

การประเมินผลประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบแถบกว้าง  
สำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้น

Performance Evaluation of Wideband Transmission  
for Short Range Wireless Communications



T117544

นายณัฐพงศ์ โทวธีระกุล

Nuttapong Howthreerakull

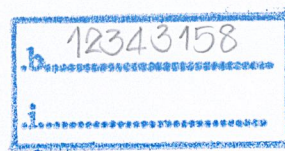
นางสาวเมธาวี พงษ์อำไพ

Methawee Pongampai

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 117544

วัน,เดือน,ปี. - 5 ต.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง ตีพิมพ์ และเผยแพร่ข้อมูลไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2553

**Performance Evaluation of Wideband Transmission  
for Short Range Wireless Communications**



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่สอนและดูแลไปจนตลอดไปอันได้แก่ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท การประเมินผลประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสาร  
ไร้สายระยะสั้น

รายชื่อนักศึกษา นายณัฐพงศ์ โหวธีระกุล รหัสนักศึกษา 50010470  
นางสาวเมธาวิ พงษ์อำไพ รหัสนักศึกษา 50011237

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

พ.ศ. 2553

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ผศ. ไพศาล สิริโยภาสกุล  
ดร. สถาพร พรหมวงศ์

ปริญญาโทฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง



(ผศ. ไพศาล สิริโยภาสกุล)

(ดร. สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	การประเมินผลประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้น		
รายนามนักศึกษา	นายณัฐพงศ์ ไหวธีระกุล	รหัสนักศึกษา 50010470	
	นางสาวเมธาวี พงษ์อำไพ	รหัสนักศึกษา 50011237	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
พ.ศ.	2553		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ผศ. ไพศาล	สิทธิโยภาสกุล	
	ดร. สถาพร	พรหมวงษ์	

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายโครงข่ายส่วนบุคคลได้รับความนิยมความต้องการมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีแบบแถบกว้างเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายถูกพัฒนานำมาใช้ในโครงข่ายภายในอาคารและบ้านพักอาศัย อีกทั้งสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ดี เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ สามารถรองรับผู้ใช้ในระบบได้จำนวนมาก มีความเร็วสูง ใช้กำลังงานต่ำ แบนด์วิดท์กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลสูง โครงงานนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งยวดบนฐานการส่งผ่านของฟรีส ได้ออกแบบวิธีการทดลองวัดการแพร่กระจายสัญญาณแบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ วัด และวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากการวัดจริง การจำลองการสูญเสียเชิงวิถี อัตราการผิดพลาดบิต การใช้เมตซ์ฟิลด์เตอร์ พร้อมทั้งวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ โดยในการปฏิบัติการทดลองวัดสัญญาณนั้นในด้านส่ง ใช้สายอากาศปากแตรโดยปราศจากการเคลื่อนย้าย และในด้านรับใช้สายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** Performance Evaluation of Wideband Transmission for Short Range  
Wireless Communications

**Student** Mr. Nuttapon Howthreerakul Student ID. 50010470  
Ms. Methawee Pongapai Student ID. 50011237

**Degree** Bachelor of Engineering

**Program** Information Engineering

**Year** 2010

**Thesis Advisor** Assistant professor Paisan Sittiyopasakul  
Dr. Sathaporn Promwong

## ABSTRACT

Nowadays wireless personal area networks (WLAN) have been demanded extremely. Though wideband transmission wireless communications have been developed in order that for support indoor wireless communications system and be able to respond user's demand as well. Due to the prominence of wideband transmission signal for example supporting for more users, high speed, low power and wide bandwidth affect to respond high data transfer rate. This project is researchable and analyze Performance Evaluation of ultra wideband (UBW) transmission on foundation of Friis's formula, create models of UWB transmission experiment, measurement and analysis path loss, bit error rate, match filter and analyze performance evaluation of system from receive signal by vector network analyzer in laboratory. In the measurement Fix Horn antenna is used as a transmitter antenna and biconical antenna is used as a receiver antenna.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและให้คำปรึกษาที่มีค่าตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์จาก ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล สติทธิโยภาสกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และหัวหน้ากลุ่มงานวิจัยการสื่อสาร นอกจากนี้ยังให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศสำหรับการทดลองวิจัย สมาชิกในกลุ่ม โครงการงานนี้รู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์เมตตาจากท่านอาจารย์และขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณภูส ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ได้ให้ชีวิตดูแลให้การสนับสนุนทางการศึกษาพร้อมทั้งคอยดูแลช่วยเหลือและให้กำลังใจทำให้ผู้วิจัยทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อน นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือในการทดลองและให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ สุดท้ายนี้จึงขอขอบคุณทุกท่านที่กล่าวมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายณัฐพงศ์ โทวธีระกุล  
นางสาวเมธาวิ พงษ์อำไพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	5
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	6
2.3 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.3.1 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา.....	9
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป.....	10
2.5 การนำเอาระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน.....	12
2.5.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์.....	12
2.5.2 ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ.....	13
2.5.3 เรดาร์.....	14
2.6 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง.....	14
2.6.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ.....	15
2.6.2 ผลตอบสนองอิมพีแดนซ์ของสัญญาณ.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างชัดแจ้งจากผู้จัดทำที่ส่งมอบไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง.....	17
2.8 การสูญเสียเชิงวิถี .....	18
2.9 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้สูตรของพรีต .....	20
2.10 แมตซ์ฟิลเตอร์ .....	21
2.11 ค่าการสูญเสียกำลังงาน .....	21
2.12 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน .....	22
2.13 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .....	23
2.14 อัตราความผิดพลาดบิต .....	24
2.15 สรุป .....	25
บทที่ 3 แบบการจำลองและการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง .....	26
3.1 กล่าวนำ .....	26
3.2 แบบแผนการจำลอง .....	27
3.3 รูปแบบจำลองการวัด .....	28
3.3.1 รูปแบบจำลองเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศด้านรับ .....	30
3.3.1.1 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 1 .....	30
3.3.1.2 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 2 .....	31
3.3.2 รูปแบบจำลองหมุนสายอากาศด้านรับ .....	32
3.3.1.1 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 3 .....	32
3.3.1.2 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 4 .....	33
3.4 สรุป .....	35
บทที่ 4 การวัดและการทดสอบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง .....	36
4.1 กล่าวนำ .....	36
4.2 แบบแผนการวัด .....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ระบบการวัด.....	37
4.3.1 รูปแบบสัญญาณส่งของแบบแถบกว้างยิ่ง.....	37
4.3.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์การวัด .....	39
4.3.3 ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	39
4.3.3.1 สายอากาศปากแตรทรงพีระมิด.....	40
4.3.3.2 สายอากาศแบบกรวยคู่.....	40
4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง .....	42
4.5 สรุป.....	43
บทที่ 5 ผลการวัดและการวิเคราะห์.....	44
5.1 กล่าวนำ.....	44
5.2 ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์.....	44
5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดแบบที่ 1 .....	44
5.2.1.1 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ.....	44
5.2.1.2 ค่าการแผ่ประวิงเวลา.....	45
5.2.1.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ.....	46
5.2.1.4 สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุด.....	47
5.2.1.5 อัตราความผิดพลาดบิต.....	47
5.2.1.6 สัญญาณที่รับได้.....	48
5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดแบบที่ 2 .....	49
5.2.2.1 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ.....	50
5.2.2.2 ค่าการแผ่ประวิงเวลา.....	50
5.2.2.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ.....	51
5.2.2.4 สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุด.....	51
5.2.2.5 อัตราความผิดพลาดบิต.....	52
5.2.2.6 สัญญาณที่รับได้.....	52
5.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดแบบที่ 3 .....	53
5.2.3.1 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ.....	53
5.2.3.2 ค่าการแผ่ประวิงเวลา.....	54

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.3.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ.....	55
5.2.3.4 สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบเมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุด	55
5.2.3.5 อัตราความผิดพลาดบิต.....	56
5.2.3.6 สัญญาณที่รับได้.....	57
5.2.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดแบบที่ 4 .....	58
5.2.4.1 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ.....	58
5.2.4.2 ค่าการแผ่ประวิงเวลา.....	59
5.2.4.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ.....	60
5.2.4.4 สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบเมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุด	60
5.2.4.5 อัตราความผิดพลาดบิต.....	61
5.2.4.6 สัญญาณที่รับได้.....	61
5.3 สรุปผลการทดลองที่ได้ทำการวิจัย.....	62
5.3.1 ค่ากำลังงานที่ได้รับ.....	62
5.3.2 ค่าการแผ่ประวิงเวลา.....	62
5.3.3 การสูญเสียเชิงวิถี.....	62
5.3.4 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต.....	63
5.4 แบบแผนที่ได้จากการเสนอในปริญาณิพนธ์นี้และแนวทางวิจัยต่อไป.....	63
บรรณานุกรม.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	10
2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	10
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	เปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆและแถบกว้างยิ่ง.....7
2.2	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร.....11
2.3	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร.....11
2.4	ตัวอย่างการนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานการติดต่อสื่อสาร.....12
2.5	การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง.....13
2.6	บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....14
2.7	บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น.....15
2.8	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่.....15
2.9	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา.....17
2.10	การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีภายในอาคาร.....17
2.11	แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง.....20
2.12	ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....23
3.1	แบบจำลองการวัด.....27
3.2	เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจายและตัวสังเคราะห์ความถี่.....28
3.3	สายอากาศด้านส่งใช้สายอากาศปากแตร.....29
3.4	รูปถ่ายการวัดจริงในห้องประชุม.....29
3.5	มุมมองด้านบนของแบบจำลองที่หนึ่ง.....30
3.6	รูปถ่ายการวัดจริงของแบบจำลองที่หนึ่ง.....30
3.7	มุมมองด้านบนของแบบจำลองที่สอง.....31
3.8	รูปถ่ายการวัดจริงของแบบจำลองที่สอง.....31
3.9	มุมมองด้านบนของแบบจำลองที่สาม.....33
3.10	รูปถ่ายการวัดจริงของแบบจำลองที่สาม.....33
3.11	มุมมองด้านบนของแบบจำลองที่สี่.....34
3.12	รูปถ่ายการวัดจริงของแบบจำลองที่สี่.....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง.....	37
4.2 รูปสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	38
4.3 สเปกตรัมของสัญญาณส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	39
4.4 สายอากาศปากแตรทรงพีระมิด.....	40
4.5 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	41
4.6 สายอากาศแบบกรวยคู่.....	41
4.7 $ S_{11} $ คุณสมบัติสายอากาศแบบกรวยคู่.....	41
5.1 ภาพตัดหน้าข้างการการประวิงกำลังในแต่ละระยะทางที่มีผลกระทบจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1) .....	45
5.2 การแผ่ประวิงในแต่ละระยะทางที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1).....	46
5.3 การสูญเสียเชิงวิดิในแต่ละระยะทางที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1).....	46
5.4 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1).....	47
5.5 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์(แบบที่ 1).....	47
5.6 สัญญาณที่รับได้ในตำแหน่งที่ 3 ที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1).....	49
5.7 ภาพตัดหน้าข้างการการประวิงกำลังในแต่ละระยะทางที่ไม่มีผลกระทบจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2).....	50
5.8 การแผ่ประวิงในแต่ละระยะทางที่ไม่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2).....	50
5.9 การสูญเสียเชิงวิดิในแต่ละระยะทางที่ไม่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2).....	51
5.10 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์(แบบที่ 2).....	51
5.11 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่ไม่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์(แบบที่ 2).....	52
5.12 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในตำแหน่งที่ 3 ที่ไม่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2). .....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 ภาพตัดหน้าข้างการการประวิงกำลังในแต่ละทิศทางที่มีผลกระทบจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3).....	53
5.14 กำลังงานที่รับได้ในแต่ละทิศทางที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3).....	54
5.15 การแผ่ประวิงในแต่ละทิศทางที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3).....	54
5.16 การสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละทิศทางที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3).....	55
5.17 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยั้งที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์(แบบที่ 3).....	56
5.18 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยั้งที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์(แบบที่ 3).....	57
5.19 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในมุม 90 องศาที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3).....	57
5.20 ภาพตัดหน้าข้างการการประวิงกำลังในแต่ละทิศทางที่ไม่มีผลกระทบจากแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4).....	58
5.21 กำลังงานที่รับได้ในแต่ละทิศทางที่ไม่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4).....	59
5.22 ค่าการแผ่ประวิงในแต่ละทิศทางที่ไม่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4).....	59
5.23 การสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละทิศทางที่ไม่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4).....	60
5.24 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยั้งที่ไม่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์(แบบที่ 4).....	60
5.25 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยั้งที่ไม่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์(แบบที่ 4).....	61
5.26 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในมุม 90 องศา ที่มีไม่ผลจากแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4).....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้น (Short range wireless communications) ได้มีบทบาทมาก และมีความจำเป็นต้องมีความเร็วสูงอีกทั้งมีความจุมากด้วย ดังนั้นต้องพิจารณาถึงการสื่อสารที่มีแถบกว้าง (Wideband) ด้วย บนมาตรฐาน IEEE 802.15 ซึ่งเป็นโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless personal area network : WPAN) ด้วยคุณสมบัติที่เด่นของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างระยะสั้นไร้สายภายในอาคารสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ซึ่งมีความเหมาะสมหลายด้าน เช่น กำล้างงานส่งต่ำ อัตราส่งข้อมูลได้สูง และราคาถูก เพื่อให้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบนี้มีประสิทธิภาพในการใช้งาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องศึกษาคูณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งผ่านสัญญาณของระบบการสื่อสารระยะสั้นแบบแถบกว้าง

โครงการจะได้ศึกษา และประเมินผลประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้น บนพื้นฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการทดสอบจริง และได้ใช้ทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีส (Friis's) ในโครงการนี้จะนำผลที่ได้จากการทดสอบไปประเมินผลเพื่อหาประสิทธิภาพ และพารามิเตอร์ที่สำคัญตามทฤษฎีการวิเคราะห์ โดยการวัดและบันทึกจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และใช้สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิด (Horn antenna) เป็นสายอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณ และสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) เป็นสายอากาศในการรับสัญญาณในการหาการแพร่กระจายของสัญญาณในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยมีการใช้แถบความถี่แบบแถบกว้างยิ่งประกอบด้วยใช้กำลังส่งที่น้อยในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารจริง และทำการทดสอบอุปกรณ์ใช้งานจริงที่ส่งผ่านด้านคอมพิวเตอร์ด้วย จากโครงการที่ได้ศึกษานี้จะมีประโยชน์มากสำหรับการออกแบบ และวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้าง และการประยุกต์ใช้งาน
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ระบบแบบแถบกว้างบนพื้นฐานหลักการส่งผ่านของฟรีส
3. เพื่อออกแบบจำลอง และทำการวัดหรือการทดสอบของช่องสัญญาณการส่งผ่านตามที่ได้ออกแบบจำลองเอาไว้ ของการสื่อสารแถบกว้างโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
4. เพื่อเปรียบเทียบ และประเมินผลที่ได้จากทฤษฎีและผลที่ได้จากการทดลองวัดจริงของการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้าง อภิปราย วิเคราะห์ เช่น สัญญาณที่รับได้, ภาพตัดขวางการประวิงกำลัง และประสิทธิภาพอัตราข้อมูลต่อบิต
5. สรุปผลการศึกษา ประเมินผลประสิทธิภาพของการส่งผ่านสำหรับการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง และจัดทำปฏิญานิพนธ์

