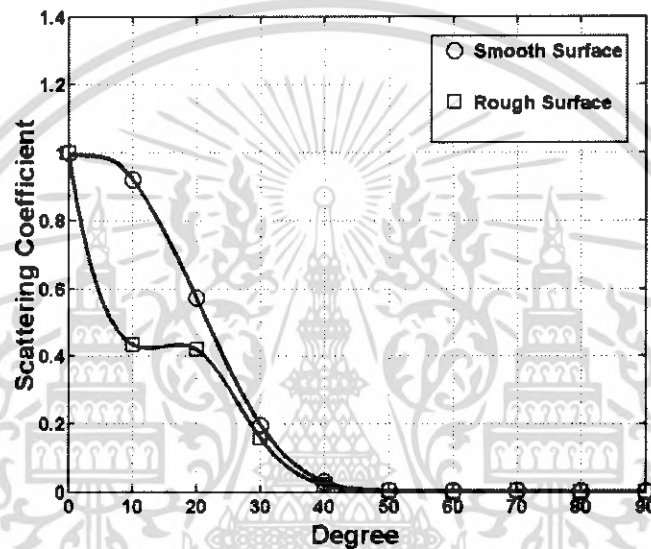
รูปที่ 5.14 ค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 0 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นว่าอัตราการขยายของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าอัตราการขยายของผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าอัตราการขยายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 0 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าอัตราการขยายประมาณ -39.07 dB และผนังผิวเรียบมีค่าอัตราการขยายประมาณ -39.07 dB



รูปที่ 5.15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 0 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผิวเรียบและผิวขรุขระมีค่าเท่ากัน โดยจุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 0 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 97 % และผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 97 %

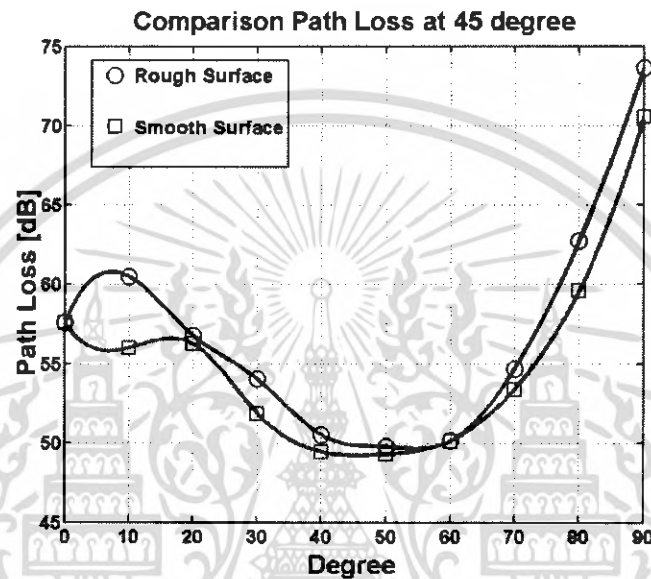


รูปที่ 5.16 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ตัวส่งทำมุม 0 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผนังผิวเรียบมีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผิวขรุขระ โดยจุดที่ค่าที่มีสัมประสิทธิ์การกระจายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเท่ากับด้านส่ง จุดที่ทางด้านรับทำมุม 0 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายประมาณ 0.9992 วัตต์ และที่ผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายประมาณ 0.9992 วัตต์

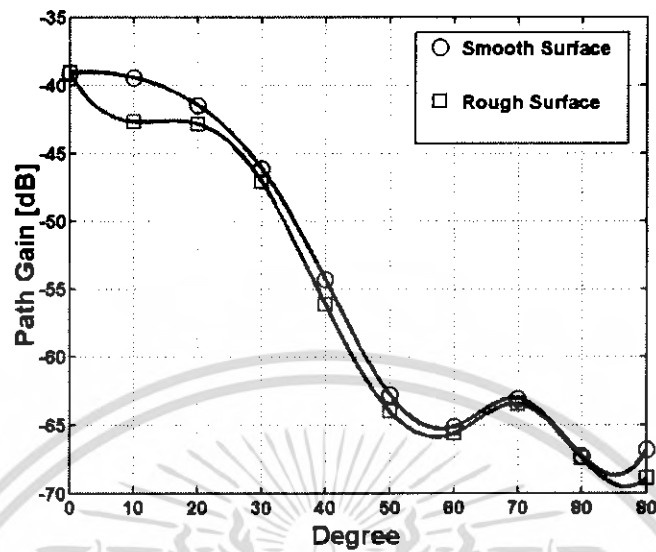
5.2.5 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองครั้งที่ 2 (ทางด้านตัวส่งทำมุม 45 องศา)