## 1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

ทำการศึกษาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นแบบแถบกว้าง และการประยุกต์ใช้งาน ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์พารามิเตอร์ โดยใช้หลักการส่งผ่านของฟรีส เพื่อหาการสูญเสียในการส่งผ่าน (Path loss) ระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ทำการออกแบบจำลองเพื่อใช้ในการทดสอบจริง จัดเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดหรือทดสอบจริง เช่น เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ สายอากาศแบบแถบกว้าง สายนำสัญญาณมีการสูญเสียต่ำ อุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ คอนเนคเตอร์ คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ไร้สายส่งผ่านคอมพิวเตอร์ เป็นต้น และนำผลที่ได้จากการวัดจริงไปประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในทางทฤษฎี สรุปผลการศึกษาทดลองวิจัยของการประเมินผลประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลจากเครื่องแปลที่อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวคเตอร์โดยใช้สายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว (Omni-directional) ทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 11 กิกะเฮิร์ตซ์ ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานในการสื่อสาร คือตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC)ซึ่งในขั้นตอนของการวัดนั้นได้ทำการวัดภายในอาคารเพื่อวิเคราะห์ ถึงผลที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณ หลังจากทำการวัดผลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบถึงผลการลดทอนของกำลังงานที่ได้รับได้ในกรณีมีผลกระทบจากแปลที่อปคอมพิวเตอร์ในแต่ละมุมตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา โดยทำการหมุนเครื่องแปลที่อปคอมพิวเตอร์ครั้งละ 5 องศา นอกจากนั้นยังได้ทำการตรวจสอบถึงผลของการกระจายทางเวลาของช่องสัญญาณคือ ค่าการแผ่ประวิง (RMS delay spread) จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางเวลาของสัญญาณที่เข้ามาถึงยังสายอากาศด้านรับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าการแผ่ประวิงนั้นจะแสดงให้เห็นถึงปัญหาการทับซ้อนกันของสัญญาณระหว่างบิตหรือสัญลักษณ์ (Intersymbol interference : ISI) จากนั้นจะทำการตรวจสอบถึงความสัมพันธ์ของการหมุนสายอากาศในแต่ละมุมว่าแปลที่อปคอมพิวเตอร์นั้นจะทำให้อัตราการขยายของสายอากาศเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์ดังนี้ เริ่มจากศึกษาถึงขั้นตอนในการวัดเก็บค่าของสัญญาณ อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้และรูปแบบวิธีการวัดโดยยึดหลักตามลักษณะการนำไปใช้งานจริง จากนั้นจึงทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่จะสามารถแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ อันประกอบไปด้วย พารามิเตอร์ที่แสดงให้เห็นถึงค่าความเพี้ยนของสัญญาณและค่าการลดทอนของกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ถือเป็นปัจจัยหลักในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาวิจัยและแบ่งเนื้อหาออกเป็นขั้นตอนได้ 5 บทดังต่อไปนี้ ในบทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงความจำเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา ในบทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จะทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ลักษณะเฉพาะและ

เอกสารที่กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการศึกษาวิจัย ทฤษฎีการแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองและวัดสัญญาณใช้

เช่น ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ รวมถึงพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบการ  
ผลกระทบ ในบทที่ 3 แบบจำลองและการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง จะกล่าวถึงขั้นตอนการจำลอง  
ช่องสัญญาณ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และขั้นตอนการเตรียมการอุปกรณ์สำหรับการวัด  
สัญญาณ ในบทที่ 4 การวัดและการทดสอบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง แบบแผนการวัด พารามิเตอร์ที่  
ใช้ในการทดลอง ในบทที่ 5 ผลการวัดและการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ผลการวัดสัญญาณและทำ  
การเปรียบเทียบและประเมินค่าของผลการจำลองให้ใกล้เคียงกับผลของการวัดและแสดงให้เห็น  
ว่าวิธีที่เสนอได้ตรวจสอบพารามิเตอร์ที่แสดงถึงคุณภาพของสัญญาณ ได้จริง บทสรุปผลการวิจัย  
และข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband : UWB) มีแนวโน้มว่าจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network : WPAN) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในหลายๆด้าน ดังเช่น ใช้ในระยะทางใกล้ๆ สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง โดยเชื่อมต่อด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทาง 10 เมตรและมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง โดยอัตราการส่งสูงถึง 480 เมกะบิตต่อวินาที ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร ต้องการกำลังงานในการส่งต่ำซึ่งมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 เดซิเบลมิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ทำให้ไม่มีผลกระทบกับระบบอื่นที่มีอยู่ มาตรฐานของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ อีกประการหนึ่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนวิทท์ในการส่งมากกว่า 25 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งจะพบว่า มีค่า มากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้มาใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a โดยสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง นั้นคาดว่าจะถูกนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ภายในอาคารเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) เครื่องพิมพ์ (Printer) เครื่องสแกนเนอร์ (Scanner) กล้องดิจิทัล วีดีโอ โปรเจคเตอร์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายต่างๆ

โดยจะพิจารณาถึงผลกระทบที่มีกับคุณสมบัติในการส่งสัญญาณของสายอากาศแบบ ย่านความถี่กว้างยิ่ง ภายใต้สภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิด (Horn antenna) เป็นสายอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณ และสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) เป็นสายอากาศในการรับสัญญาณในการหาค่าการแพร่กระจายของสัญญาณในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยมีการใช้แถบความถี่กว้างยิ่งประกอบด้วยใช้กำลังส่งที่

เอกสารที่แนบเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
น้อย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานจริงของระบบนี้จะมีลักษณะการนำไปใช้ภายในอาคารซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งสามารถที่จะส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน นั่นคือ แลปท็อปคอมพิวเตอร์ เพราะมีความเป็นไปได้ที่จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบว่าแลปท็อปคอมพิวเตอร์นั้นส่งผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

## 2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาในปี ค.ศ. 1962 โดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งระบบจะทำงานวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ  $h(t)$  ในส่วนของสัญญาณเอาต์พุตจะถูกแทนด้วย  $y(t)$  และกำหนดให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเป็น  $x(t)$  ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นเราได้ใช้เครื่องออสซิลอสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน โดยการวิเคราะห์และการวัด

เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบเรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีถัดมาเครื่องออสซิลอสโคป ที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งในปี ค.ศ. 1973 ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 นี้ก็ได้มีการกำหนดให้ เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้ถูกพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ. 1989

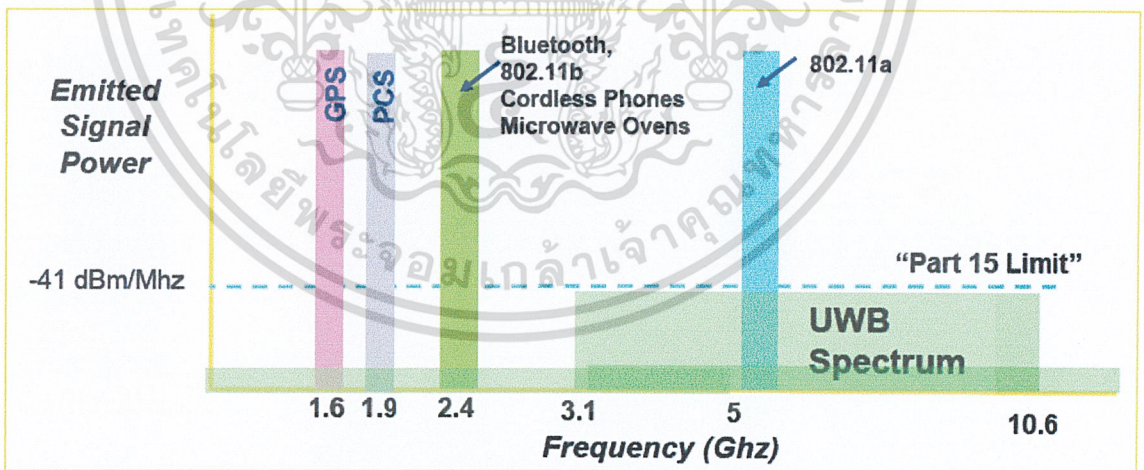
ในช่วงเวลาเกือบ 30 ปี ทฤษฎีของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ. 1989 สเปอรัรี ได้จดสิทธิบัตรมากกว่า 50 ชิ้น เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่งและวิธีในการรับส่งสัญญาณ และการนำแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ในการติดต่อสื่อสารในระบบเรดาร์ การป้องกันการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนกันของคลื่นมือถือ, ระบบบอกพิกัด และ ตรวจวัดระดับของเหลว โดยใช้คุณลักษณะของแถบความถี่กว้างยิ่ง

โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา

### 2.3 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (Radio frequency: RF) เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาด ประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับ กิกะเฮิรตซ์ และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ โดยรูปที่ 2.1 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณใน โดเมนความถี่



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆ และแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารในหลายๆประการเช่น

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำ เนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบมากๆ ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาห์และไม่ต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น และในส่วนของการปรับไม่รวมวงจรผลิตความถี่ (Mixer) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 เดซิเบลมิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ทำให้สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือ สัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบทำให้ไม่มีผลกระทบกับระบบอื่นๆ

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

ในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นมีการส่งข้อมูลด้วยความถี่ในย่าน 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นแถบความถี่ที่กว้างมากและมีความถี่สูงจึงทำให้อัตราการส่งข้อมูลสูงประมาณ 110 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งสูงถึง 480 เมกะบิตต่อวินาที ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร

### 2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นก็คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรป ก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications

Standards Institute : ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

#### 2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา(FCC) ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัดอัตราส่วนแบนด์วิดท์ ( $B_f$ ) ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.25 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา(FCC) ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense advanced research project agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ ( $B_f$ ) ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 25% โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1

$$B_f = \frac{BW}{F_c}, f_c = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (2.1)$$

โดยที่  $f_L$  คือ ความถี่ต่ำสุดและ  $f_H$  คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ [เมกะเฮิรตซ์]	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in เดซิเบลมิลลิวัตต์	EIRP in เดซิเบลมิลลิวัตต์
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

**2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป**

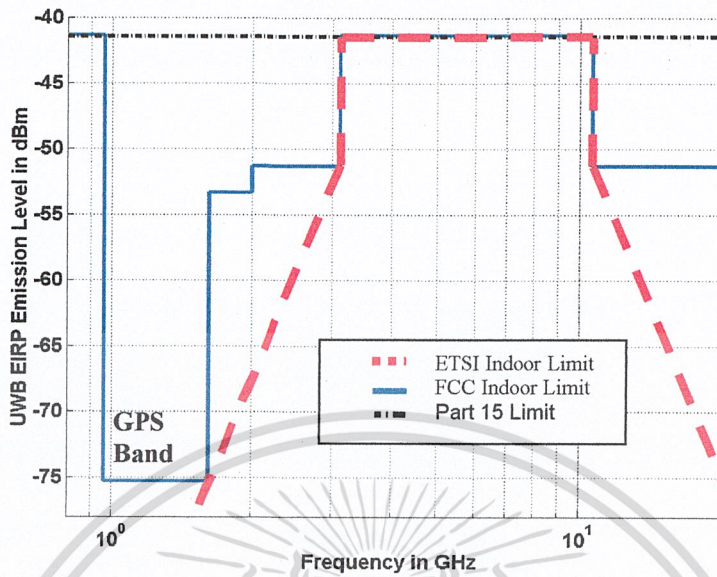
ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

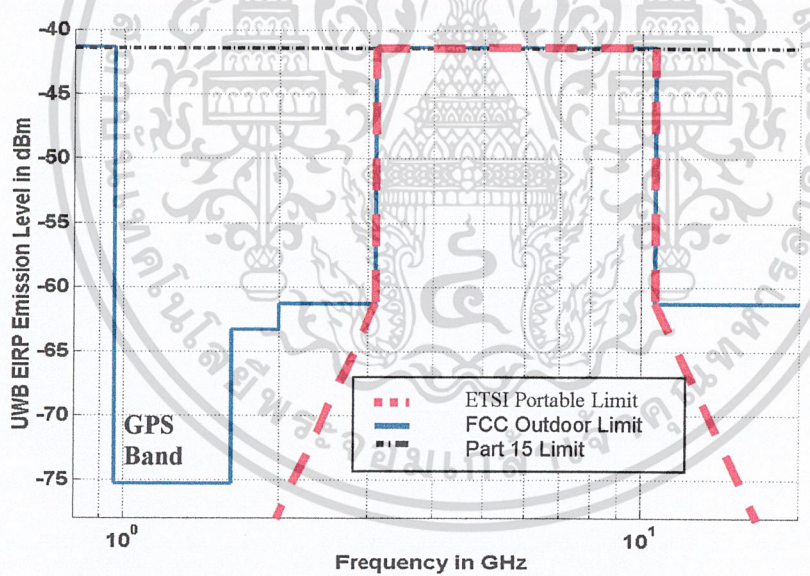
	ช่วงความถี่ [กิกะเฮิรตซ์]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6 / f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6 / f)$

โดยในรูปที่ 2.2 และ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 หน้ากากสเปกตรัมที่กำหนดโดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร



รูปที่ 2.3 หน้ากากสเปกตรัมที่กำหนดโดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การนำเอาระบบแลบกว้างออกไปใช้งาน

ระบบแลบกว้างยี่งั้นเป็นระบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบเนื่อง โดยสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักได้แก่

- ใช้ในการติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์
- ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ
- ใช้ระบบเรดาร์

### 2.5.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์

ในอนาคตนั้นมีแนวโน้มว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ภายในบ้านชนิดต่างๆนั้นจะ ต้องมีการติดต่อสื่อสารข้อมูลกันมากขึ้นซึ่งหากแบ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ออกเป็น 3 ประเภทหลักๆได้แก่

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น โทรทัศน์ วิทยุ วีดีโอเกมส์ กล้องดิจิตอล เครื่องขยายเสียง ลำโพง และ เครื่องเล่น ดีวีดี

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดพกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ พีดีเอ เครื่องเล่นเอ็มพีสาม

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เช่น เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ อุปกรณ์เก็บข้อมูล และที่ขาดไม่ได้คือ แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์



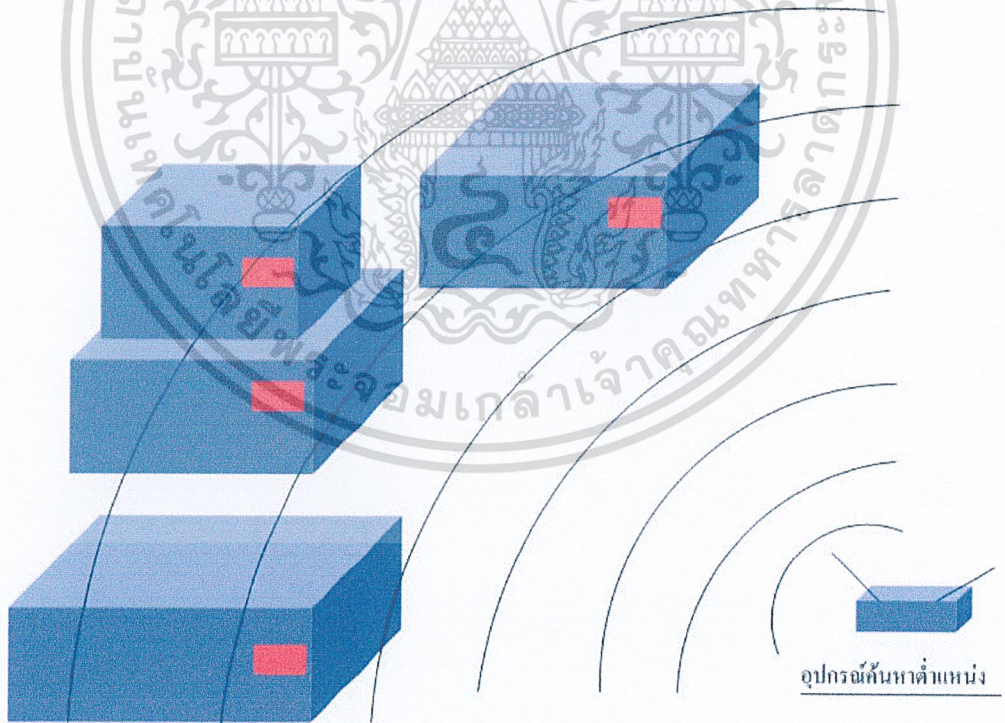
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการนำแลบกว้างออกไปประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายการสื่อสารไร้สายระยะสั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์ที่นำเอกสารนี้ไปลงลงในสื่อออนไลน์ การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ นั้นส่วนสามารถนำ สัญญาณแถบกว้างยิ่ง มาประยุกต์เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารและส่งผ่านข้อมูล เช่น มีการส่งสัญญาณภาพจากเครื่องเล่น ดีวีดีไปยัง โปรเจคเตอร์ เพื่อทำการฉายภาพหรืออาจทำการส่งข้อมูลวีดีโอจากกล้องถ่ายภาพวีดีโอ ไปยังแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

นอกจากจะนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้านแล้วนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์กับเซนเซอร์ต่าง ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งแต่เดิมจะมีการใช้สายในการส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้จากร่างกายผู้ป่วยไปยังเครื่องที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งหากมีการนำแถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไปประยุกต์ใช้งานก็จะทำให้ความยุ่งยากเกี่ยวกับสายต่างๆ หายไป และเนื่องจากข้อดีของแถบกว้างยิ่งที่ใช้กำลังส่งที่ต่ำจึงทำให้ไม่ผลกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

### 2.5.2 ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ

ในปัจจุบันนี้มีระบบจีพีเอสที่ใช้ในการบอกพิกัดซึ่งยังเป็นหน่วยที่สามารถบอกพิกัดได้เพียงในระดับเมตรซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการเดินทางและบอกตำแหน่งแบบคร่าวๆ แต่เมื่อในมาประยุกต์ใช้ภายในอาคารนั้นเป็นการต้องการรู้ว่ากุญแจอยู่ที่ไหนหรือแม่แต่อาจนำไปประยุกต์ในการตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้าแล้วเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งซึ่งที่ความเหมาะสมมากกว่าเพราะสามารถบอกตำแหน่งได้ในระดับเซนติเมตร



รูปที่ 2.5 การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง

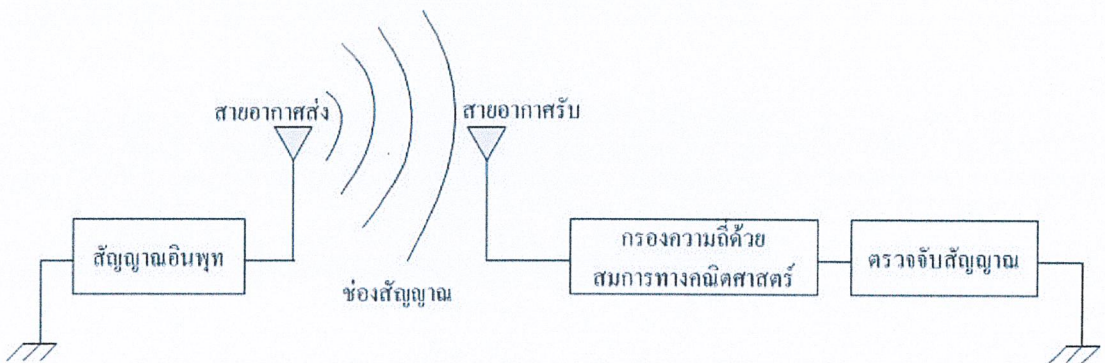
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3 เรดาร์

สัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำซึ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้กับเรดาร์ อุปกรณ์เรดาร์ในอนาคตนั้นยังเป็นที่ต้องการของตลาดอีกมาก อุปกรณ์เรดาร์นี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการชน การตรวจจับความเร็วบนถนน ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงอย่างทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบสูงหรืออาจนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคารเช่น ไม้, อิฐ, อิฐบล็อก, ไฟเบอร์, พลาสติกและคอนกรีต ซึ่งแต่เดิมนั้น เรดาร์ได้ถูกพัฒนาและใช้เพื่อการทหารแต่ในอนาคตอันใกล้ก็ได้ถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

### 2.6 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง

ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะมีลักษณะแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเนื่องจากการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาหะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่ง เนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุตส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่งผ่านช่องสัญญาณ ไปยังสายอากาศทางด้านรับเมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้วจากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์โดยผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์เพื่อให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) มีค่าสูงมากที่สุดจากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจสอบสัญญาณที่ได้ว่าที่ค่าเป็นบิต 0 หรือ บิต 1 และนำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

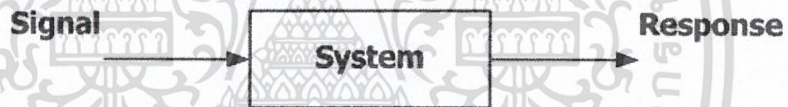


รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมของรูปแบบการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบริษัทย่อยด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ

เมื่อพิจารณาการวัดของสัญญาณ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เครือข่าย นั้นสิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มของวัตถุที่รวมกันซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input signal) ของระบบและจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อคอโคแกรมของระบบดังรูปที่ 2.8 ที่ซึ่งผลตอบสนอง ดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบและจากการวัดผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function ;  $H(f)$ ) ของช่องสัญญาณ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าว นั้นจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วย ระดับสัญญาณที่ส่งผ่าน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase) ของสัญญาณโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้น กำหนดตามสมการที่ 2.7 และแสดงดังรูปที่ 2.8



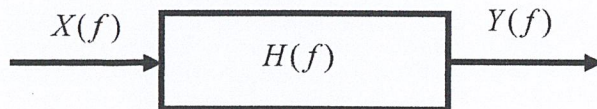
รูปที่ 2.7 บล็อคอโคแกรมของระบบเชิงเส้น

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \quad (2.2)$$

โดยที่

$Y(f)$  คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

$X(f)$  คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณ

การแสดงคุณสมบัติของช่องสัญญาณนั้นสามารถทำได้หลายวิธีโดยหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ก็คือ การแสดงด้วยค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse response) ของระบบ โดยเริ่มต้นนั้นจะขอกล่าวถึงคำนิยามของฟังก์ชันอิมพัลส์ (Impulse function) ก่อนดังนี้

ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไป โดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยจะแทนด้วยสัญลักษณ์  $\delta(t)$  และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

$$\int_a^b f(t)\delta(t-t_0)dt = \begin{cases} f(t_0), & a < t_0 < b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

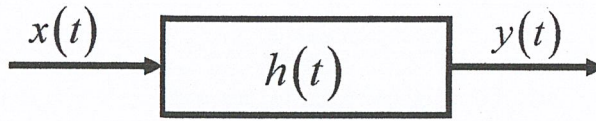
โดยในที่นี้  $f(t)$  จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous) ที่ค่าเวลา  $t=t_0$  จาก (2.3) เมื่อกำหนดให้  $f(t) = 1$  จะได้

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)dt = 1 \quad (2.4)$$

จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายในสมการ 2.4 จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ  $\delta(t-t_0)$  มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (Weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้นดังนั้นจะพบว่า น้ำหนักของฟังก์ชัน  $A\delta(t)$  มีค่าเท่ากับ  $A$  หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริง ในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบ โดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์  $h(t)$  แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้ และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาค่าเอาต์พุต  $y(t)$  ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต  $x(t)$  ใดๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา

### 2.7 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในเทคนิคการจำลองแบบช่องสัญญาณนั้นจะทำการตรวจสอบแบบจำลอง โดยไม่ได้มีลักษณะตรงกันกับระบบแถบกว้างยิ่ง แต่ได้พิจารณาถึงแบบจำลองทั่วไปซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของการจำลองแบบช่องสัญญาณอีกทั้งด้วยความสะดวกและง่ายในแบบจำลองสำหรับการแสดงลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง อาทิเช่น แบบจำลองความไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete time) แบบจำลองหลายวิถี (Multipath) หรือ แบบจำลองผลตอบสนองอิมพัลส์ เหตุเพราะว่า ตำแหน่งของเพดาน กำแพง ประตู เฟอร์นิเจอร์ และคนที่อยู่ภายในอาคารจะส่งผลถึงการส่งผ่านสัญญาณที่เกิดขึ้นหลายเส้นทางจากเครื่องส่ง ไปยังเครื่องรับดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีภายในอาคาร

เพราะฉะนั้นสัญญาณแต่ละสัญญาณที่เข้ามาถึงยังเครื่องรับนั้นจะมีขนาด เฟส และเวลา  
ประวิง (time delay) ที่แตกต่างกัน โดยแบบจำลองนี้ในแกนของเวลาประวิงจะถูกแบ่งออกเป็น  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สุ่มกันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการสื่อสารของคุณานัน ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ช่วงเวลาเล็กๆที่เรียกว่า “bin” ซึ่งในแต่ละ bin นั้น ได้ถูกสมมติให้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบใน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละส่วนของสัญญาณแบบหลายวิถี โดยความเป็นไปได้ของเส้นทางของสัญญาณที่มากกว่าหนึ่งเส้นทางภายใน bin นั้นจะถูกแยกออกไปซึ่งความกว้างที่เหมาะสมของ bin นั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของลักษณะจำเพาะในการวัดนั้น ๆ โดยปรากฏการณ์ของการเกิดการแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีนั้นสามารถแสดงให้เห็นในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นไปตามผลตอบสนองอิมพัลส์แบบไม่ต่อเนื่องของช่องสัญญาณคังสมการที่ 2.5

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l \delta(t - lT_m) \quad (2.5)$$

- โดยที่  $\alpha_l$  คือ เฟลเตอร์การลดทอนทางแอมพลิจูดในเส้นทางที่  $l$  และเป็นฟังก์ชันของเวลาและระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ
- $T_m$  คือ ความละเอียดทางเวลาที่น้อยที่สุดของพัลส์
- $L$  คือ จำนวนขององค์ประกอบหลายวิถี
- $\delta(t)$  คือ ฟังก์ชัน Dirac delta

## 2.8 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า  $d^{-n}$  โดย  $d$  คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ ส่วน  $n$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศ เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายสัญญาณจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งแพร่สัญญาณแบบทุกทิศทาง (Isotropic radiator) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.11 โดยในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.6 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่า

สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis's transmission formula) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (2.6)$$

โดยที่

- $P_R$  คือ กำลังงานของสัญญาณที่รับได้
- $P_T$  คือ กำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกมา
- $G_R$  คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
- $G_T$  คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
- $\lambda$  คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง  $\lambda = \frac{c}{f}$
- $c$  คือ ความเร็วแสง ( $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที)
- $f$  คือ ความถี่ของสัญญาณ (เฮิรตซ์)
- $d$  คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (เมตร)

ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของ เดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

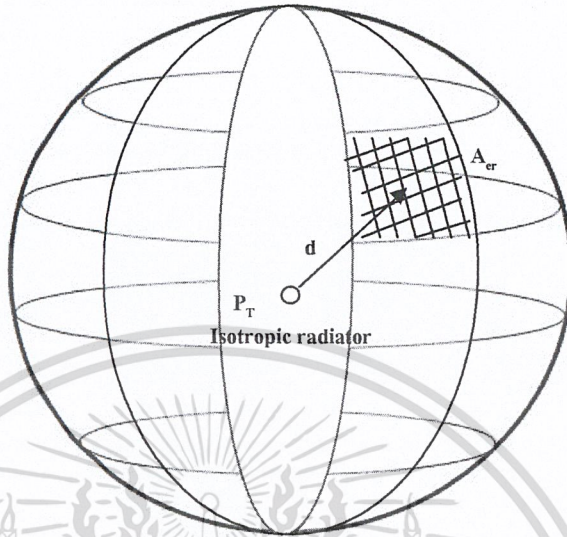
$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10\log(P_T) - 10\log(P_R) \\ &= 32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R) \end{aligned} \quad (2.7)$$

โดยที่  $d$  มีหน่วยเป็น กิโลเมตร และ  $f$  มีหน่วยเป็น เมกะเฮิรตซ์ จากสมการนี้จะเห็นว่าค่าการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ จากรูปที่ 2.11 ถ้า  $P_T$  จุดกำเนิดกำลังงาน (Point source) แล้วความหนาแน่นกำลังงานของสัญญาณที่ตำแหน่งห่างออกไป  $d$  จะมีค่าเท่ากับ

$$p(d) = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $4\pi d^2$  คือ พื้นผิวของทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ  $d$



รูปที่ 2.11 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง

## 2.9 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้สูตรของฟรีส

โดยปกติในระบบแถบแคบ (Narrowband) นั้นจะถูกกำหนด โดยใช้สูตรของฟรีส แต่ในการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง ไม่สามารถนำสูตรของฟรีสมาใช้ได้โดยตรง เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ รูปร่างของสัญญาณนั้นอาจจะผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศ โดยได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีส เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

โดยให้สัญญาณอินพุตแทนด้วย  $v_i(t)$  และทำการคอนโวลูชันสัญญาณอินพุตด้วยสัญญาณที่ใช้ในการกรองความถี่ที่แทนด้วย  $h_i(t)$  ดังนี้

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t), \quad (2.9)$$

ซึ่ง

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1 \quad (2.10)$$

การปรับปรุง Friis' formula เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลเป็น จะได้เป็นดังนี้

$$H_{Friis}(f) = H_f \cdot \mathbf{H}_t \cdot \mathbf{H}_r \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (เอกสารค่า  
 $H_{e-Friis}(f) = H_f H_i \cdot \mathbf{H}_t \cdot \mathbf{H}_r$  (2.12)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$H_f$  คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ

$H_r$  คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวรับ

$H_t$  คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวส่ง

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก

$$H_{e-Friis, Iso}(f) = H_f H_i \quad (2.13)$$

## 2.10 แมตซ์ฟิลเตอร์

โดยเป็นการกรองความถี่โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์คำนวณในโดเมนของความถี่ ซึ่งส่วนของการกรองความถี่ทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อค่าสัญญาณรบกวนมีค่ามากที่สุดนั้นจะช่วยให้คุณภาพของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ดีขึ้น ดังสมการ

$$H_{MF}(f) = \frac{H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}}, \quad (2.14)$$

และสำหรับสมการ Isotropic

$$H_{MF, iso}(f) = \frac{H_{e-Friis, Iso}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis, Iso}(f)|^2 df}}, \quad (2.15)$$

ซึ่งจากสมการที่ได้ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ดังสมการนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1 \quad (2.16)$$

## 2.11 ค่าการสูญเสียกำลังงาน

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือ การคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ (PL) เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PL[dB] = 20 \log \left[ \frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t)|} \right] \quad (2.17)$$

โดยที่

- $v_t$  คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง
- $v_r$  คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง ( $PL_{UWB}$ ) นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง ( $d$ ) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.18 และ 2.19 ตามลำดับ

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[ \frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t,d)|} \right] \quad (2.18)$$

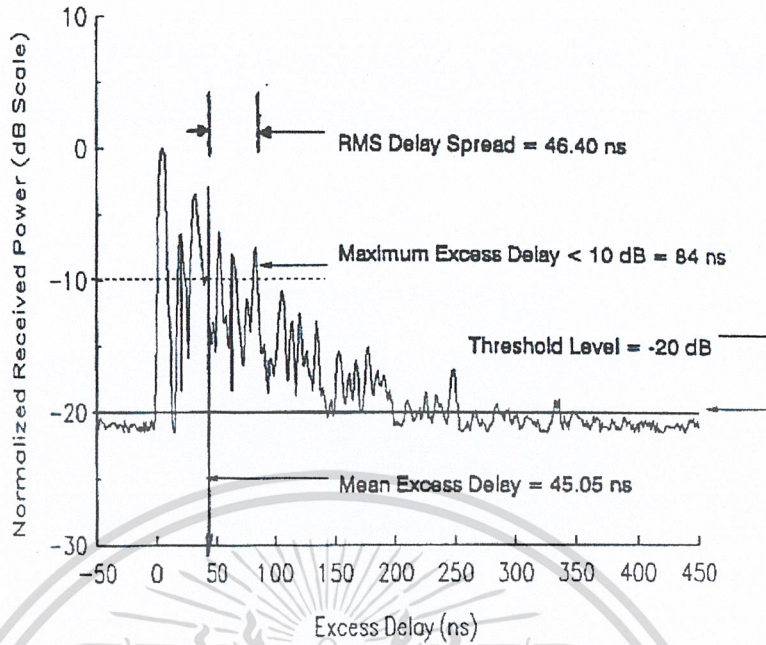
โดยในสมการที่ 2.18 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log \left[ \max |v_r(t,d)| \right] \quad (2.19)$$

## 2.12 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถีโดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP) ซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 2.12 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และ ค่าการแผ่ของเวลาประวิง (Rms delay spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

สำหรับค่าการแจกแจงกำลังงานนั้นจะนิยามคือ

$$P(\tau) = \frac{|h(t, \tau)|^2}{2} \quad (2.20)$$

โดยที่  $P(\tau)$  = การแจกแจงกำลังงาน

$h(t, \tau)$  = ผลตอบสนองพัลส์

### 2.13 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็นโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ดังแสดงนิยามตามสมการที่ 2.24 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ที่สองของผลคูณระหว่างค่าอัตสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ 2.21 ถึงสมการที่ 2.24 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho(d) = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{|r_a(\tau)r_b(\tau)|}} \quad (2.21)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้าม คือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau) v_r(t+\tau) dt \quad (2.22)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตสหสัมพันธ์ คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau) v_t(t+\tau) dt \quad (2.23)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau) v_r(t+\tau) dt \quad (2.24)$$

โดยที่

$v_t(t)$  คือ สัญญาณค่านส่ง

$v_r(t)$  คือ สัญญาณค่านรับ

## 2.14 อัตราความผิดพลาดบิต

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง ดังแสดงในสมการที่ 2.25

$$C_c = \frac{\int_0^{\infty} |V_c(f, d)| df}{\int_0^{\infty} |V_r(f, d)|^2 df \cdot \int_0^{\infty} |H_c(f, d)|^2 df} \quad (2.25)$$

$$BER_m = Q \left[ \sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b C_c}{br}} \right] \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, x \geq 0 \quad (2.27)$$

โดยที่

$E_b/N_0$  = อัตราพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวน

$C_c$  = พลังงานสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$br$  = อัตราในการส่งข้อมูล (บิตต่อวินาที)

$f_b$  = แบนด์วิดท์

## 2.15 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่นคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นต้น การนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งเป็นหลักการเบื้องต้นของเทคโนโลยีนี้ หลักการที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณในการสื่อสาร ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในวิทยานิพนธ์นี้ อันประกอบด้วยรายละเอียดของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะของช่องสัญญาณรวมถึงระบบการวัดที่มีอยู่ 2 แบบหลัก ๆ คือการวัดใน โดเมนเวลาและใน โดเมนความถี่ ซึ่งระบบการวัดแบบที่ 2 นั้นจะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบถึงผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในบทต่อไป จากนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ผลการลดทอนของกำลังงาน การผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ ผลการกระจายทางเวลา ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อันเนื่องด้วยผลกระทบจากปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# แบบการจำลองและการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

### 3.1 กล่าวนำ

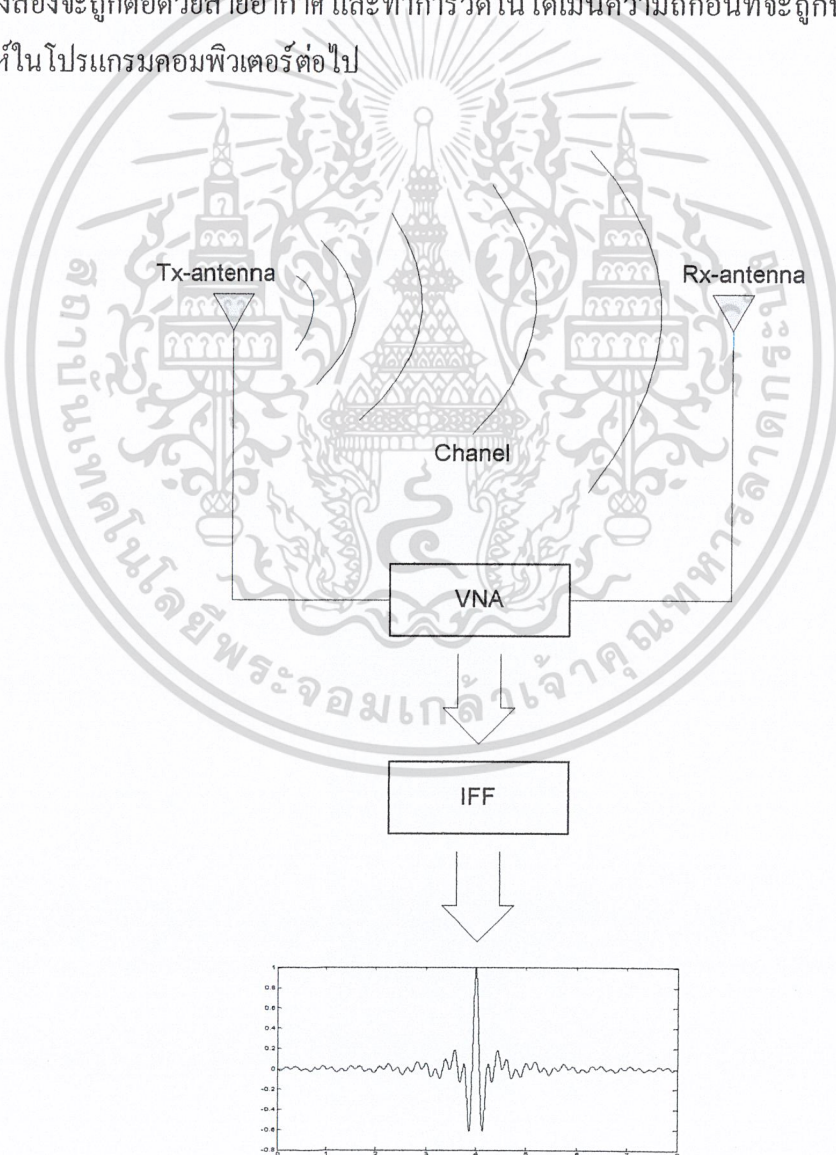
ในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองของการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งในการทดลองซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตรวจสอบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัด โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยงานวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบบนพื้นฐานของการวัดเป็นหลักสำหรับขั้นตอนในการวัดนั้นจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงในข้อหั่วต่อไปและสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสภาพแวดล้อมซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกิดจากผลกระทบของแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อระดับของสัญญาณบนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ในการศึกษาจำลองแบบจำลองออกเป็น 4 แบบจำลอง โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบในการวิเคราะห์ รูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1 คือ แบบจำลองที่ 1 และ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งการรับสัญญาณที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่สายอากาศทางด้านรับยึดติดกับเครื่องแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ และไม่ยึดติดเครื่องแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ และ รูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2 คือ แบบจำลองที่ 3 และ 4 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ต่อแพทเทิร์นของสายอากาศ โดยวางสายอากาศด้านรับไว้กึ่งกลางโต๊ะประชุม ทำการหมุนสายอากาศด้านรับครึ่งละ 5 องศา จนครบ 360 องศา โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่สายอากาศทางด้านรับยึดติดกับเครื่องแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ และไม่ยึดติดเครื่องแถบที่ออปคอมพิวเตอร์

หลังจากขั้นตอนการวัดเสร็จสิ้นลงข้อมูลที่ไ้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะแสดงในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิเช่น ผลของระดับกำลังงานที่สูญเสีย ค่าการแผ่ประวิง อีกทั้งผลที่แสดงให้เห็นถึงความเพี้ยนของสัญญาณโดยทำการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่มีผลกระทบและไม่มีผลกระทบจากแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 แบบแผนการจำลอง

แบบแผนการจำลองในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยั้งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และเครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านการ์ด GPIB (General purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณใน โคร่งข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดใน โดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.1 แบบจำลองการวัด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ใช้จำลองการวัดเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อการส่งผ่านสัญญาณในแถบกว้างยิ่งเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งต่อไปในอนาคต โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาถึงผลกระทบใน 4 รูปแบบจำลองดังได้กล่าวในรายละเอียดต่อไปนี้

### 3.3 รูปแบบจำลองการวัด

ในการจำลองการวัดได้ใช้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตร และสายอากาศทางด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ โดยทำการทดลองวัด 4 รูปแบบ โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบในการวิเคราะห์ รูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1 คือ แบบจำลองที่ 1 และ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งการรับสัญญาณที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่สายอากาศทางด้านรับยึดติดกับเครื่องแถบที่อปคอมพิวเตอร์ และไม่ยึดติดเครื่องแถบที่อปคอมพิวเตอร์ และรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2 คือ แบบจำลองที่ 3 และ 4 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ต่อแพทเทิร์นของสายอากาศ โดยวางสายอากาศด้านรับไว้กึ่งกลางโต๊ะประชุม ทำการหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศา จนครบ 360 องศา โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่สายอากาศทางด้านรับยึดติดกับเครื่องแถบที่อปคอมพิวเตอร์ และไม่ยึดติดเครื่องแถบที่อปคอมพิวเตอร์ รูปแบบจำลองการวัดแบบต่างๆที่ทำการวัดได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์ช่วงจรรยาแบบเวกเตอร์ ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจายการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้นและตัวส่งเคราะห์ความถี่เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 สายอากาศด้านส่งใช้สายอากาศปากแตร



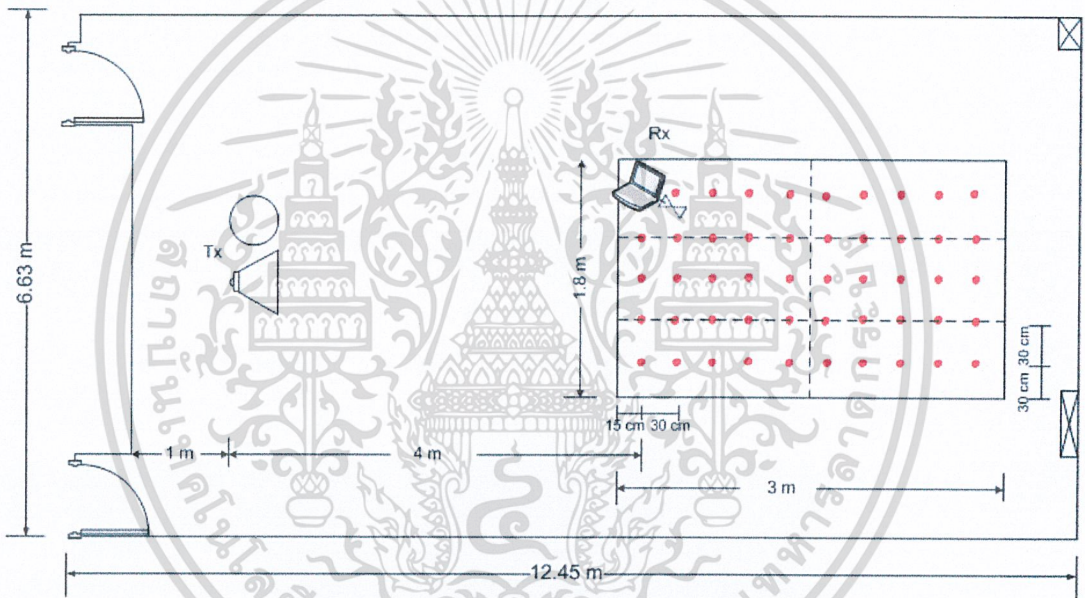
รูปที่ 3.4 รูปถ่ายการวัดจริงในห้องประชุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 รูปแบบจำลองเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศด้านรับ

#### 3.3.1.1 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 1

ในการทดลองวิจัยนี้ได้ทำการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยสายอากาศด้านส่งจะถูกต่อเข้ากับพอร์ตที่ 1 และสายอากาศทางด้านรับจะถูกต่อเข้ากับพอร์ตที่ 2 ตามลำดับ โดยทำการวัดสภาวะแวดล้อมภายในอาคารซึ่งมีลักษณะเป็นออฟฟิศทำงาน โดยในแบบจำลองที่ 1 กำหนดให้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตรมีความสูงจากพื้น 2.00 เมตร สายอากาศทางด้านส่งจะอยู่ตำแหน่งเดิมตลอดการวัด สายอากาศทางด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่มีความสูงจากพื้น 0.74 เมตร ซึ่งสายอากาศทางด้านรับได้ยึดติดกับเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ ทำการวัดทุกจุดโดยเลื่อนตำแหน่งสายอากาศด้านรับตามจุดต่าง ๆ บนโต๊ะประชุม ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 มุมมองด้านบนของแบบจำลองที่หนึ่ง