ในแบบจำลองครั้งที่ 2 กำหนดให้สายอากาศทางด้านตัวส่งทำมุม 45 องศา ส่วนสายอากาศทางด้านรับทำมุมตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา ตามลำดับ ผลจากการวัดและวิเคราะห์ได้แสดงตามรูปดังนี้



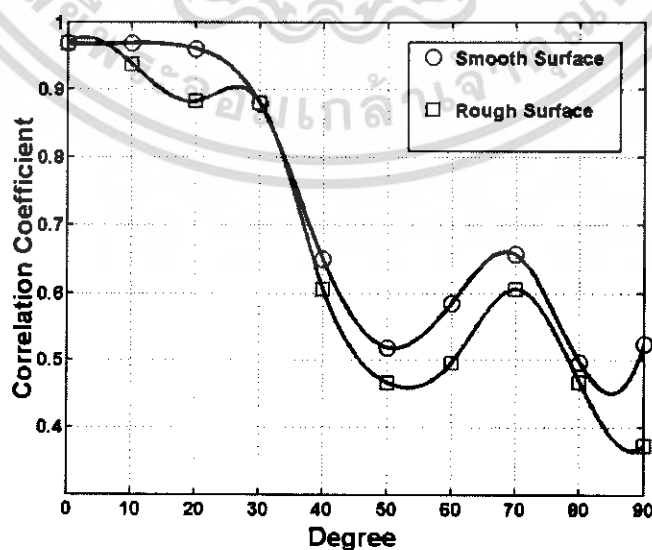
รูปที่ 5.17 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผิวขรุขระและผิวเรียบตัวส่งทำมุม 45 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบ จะเห็นได้ว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวเรียบมีค่าน้อยกว่าการสูญเสียเชิงวิถีของผนังผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุด คือ จุดที่มีด้านรับเข้าใกล้กับด้านส่งมากที่สุด คือ มุมทางด้านรับ 50 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 49.78 dB และผนังผิวเรียบมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 49.29 dB



รูปที่ 5.18 ค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 45 องศา

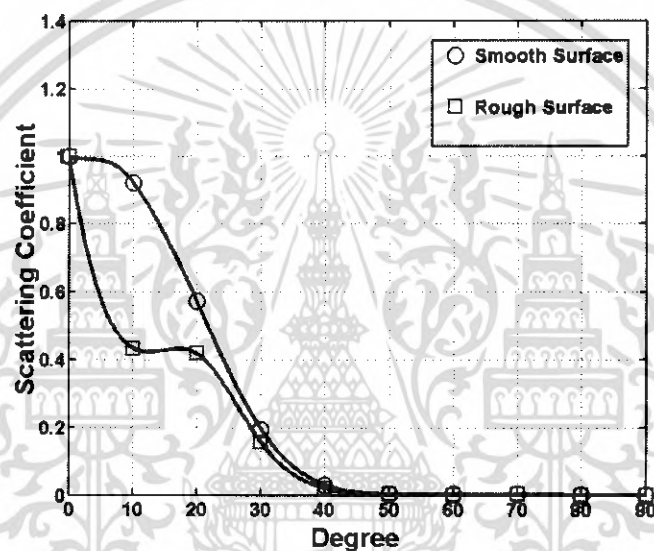
จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราการขยายระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นว่าอัตราการขยายของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าอัตราการขยายของผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าอัตราการขยายมากที่สุด คือ จุดที่มีด้านรับเข้าใกล้กับด้านส่งมากที่สุด คือมุมทางด้านรับ 50 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าอัตราการขยายประมาณ -49.78 dB และผนังผิวเรียบมีค่าอัตราการขยายประมาณ -49.29 dB



รูปที่ 5.19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระกับผนังผิวเรียบที่ตัวส่งทำมุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผนังผิวขรุขระและผิวเรียบจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผิวเรียบมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ผิวขรุขระ โดยจุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเข้าใกล้กับด้านส่งมากที่สุด คือมุมทางด้านรับทำมุม 50 องศา โดยผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 88.34 % ทางด้านรับทำมุม 60 องศา ของผนังผิวขรุขระ และผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 94.29 % ทางด้านรับทำมุม 50 องศา ของผนังผิวเรียบ