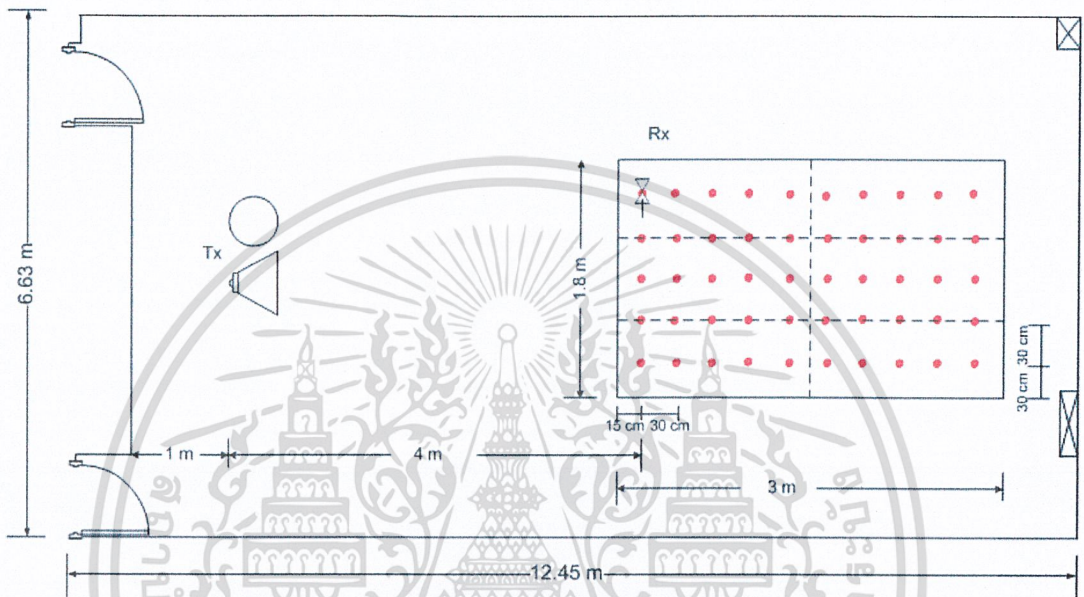


รูปที่ 3.6 รูปถ่ายการวัดจริงของแบบจำลองที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.2 รูปแบบจำลองการวัดที่ 2

แบบจำลองการวัดแบบที่ 2 คล้ายกับแบบจำลองการวัดแบบที่ 1 แต่แตกต่างกันที่สายอากาศทางด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่จะ ไม่มีการยึดติดกับเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ แล้วเลื่อนสายอากาศทางด้านรับไปตามจุดต่างๆที่กำหนดไว้บนโต๊ะประชุม ในรูปที่ 3.7 แสดงภาพจำลองลักษณะห้องและอุปกรณ์ในการทดลอง



รูปที่ 3.7 มุมมองด้านบนของแบบจำลองที่สอง



รูปที่ 3.8 รูปถ่ายการวัดจริงของแบบจำลองที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายอากาศส่งนั้นได้ใช้สายอากาศแบบปากแตรเนื่องจากเป็นสายอากาศที่ให้ อัตราขยายสูง และมีบีบีเมตริกซ์แคบตามที่ต้องการ และสายอากาศด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ เป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65.3 มิลลิเมตร และมีความยาว 37 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นมาตรฐานของสายอากาศ โดยติดตั้งอยู่ที่พอร์ตที่ 2 ซึ่งยึดติดกับ แพลทีออปคอมพิวเตอร์

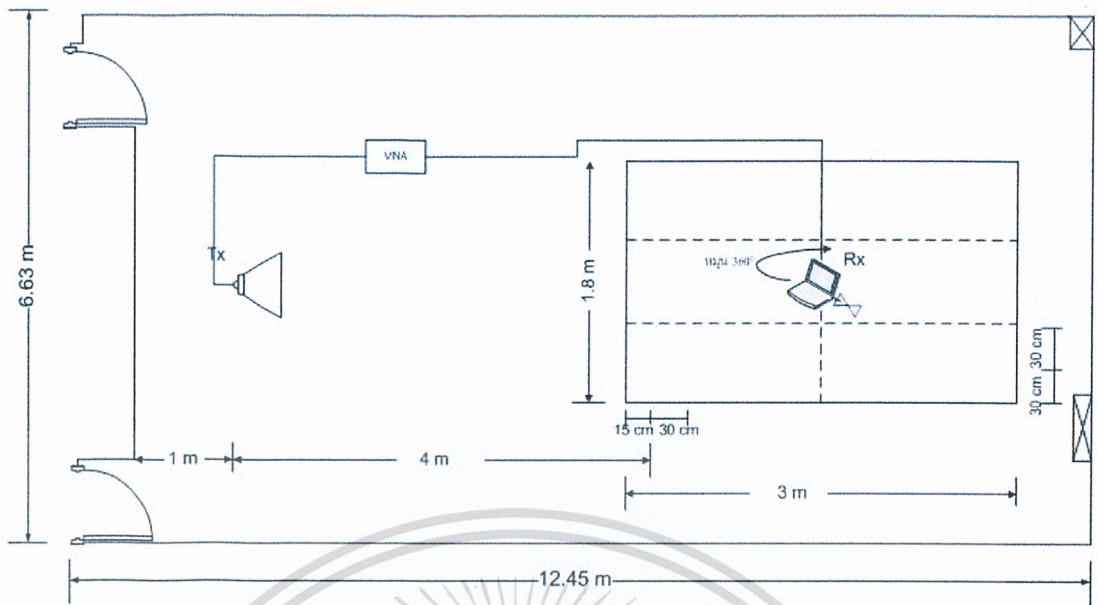
ในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งยั้งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวคเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะถูกรวบรวมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณใน โครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

### 3.3.2 รูปแบบจำลองหมุนสายอากาศด้านรับ

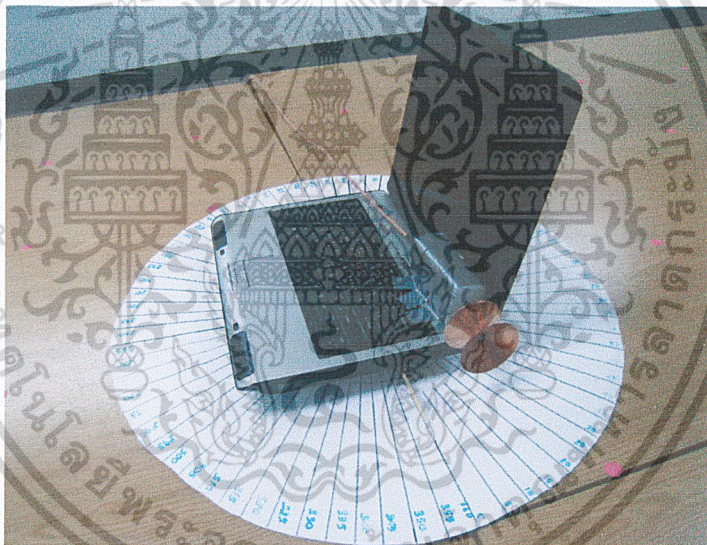
#### 3.3.2.1 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 3

ในการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งยั้ง ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวคเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัด และได้ทำการวัดในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารซึ่งมีลักษณะเป็นออฟฟิศทำงาน กำหนดให้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตรมีความสูงจากพื้น 2.00 เมตร สายอากาศทางด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่มีความสูงจากพื้น 0.74 เมตร ซึ่งสายอากาศทางด้านรับได้ยึดติดกับเครื่องแพลทีออปคอมพิวเตอร์ โดยวางสายอากาศด้านรับไว้กึ่งกลางโต๊ะประชุม แล้วทำการหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศา จนครบ 360 องศา ในรูปที่ 3.9 แสดงภาพจำลองลักษณะห้องและอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 มุมมองด้านบนของแบบจำลองที่สาม

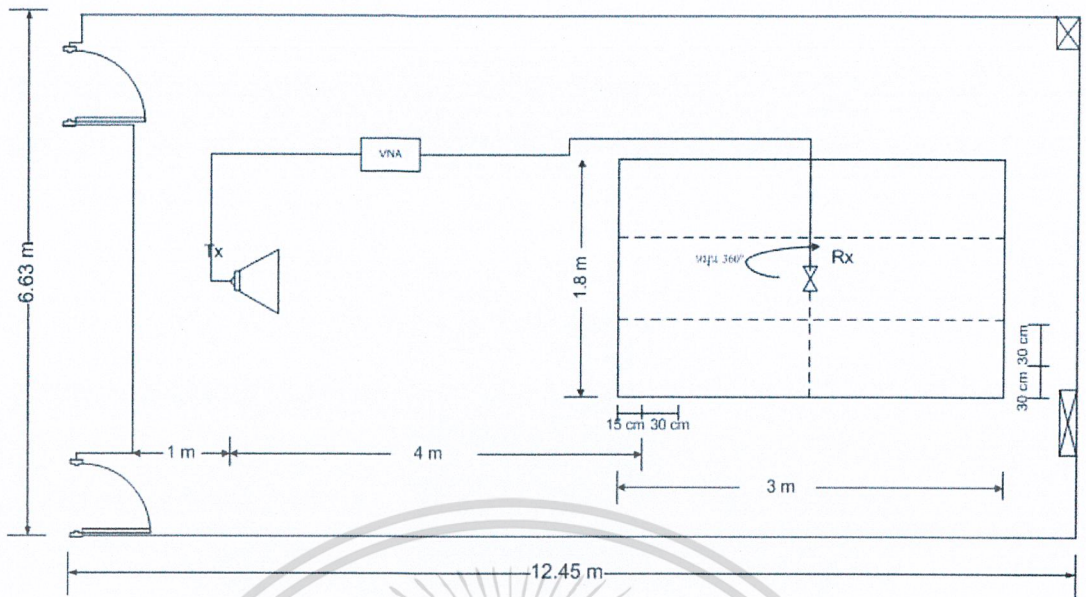


รูปที่ 3.10 รูปถ่ายการวัดจริงของแบบจำลองที่สาม

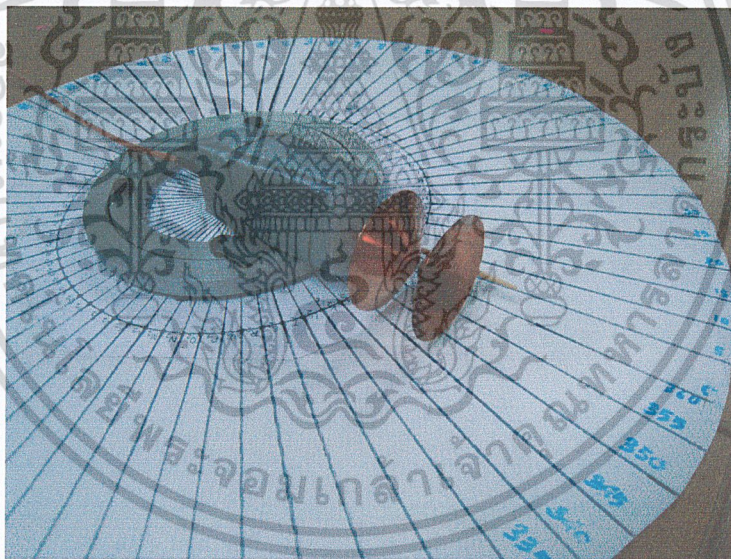
### 3.3.2.2 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 4

การทดลองวัดรูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 4 คล้ายกับ แบบจำลองการวัดแบบที่ 3 แต่แตกต่างกันคือ สายอากาศด้านรับจะไม่มีที่ยึดติดกับเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ แล้วทำการหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศา จนครบ 360 องศา ในรูปที่ 3.11 แสดงภาพจำลองลักษณะห้องและอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 มุมมองด้านบนของแบบจำลองที่ดี



รูปที่ 3.12 รูปถ่ายการวัดจริงของแบบจำลองที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงถึงรูปแบบจำลองการวัดและทดสอบสัญญาณแถบกว้างยิ่งภายในห้อง โดยได้แบ่งออกเป็น 4 แบบ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดและบันทึกในโดเมนทางความถี่เพื่อนำผลที่ได้จากการวัด ไปวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งด้วยโปรแกรม MATLAB กรณีที่มีผลกระทบจากเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์และไม่มีผลกระทบจากเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งสายอากาศทางด้านรับที่แตกต่างกัน และกรณีที่มีผลกระทบจากเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์และไม่มีผลกระทบจากเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ในการหมุนสายอากาศด้านรับ โดยนำผลการวัดที่ได้นำไปวิเคราะห์และแสดงผลในพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในบทถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การวัดและการทดสอบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

### 4.1 กล่าวนำ

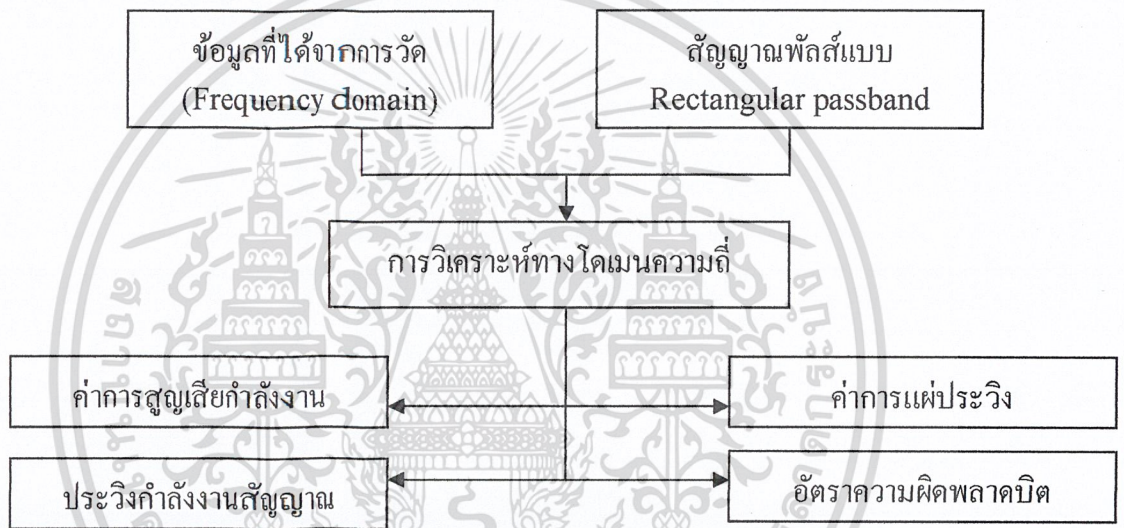
ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตรวจสอบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ บน โปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัด โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยงานวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบบนพื้นฐานของการวัดเป็นหลักสำหรับขั้นตอนในการวัดนั้นจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงในข้อหัวต่อไป และสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสภาพแวดล้อมซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกิดจากผลกระทบของเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อระดับของสัญญาณบนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยได้กำหนดการจำลองของการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ กรณีที่มีผลกระทบจากเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์และไม่มีผลกระทบจากเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งสายอากาศทางด้านรับที่แตกต่างกัน และกรณีที่มีผลกระทบจากเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์และไม่มีผลกระทบจากเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ในการหมุนสายอากาศด้านรับ

หลังจากขั้นตอนการวัดเสร็จสิ้นลงข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะแสดงในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิเช่น ผลของระดับกำลังงานที่สูญเสีย ค่าการแผ่ประวิง อีกทั้งผลที่แสดงให้เห็นถึงความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่มีผลกระทบและไม่มีผลกระทบจากเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 แบบแผนการวัด

รูปแบบการจำลองการวัดในแต่ละแบบที่ได้กล่าวในข้างต้นเป็นการตรวจสอบถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายใต้สภาวะที่กำหนดขึ้น โดยในการทดลองนี้ต้องการที่จะตรวจสอบถึงผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอรืที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งสิ่งที่ได้จากการทดลองนั้นคือฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่รวมผลของสายอากาศเข้าไปด้วย จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยแสดงในพารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป โดยในรูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดของแต่ละการทดลอง



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัด

## 4.3 ระบบการวัด

### 4.3.1 รูปแบบสัญญาณส่งของแบบแถบกว้างยิ่ง

ในขั้นตอนของการตรวจสอบความเพี้ยนของพัลส์ในรูปแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดไว้ คือเราจะพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวม 6.85 กิกะเฮิรตซ์ และ 7.5 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองนั้น เราได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular passband) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_i(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)] \quad (5.1)$$

โดยที่

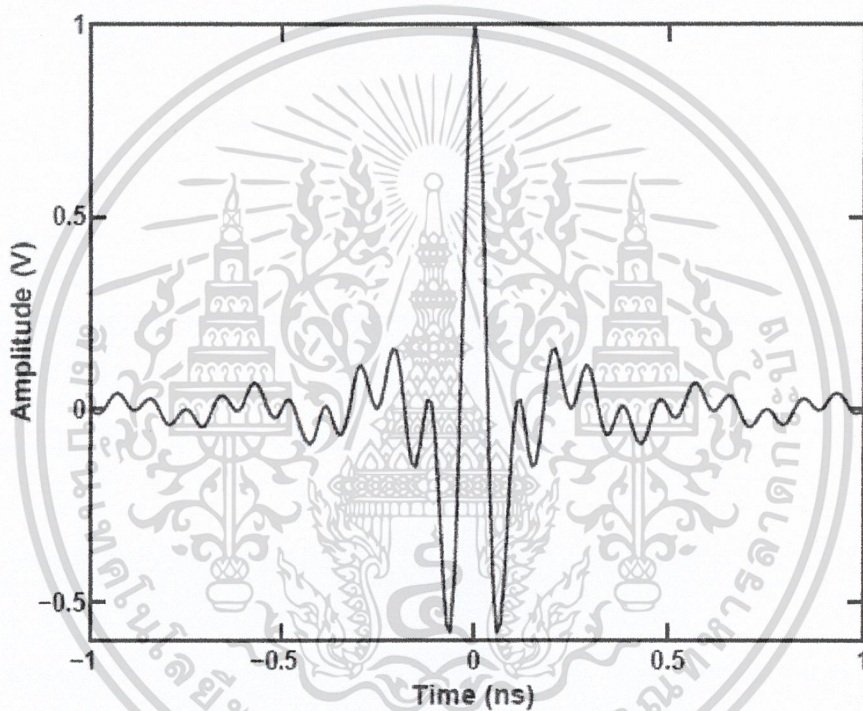
$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{(\pi x)}$$

$$f_{\max} = 10.6 \text{ กิกะเฮิรตซ์}$$

$$f_{\min} = 6.85 \text{ กิกะเฮิรตซ์}$$

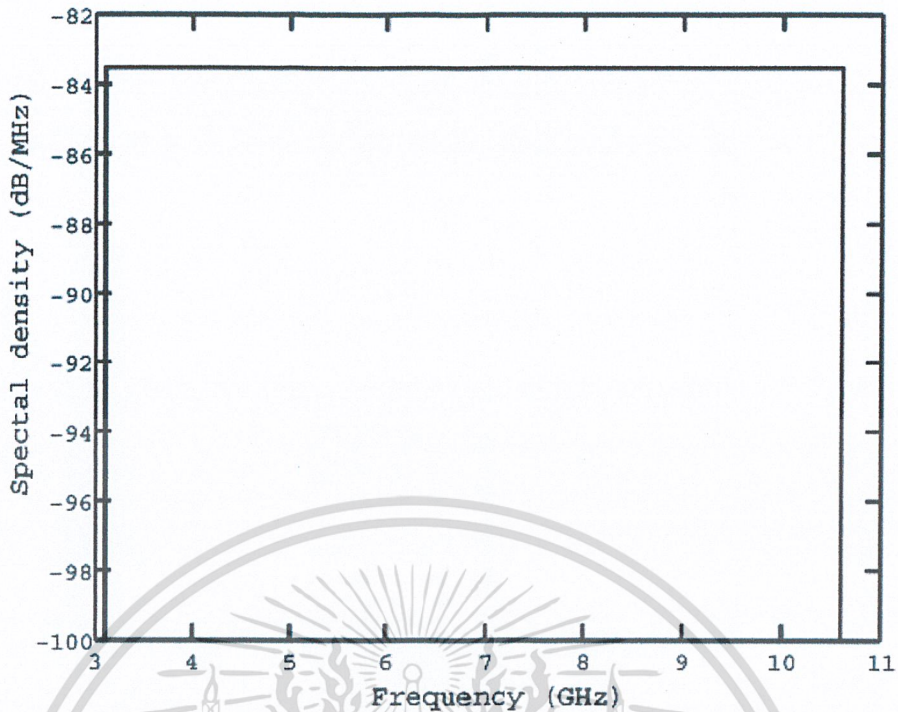
$$f_b = f_{\max} - f_{\min} = 7.5 \text{ กิกะเฮิรตซ์}$$

ในการวิเคราะห์ ซึ่งในรูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบของพัลส์ที่ใช้ส่งผ่าน



รูปที่ 4.2 รูปคลื่นสัญญาณส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมสัญญาณส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง

#### 4.3.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์การวัด

ในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวคเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลอง ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณใน โคจรข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต้องด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัด ไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

#### 4.3.3 ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ในการตรวจวัดช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งเรียกว่า สายอากาศ (Antenna) ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็น

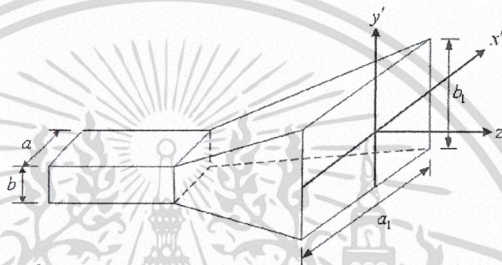
สัญญาณไฟฟ้าตามเดิม โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศอยู่ 2 ชนิดแต่ละชนิดจะใช้สายอากาศอยู่สองชุดคือ สายอากาศทางด้านส่ง และสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร์กระจายคลื่น (Radiation pattern) แบบรอบตัว (Omni-directional) และเป็นสายอากาศที่ตอบสนองความถี่ได้กว้าง (Wideband) ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) โดยสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดดังนี้

#### 4.3.3.1 สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิด

สายอากาศปากแตรทรงพีระมิดเป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมีรูปทรงเรขาคณิต ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สายอากาศปากแตรทรงพีระมิด

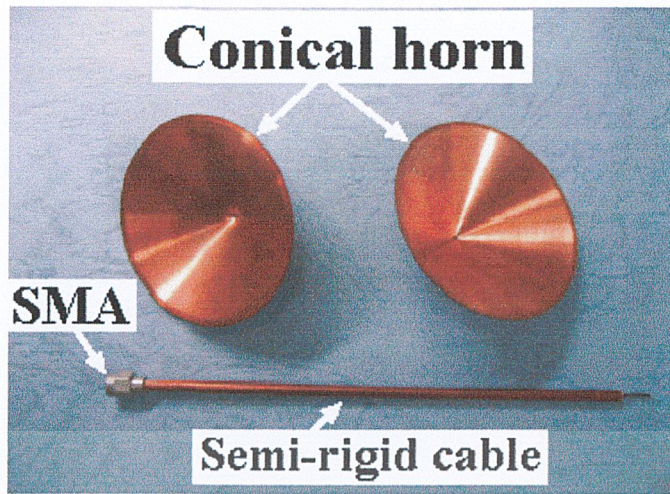
ท่อนำคลื่นสามารถแผ่กระจายกำลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้หลายโหมด (Mode) โดยมีจำนวนของโหมดที่ไม่สิ้นสุด แต่ละโหมดจะมีองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเป็นเอกลักษณ์ของตัวเอง ถ้ามุมเปิดของปีกของสายอากาศปากแตรทรงพีระมิด มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะมีเพียงโหมดการกระจายคลื่นเป็นใหญ่ที่เรียกว่า Dominant Mode เท่านั้นที่สำคัญที่สุด

เส้นสนามของโหมดเป็นใหญ่ในกรณีที่เป็นสายอากาศปากแตรแบบเชกเตอร์ จะถูกแผ่ขยายออกไปในลักษณะของรูปทรงกระบอก (Cylindrical Form) และในกรณีที่เป็นสายอากาศปากแตรทรงพีระมิดถูกแผ่ขยายออกในรูปของทรงกลม

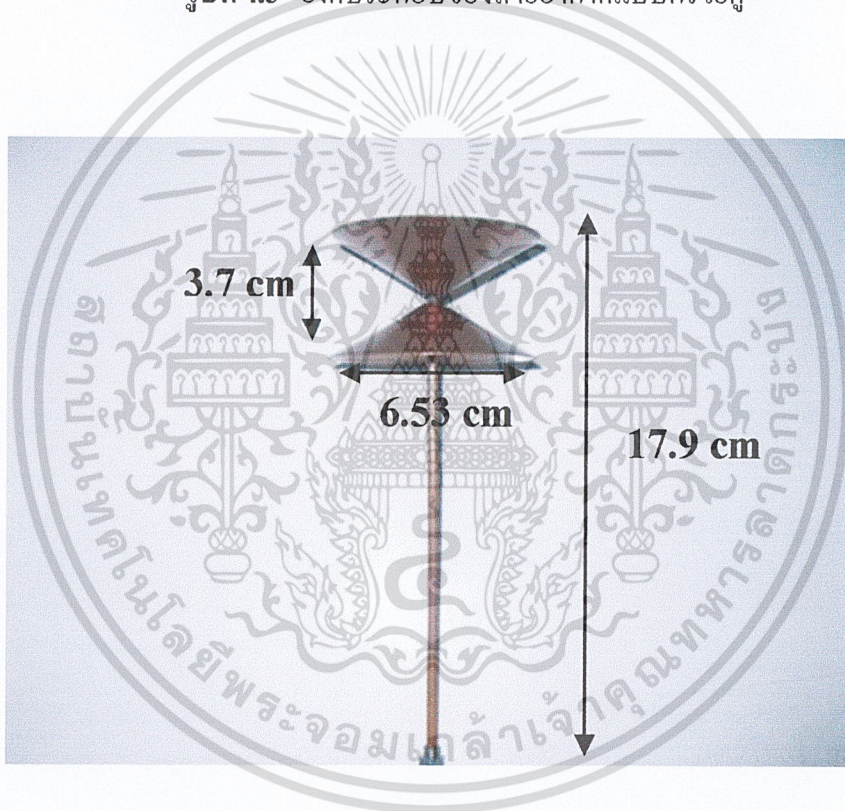
#### 4.3.3.2 สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) เป็นหนึ่งในสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยมีคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในมุมกวาด (Azimuth) มีอัตราการขยาย (Gain) อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 15.0 เดซิเบล รูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.6 จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

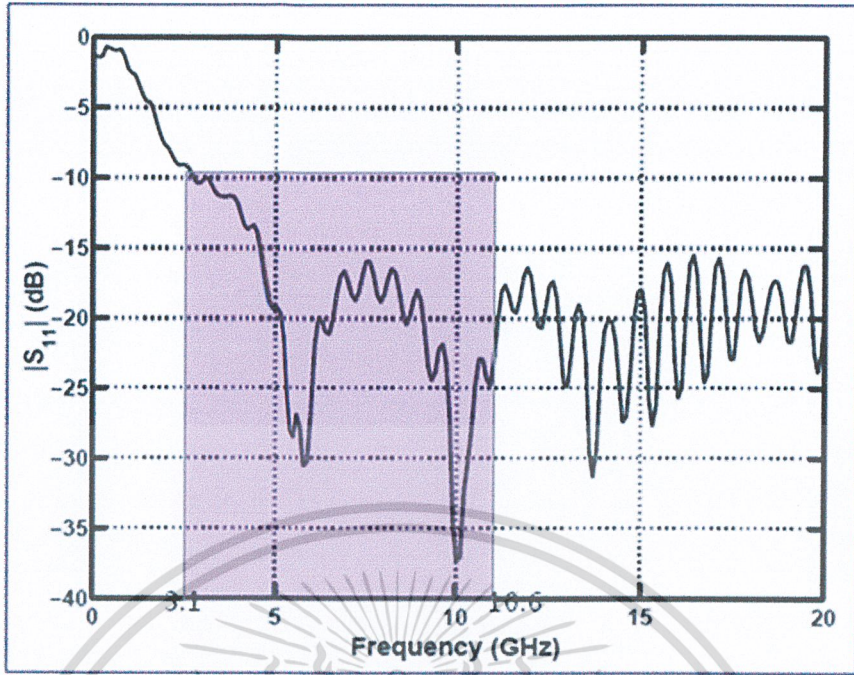


รูปที่ 4.5 องค์ประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.6 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7  $|S_{11}|$  คุณสมบัตินิยามสายอากาศแบบกรวยคู่

จากรูปที่ 4.4 นั้น ได้แสดงองค์ประกอบของสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดและรูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่ซึ่งมีความยาวเท่ากับ 17.9 เซนติเมตร และมีความกว้าง 6.53 เซนติเมตร

#### 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แบ่งเป็น 2 รูปแบบในการวิเคราะห์ซึ่งได้แสดงค่าต่างๆดังตารางที่ 4.1