รูปที่ 5.20 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ตัวส่งทำมุม 45 องศา

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายระหว่างผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผนังผิวเรียบมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของผิวขรุขระ โดยจุดที่ค่าที่มีสัมประสิทธิ์การกระจายมากที่สุด คือ จุดที่มีมุมด้านรับเข้าใกล้กับด้านส่งมากที่สุด คือมุมทางด้านรับ 50 องศา โดยที่ผนังผิวขรุขระมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายประมาณ 0.0851 วัตต์ และที่ผนังผิวเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายประมาณ 0.9503 วัตต์

สรุปผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองต่างๆ จะเห็นได้ว่าผนังกำแพงมีผลต่อสัญญาณมาก ทั้งผนังผิวขรุขระและผนังผิวเรียบ ซึ่งผนังผิวขรุขระจะเกิดผลกระทบต่อสัญญาณมากกว่าผนังผิวเรียบ เพราะว่าผนังผิวขรุขระ เมื่อสัญญาณทางด้านส่งไปกระทบกับผนังผิวขรุขระแล้วจะเกิดการแตกกระจายของคลื่น เนื่องจากผนังผิวไม่เรียบทำให้สัญญาณแตกกระจายไปหลายทิศทาง จึงสามารถบอกได้ว่าในการส่งสัญญาณถ้ามีวัสดุอยู่ด้วยควรเป็นวัสดุผิวเรียบ และในส่วนที่ไม่มีกำแพงก็ควรทำมุมทั้งตัวส่งและตัวรับให้มีองศาเท่ากันจึงจะได้สัญญาณที่ดี ซึ่งการได้สัญญาณที่ดีนั้นส่วนมากจะเกิดจากการส่งสัญญาณไปตรง และรับสัญญาณตรง ส่วนอีกกรณี ก็คือในกรณีที่มีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลจากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ

โครงการนี้ได้นำเสนอการวัดแบบวิเคราะห์การกระจายของสัญญาณการส่งผ่านความถี่ในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง โดยแบ่งแบบจำลองการวัดและวิเคราะห์สัญญาณให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่เดียวกันแต่มีค่าต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นในระบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณสามารถสรุปได้ว่า คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศทางด้านส่ง ไปยังตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับ โดยผ่านสภาพแวดล้อมเดียวกัน ดังนั้นระดับแรงดันและสัญญาณที่ได้รับก็จะมีค่าแตกต่างกันไปด้วย เมื่อระยะทางของสายอากาศด้านส่งและด้านรับทำมุมต่างกัน เป็นผลมาจากคุณลักษณะการลดทอน ของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่น อันเนื่องมาจากการสะท้อนของคลื่นที่มาจากทิศทางต่างๆ และสัญญาณบางส่วนเกิดจากการกระจายจากผนังผิวขรุขระ ทำให้ระดับของสัญญาณที่ได้รับมีการเปลี่ยนแปลง และอาจเกิดจากการหักล้างของสัญญาณ หรือเกิดจากสัญญาณถูกบดบังจากสิ่งแวดลอมรอบข้าง

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินโครงการ

1. สามารถรู้หลักการของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง
2. เปรียบเทียบหลักการสื่อสารกับระบบอื่นได้และรู้ข้อดี ข้อเสีย
3. สามารถนำผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ไปพัฒนาและแก้ไข UWB ต่อไป
4. สามารถนำ UWB ไปใช้ในการส่งสัญญาณที่เกิดการลดทอนต่ำได้

6.3 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ

- สถานที่ที่ใช้ในการทดลองวัดยังไม่เหมาะสมมากพอ เนื่องจากเกิดผลกระทบจากสิ่งแวดลอมที่มีบทบาท

6.4 แนวทางในการแก้ปัญหา

- ควรใช้สถานที่ที่เกิดการสะท้อนของสัญญาณอื่นที่ไม่ต้องการ เพื่อวิเคราะห์สัญญาณที่ได้ให้ใกล้เคียงมากที่สุด