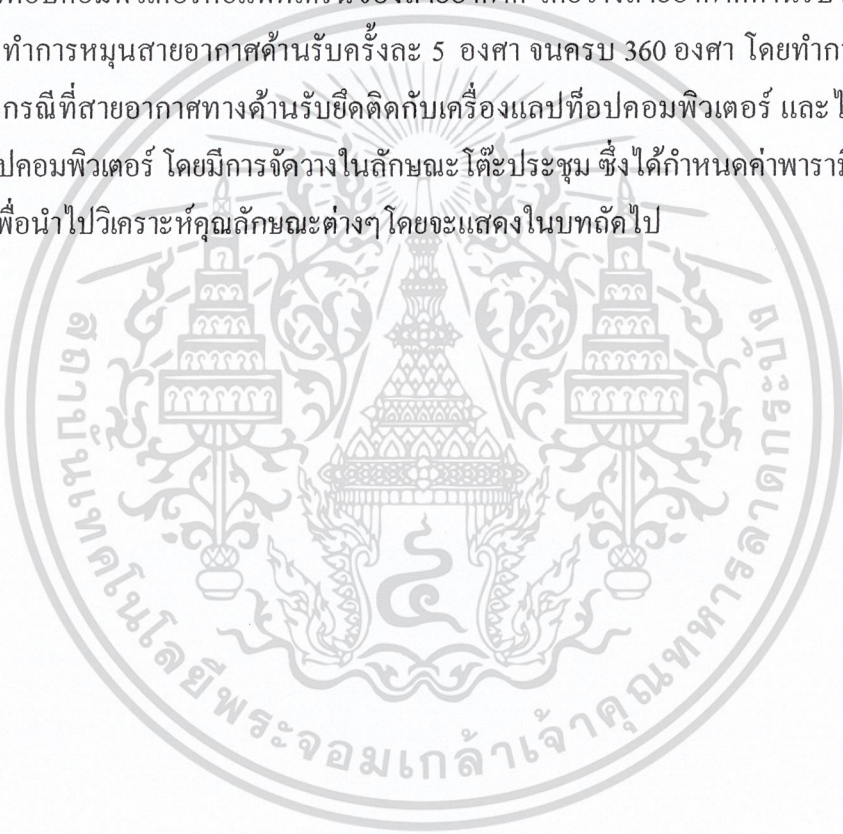
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ทดสอบ
ช่วงความถี่	3 กิกะเฮิรตซ์ – 11 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801
ชนิดสายอากาศด้านส่ง	สายอากาศปากแตร
ชนิดสายอากาศด้านรับ	สายอากาศแบบกรวยคู่
ทิศทางการวางตัวของสายอากาศด้านรับ	แนวนอน
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	2.00 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.74 เมตร
ระยะห่างแต่ละจุดความถี่	0.30 เมตร
จำนวนจุดที่ใช้ในการวัด	50 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ควรกรณีใดๆ ที่มีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## 4.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งภายในห้องประชุม ประกอบกับการใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรจ่ายแบบเวคเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดบน โดเมนความถี่เพื่อตรวจสอบถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง รูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1 คือ แบบจำลองที่ 1 และ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งการรับสัญญาณที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่สายอากาศทางด้านรับยึดติดกับเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ และไม่ยึดติดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ และรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2 คือ แบบจำลองที่ 3 และ 4 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์ต่อแพทเทิร์นของสายอากาศ โดยวางสายอากาศด้านรับไว้กึ่งกลางโต๊ะประชุม ทำการหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศา จนครบ 360 องศา โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่สายอากาศทางด้านรับยึดติดกับเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ และไม่ยึดติดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ โดยมีการจัดวางในลักษณะโต๊ะประชุม ซึ่งได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้ข้างต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ โดยจะแสดงในบทถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการวัดและการวิเคราะห์

#### 5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมแบบจำลองการวัดทั้ง 4 แบบ โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบการวิเคราะห์ รูปแบบการวิเคราะห์ที่ 1 คือ แบบจำลองที่ 1 และ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งการรับสัญญาณที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่สายอากาศทางด้านรับยึดติดกับเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ และไม่ยึดติดเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ และรูปแบบการวิเคราะห์ที่ 2 คือ แบบจำลองที่ 3 และ 4 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ต่อแพทเทิร์นของสายอากาศ โดยวางสายอากาศด้านรับไว้กึ่งกลางโต๊ะประชุม ทำการหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศา จนครบ 360 องศา โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่สายอากาศทางด้านรับยึดติดกับเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ และไม่ยึดติดเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ โดยจะแสดง กราฟการสูญเสียเชิงวิถี กราฟเชิงขั้วของการสูญเสียเชิงวิถี กราฟเชิงขั้วของการประวิงเวลาของสัญญาณ และผลกระทบจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์โดยมีการจัดวางในลักษณะ โต๊ะประชุม

#### 5.2 ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์

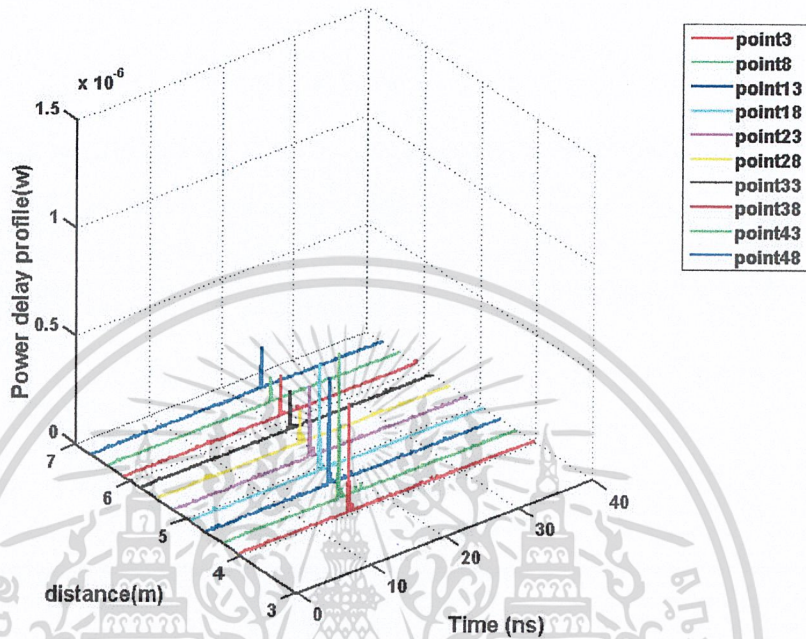
##### 5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองการวัดแบบที่ 1

การทดลองการวัดแบบที่ 1 กำหนดให้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิด สายอากาศทางด้านส่งจะอยู่ตำแหน่งเดิมตลอดการวัด สายอากาศทางด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งสายอากาศทางด้านรับได้ยึดติดกับเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ ทำการวัดทุกจุด โดยเลื่อนตำแหน่งสายอากาศด้านรับตามจุดต่างๆบนโต๊ะประชุม ตามการจำลองการวัดแบบที่ 1 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆดังนี้

##### 5.2.1.1 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

ในการแสดงผลของภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกน คือ เวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ระดับกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับและระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและทางด้านรับ จากรูปที่ 5.1 สังเกตได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านรับอยู่ห่างจากสายอากาศทางด้านส่งเพิ่มมากขึ้น

เรื่อย ค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าลดลงและระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับที่ใกล้ที่สุดจะใช้เวลาในการเข้าถึงน้อยที่สุด และสัญญาณที่ได้รับจะมีค่ากำลังงานสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่นที่อยู่ไกลออกไป

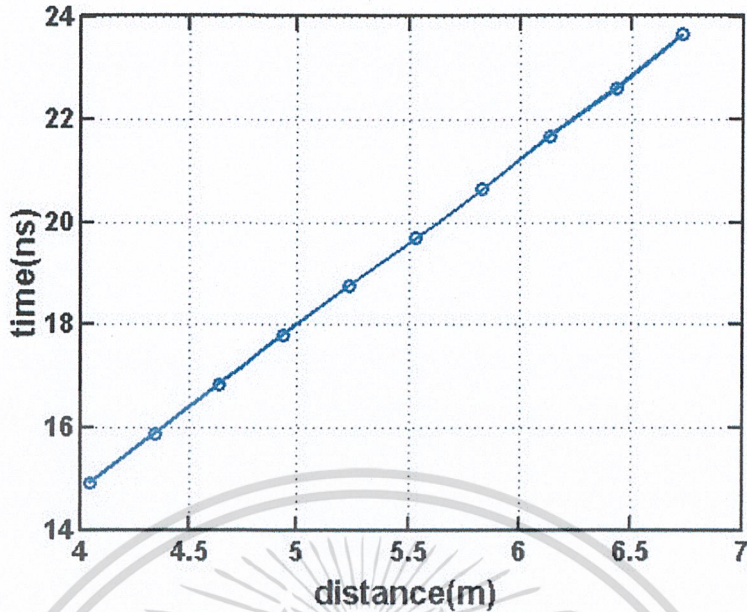


รูปที่ 5.1 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละระยะทางที่มีผลกระทบจากเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1)

### 5.2.1.2 ค่าการแผ่ประวิงเวลา

จากรูปที่ 5.2 สังเกตได้ว่าค่าการแผ่ประวิงจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับซึ่งจะสอดคล้องกับรูปที่ 5.2

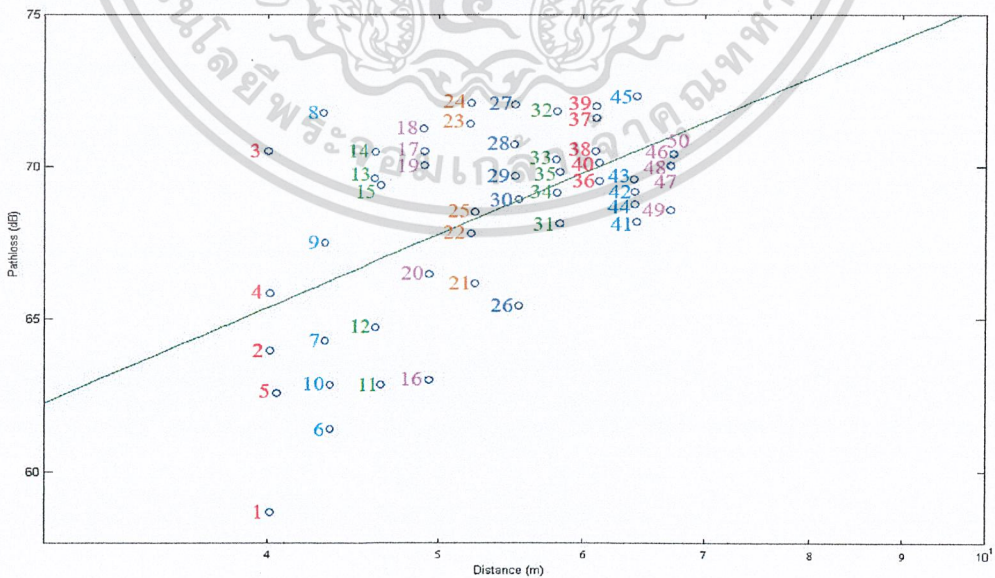
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การแผ่ประจําในแต่ละระยะทางที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอรฺ (แบบที่ 1)

### 5.2.1.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

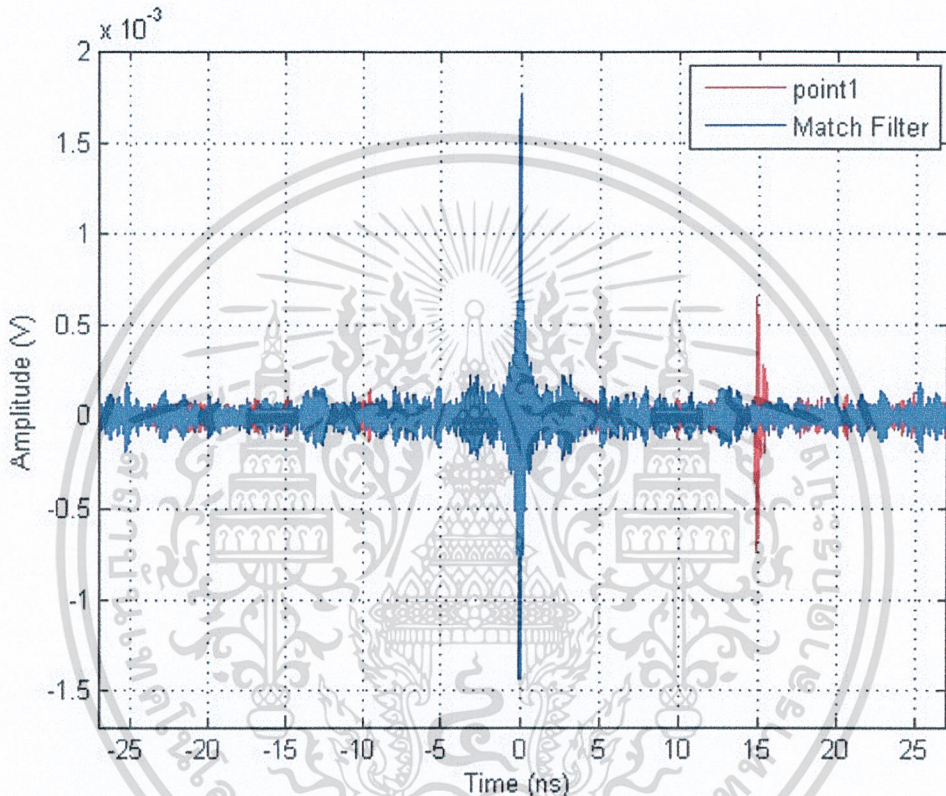
การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากสภาพแวดล้อมภายในอาคารจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางซึ่งอาจจะมีผลกระทบอย่างอื่นนอกจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอรฺ เช่น ผนัง เพดาน และพื้น โตะประชุม เป็นต้น



รูปที่ 5.3 การสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละระยะทางที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอรฺ (แบบที่ 1)

#### 5.2.1.4 สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตช์ที่มีค่าที่ดีที่สุด

แอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านวงจรกรองแบบแมตช์ที่มีค่าที่ดีที่สุดในรูปแบบของกราฟ 2 แกน คือ ค่าของเวลาที่สัญญาณมาถึงยังด้านรับแสดงได้ในแกนนอนและค่าแอมพลิจูดของสัญญาณแสดงในแกนตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงค่าอัตราการขยายการส่งผ่านระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับที่มีค่าการสูญเสียของสัญญาณที่วัดได้จากสภาพแวดล้อมภายในอาคารจะมีค่าเพิ่มขึ้น

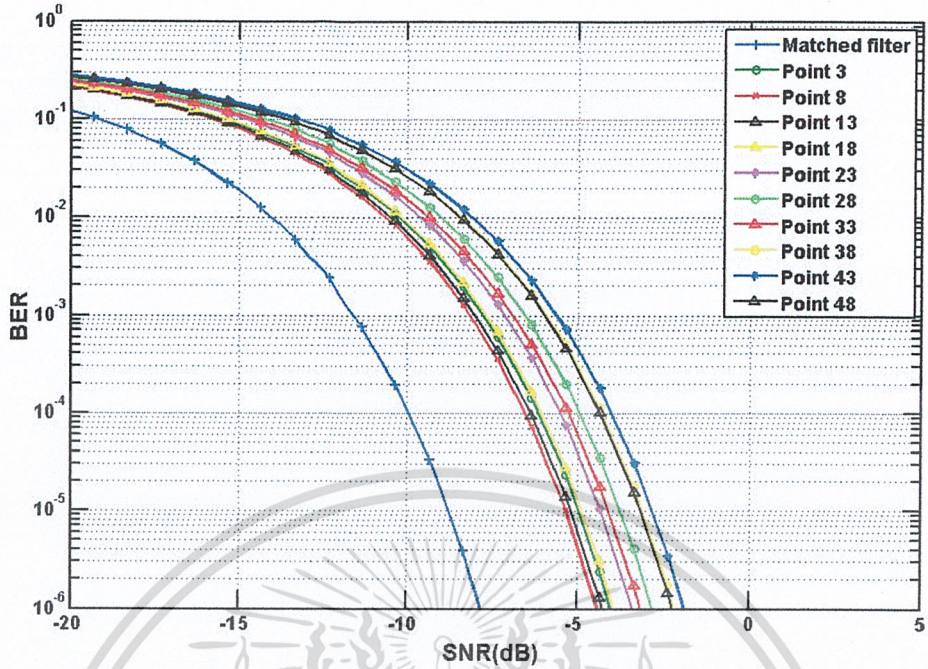


รูปที่ 5.4 รูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง ที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1)