6.5 ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการวัดควรเปลี่ยนมุมสายอากาศทางด้านส่งให้ทำมุมมากกว่านี้และทางด้านรับด้วย
- ต้องทำการควบคุมสภาพแวดล้อมระหว่างการทดลองวัดสัญญาณให้ได้เพื่อให้ได้สัญญาณที่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. K. Siwiak, D. McKeown. 2004. **Ultra wideband radio technology**. John Wiled-Sons.,Lid.
2. Ghavami, L.B.Michael, R.Kohon. 2004. **Ultra wideband signals and systems in communication engineering**. John Wiley-Sons, Ltd.
3. บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. 2541. **หลักการไฟฟ้าสื่อสาร**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. ลัญฉกร วุฒิสธิทกุลกิจ. 2544. **วิศวกรรมโทรคมนาคม**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. รศ.ดร. มนัส ตั้งวรศิลป์และวรรรัตน์ ภัทรอมรกุล. 2543. **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ: อินโฟเพรส.

เว็บไซต์อ้างอิง

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra_wideband
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/Pathloss>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Friis'_formula
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Matched_filter
5. <http://www.intel.com/technology/ultrawideband>
6. http://engnet.anu.edu.au/DEcourses/engn4502/2._Friis_Fomula.pdf
7. <http://www.turbowave.com/documents/Wireless%20Networking.pdf>
8. <http://www.sut.ac.th/e-texts/Eng/Antennas>

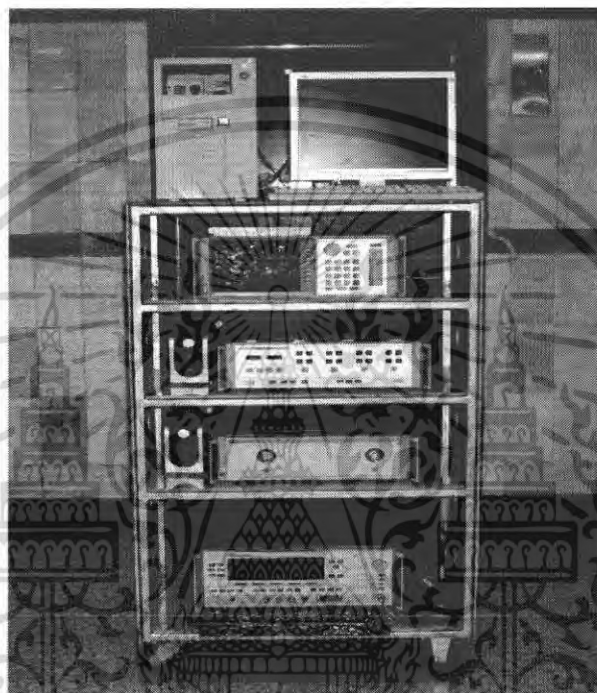
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



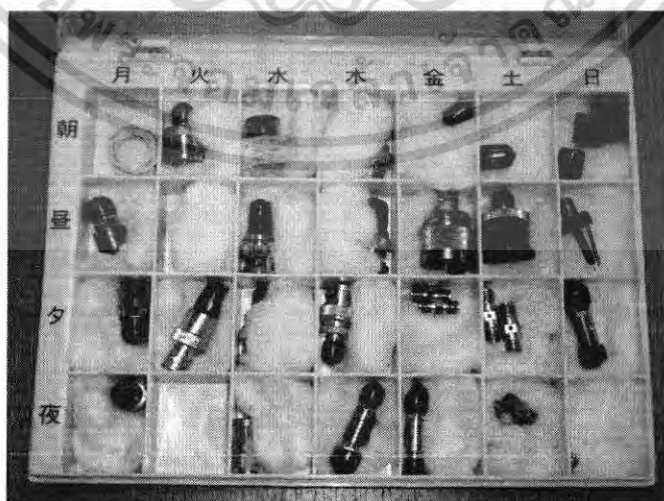
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ก 1 รูปแบบเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

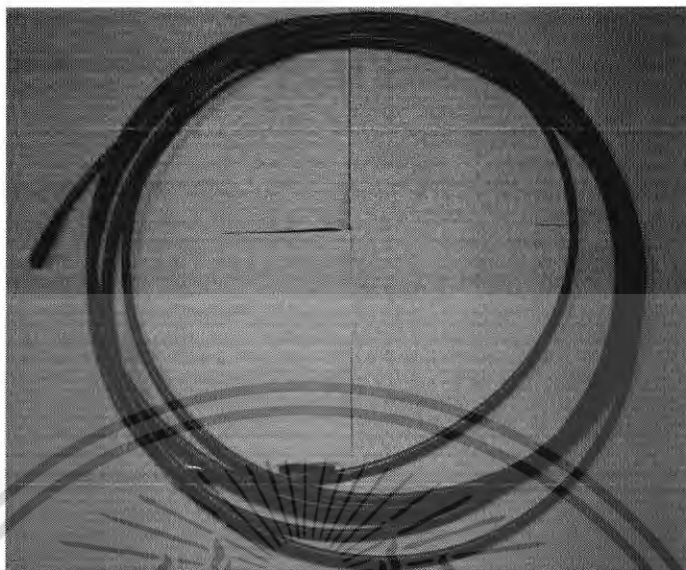


รูปที่ ก.1 เครื่อง Vector Network Analyzers (VNA)



รูปที่ ก.2 ชุดเครื่องมือที่ใช้ร่วมกับ VNA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์ที่ปรึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

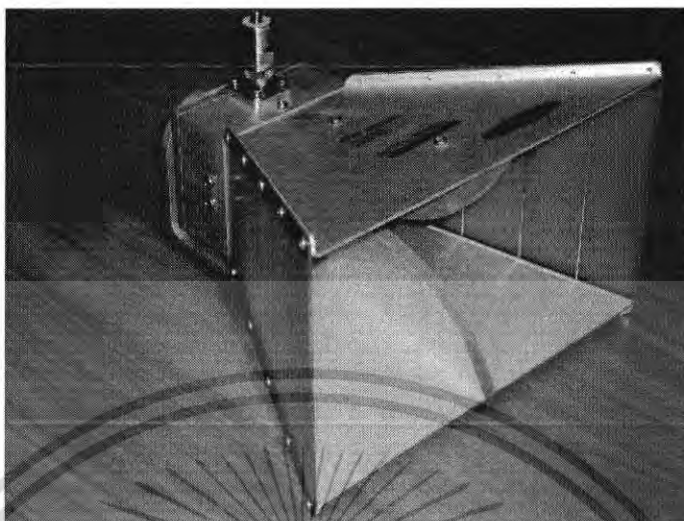


รูปที่ ก.3 สาย Coaxial Cable Semi rigid



รูปที่ ก.4 เสาที่ใช้ในการติดตั้งสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 สายอากาศปากแตร (HORN ANTENNA)



รูปที่ ก.6 ผนังแบบผิวเรียบและผนังแบบผิวไม่เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัด

1. ทำการ Connector ที่หัวต่อ PORT 1 ที่หัวต่อ PORT 2 โดยใช้สายแบบ Coaxial Cable Semi rigid



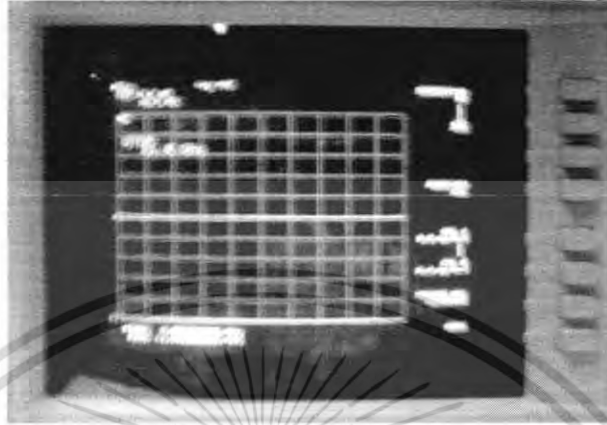
2. กด MANU ในโหมด STIMULUS



- กด START ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF
- กด STOP ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด CAL ที่ MENUS



- เลือกกดที่ CAL 1 (3.5 mm. B.3)
- เลือกกดที่ FULL (2-PORT)
- เลือกกดที่ REFLECT'N

4. ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำชุด CAL มาใช้ในการ CAL ทำดังนี้ ที่หัวต่อ PORT 1 (S11)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT
- นำชุด CAL แบบ BROUND BAND มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAE
- เลือกกดที่ BROUND BAND
- เลือกกดที่ DONE LOAE

ที่หัวต่อ PORT 2 (S22)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHPRT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
- เลือกกดที่ DONE LOAD
- เลือกกดที่ REFLECT'N DONE

5. ทำการต่อหัวต่อ ISOLATOR เข้ากับสาย Coaxial Cable ทั้งสองด้าน จากนั้นจึงทำการกด TRANSMISSION และกดเลื่อนลงตามลำดับคือ



- กด FWD. TRANS. THRU
- กด FWD. MATCH. THRU
- กด REV. TRANS. THRU
- กด REV. MATCH. THRU

6. กด TRANS DONE

7. กด ISOLATION

- เลือกกดที่ OMIT ISOLATION

8. กด ISOLATION DONE

9. กด SAVE (2-PORT CAL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทำการเลือกตำแหน่ง CAL SET โดยมีตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง 8 เพื่อใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้ทำการ CAL ไปแล้วข้างต้น (ถ้าตำแหน่งที่ใช้ในการบันทึกเต็มต้องทำการลบค่าเก่าที่ได้บันทึกไว้ก่อนถึงจะสามารถบันทึกค่าใหม่ได้



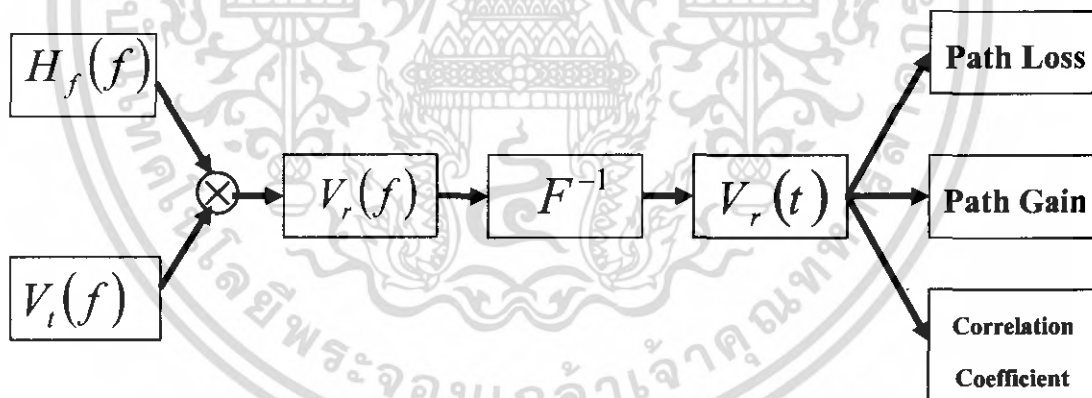
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการทดลองและวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนในการทดลอง

ในการทดลองหาผลคอบสนองของช่องสัญญาณนั้นจะนำเอาฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ (Frequency Transfer function) ที่ได้จากการวัดมาคูณกับสัญญาณด้านส่งที่เราได้ทำการสร้างขึ้นก็จะได้สัญญาณทางด้านรับที่อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ค่อยไปนำสัญญาณที่ได้ผ่านกระบวนการแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverts Fourier) ก็จะได้สัญญาณทางด้านรับที่อยู่ในรูปโดเมนเวลาเพื่อนำไปหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 1 โดยที่การวัดหาฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่นั้นจะ ได้จากการวัดค่า S_{21} ในโดเมนความถี่ที่เครื่อง Vector Network Analyzer ซึ่งสภาวะแวดล้อมในการวัดจะเป็นไปตามรูปแบบที่ออกแบบไว้ข้างต้น โดยที่จะใช้สายอากาศส่งและรับเป็นแบบปากแตร (Horn Antenna) และระยะห่างระหว่างสายส่งและรับ อยู่ที่ 3.82 เมตร ความสูงของสายอากาศส่งและรับมีความสูง 1.35 เมตร



รูปที่ ค.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ผล

โดยในการทดลองนี้จำเป็นที่จะต้องทราบเกี่ยวกับค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองและค่าที่ใช้ในการทดลองว่าจะต้องใช้ปริมาณเท่าไรซึ่งได้ทำการแสดงข้อมูลไว้ให้ทราบแล้ว ดังต่อไปนี้

ตาราง แสดงตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ช่วงความถี่	3 GHz ถึง 11 GHz
จำนวนของจุดความถี่	801
ช่วงของกำลังของสัญญาณ	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	1.35 m
ชนิดของสายอากาศ	Horn Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้