#### 5.2.1.5 อัตราความผิดพลาดบิต

จากข้อมูลที่ทำการวัด ตำแหน่งที่ 3,8,13,18,23,28,33,38 และ 43 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางในแต่ละแถวซึ่งจะรับสัญญาณได้ดีที่สุดในแต่ละแถว สังเกตได้ว่าที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับมากขึ้นค่าอัตราการความผิดพลาดบิตจะเพิ่มสูงขึ้นตาม นั่นหมายความว่าถึงระบบที่เราพิจารณาอยู่ในขณะนั้นมีประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อมีระยะทางที่มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

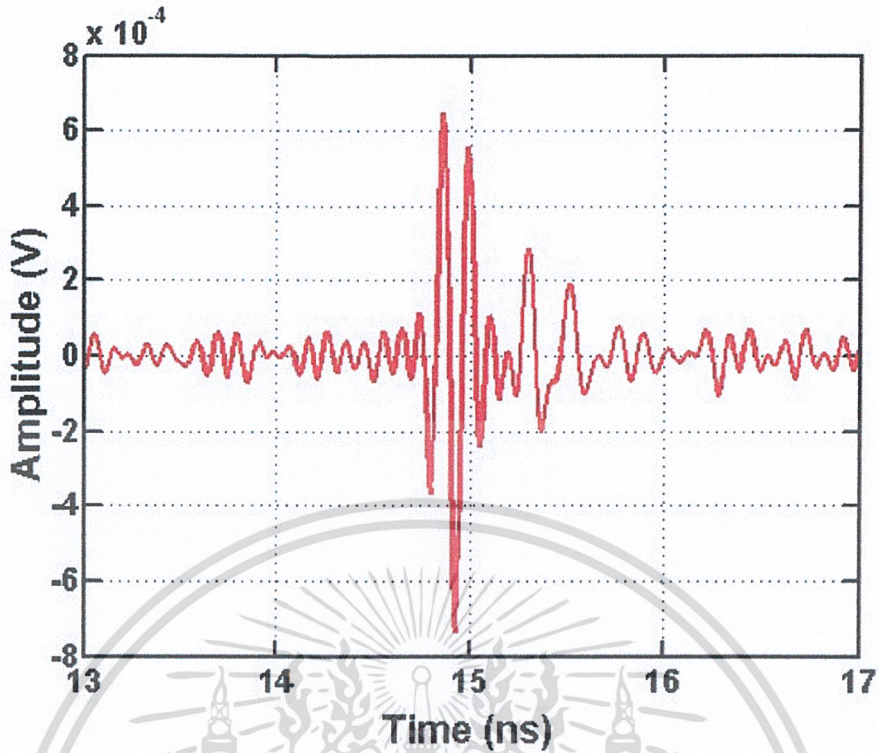


รูปที่ 5.5 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง ที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1)

#### 5.2.1.6 สัญญาณที่รับได้

สัญญาณที่รับได้จากจุดที่วัดสัญญาณได้ดีที่สุดจากข้อมูลที่ทำกรวัดทั้งหมด คือ ตำแหน่งที่ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางของแถวแรกซึ่งมีระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและทางด้านรับไกลที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

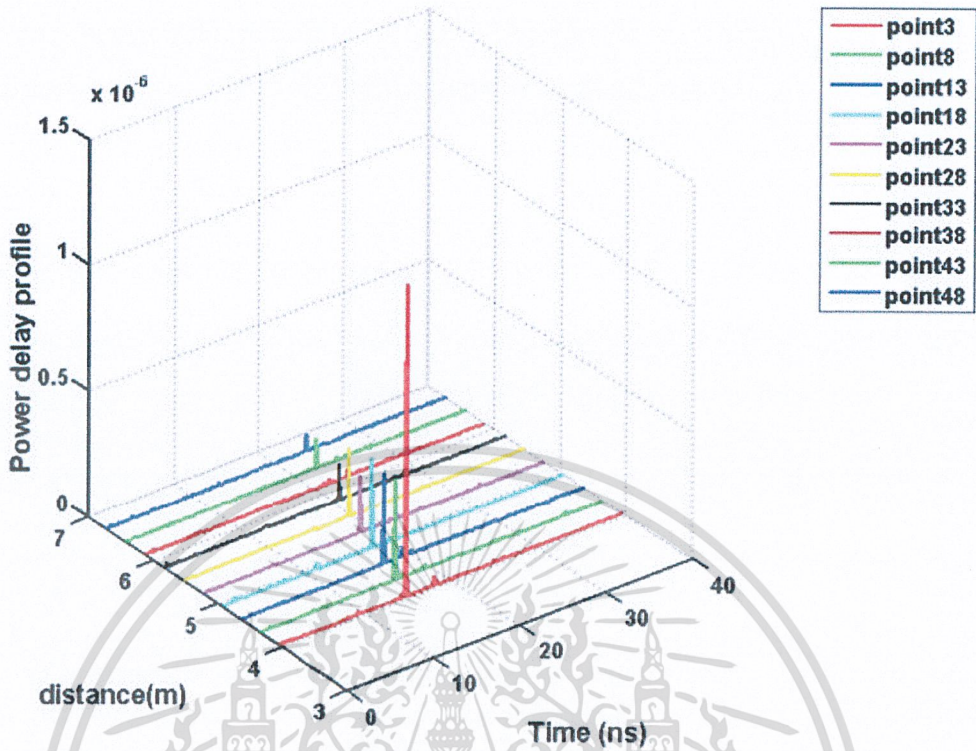


รูปที่ 5.6 รูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้ในตำแหน่งที่ 3 ที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1)

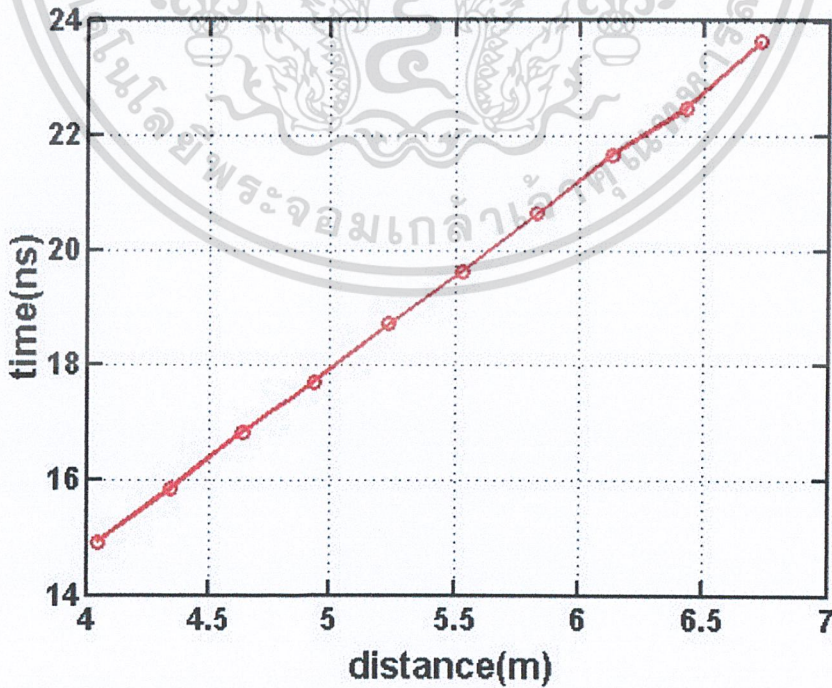
### 5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองการวัดแบบที่ 2

การทดลองการวัดแบบที่ 2 มีลักษณะคล้ายการทดลองการวัดที่ 1 แตกต่างกันที่สายอากาศทางด้านรับจะไม่มีกรยึดติดกับเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ ใช้สายอากาศด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ทำการวัดทุกจุดโดยเลื่อนตำแหน่งสายอากาศด้านรับตามจุดต่างๆบนโต๊ะประชุม และทำการวัดเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหมือนกับการทดลองวัดแบบที่ 1 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆแสดงได้ดังต่อไปนี้

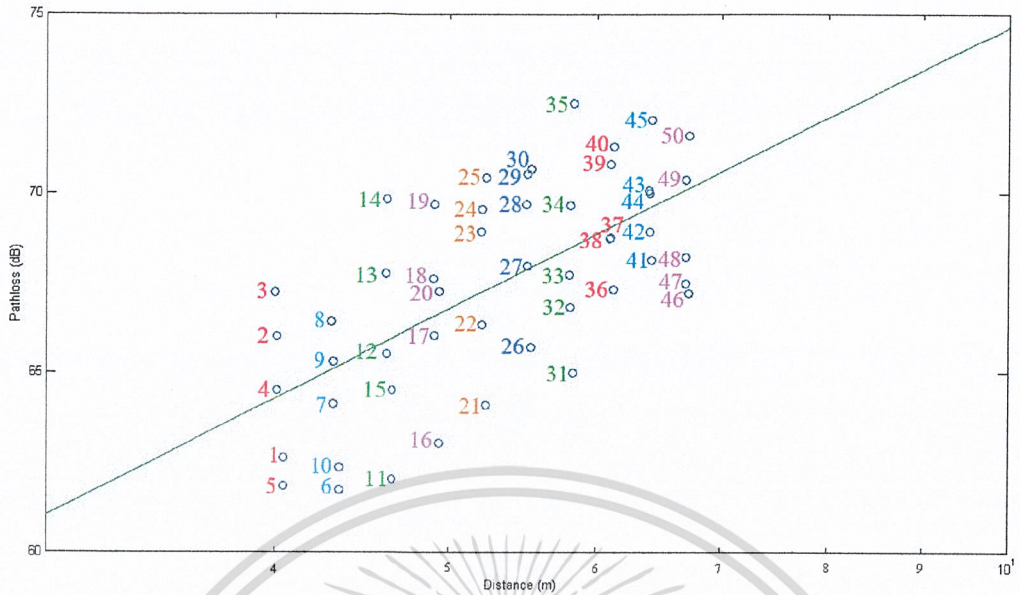
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



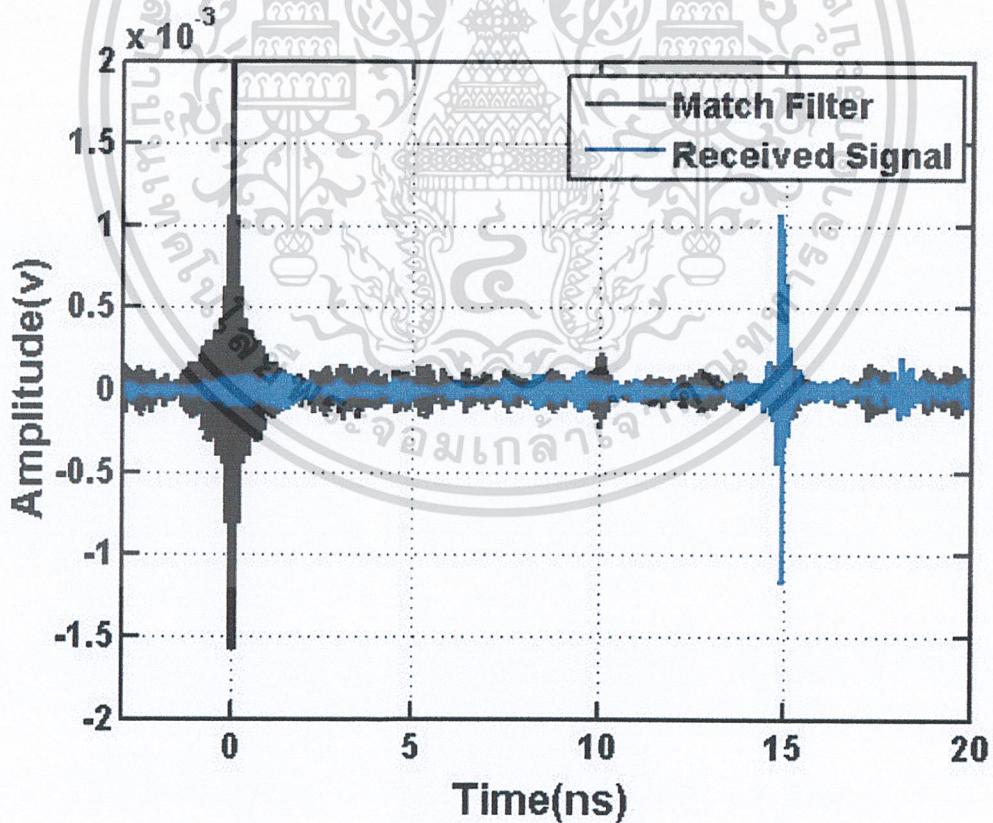
รูปที่ 5.7 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละระยะทางที่ไม่มีผลกระทบจากเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.8 การแผ่ประวิงในแต่ละระยะทางที่ไม่มีผลจากเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง (แบบที่ 2) ด้แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



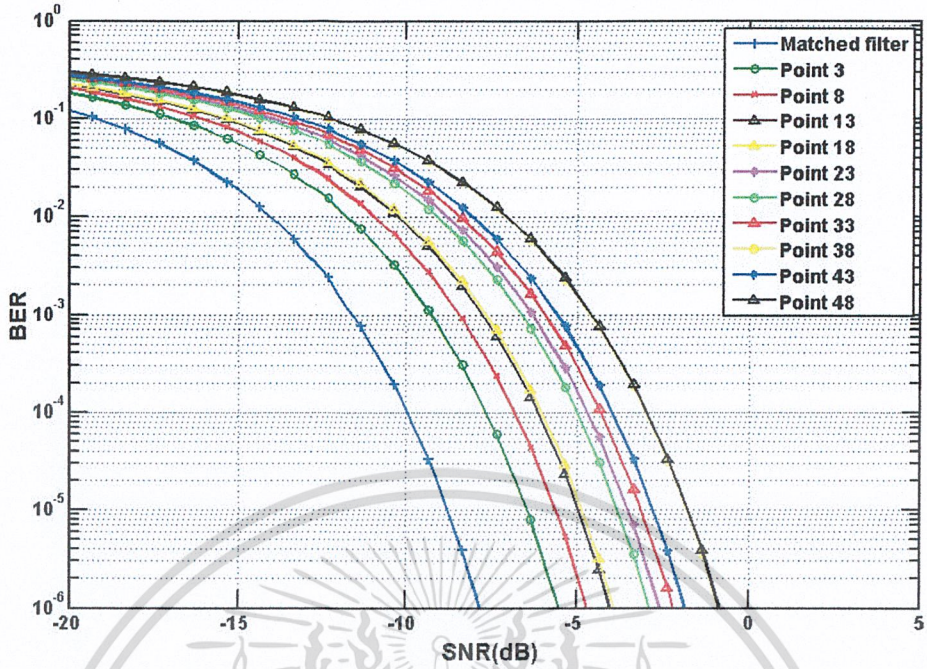
รูปที่ 5.9 การสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละระยะทางที่ไม่มีผลจากเครื่องแปลที่อปคอมพิวเตอรื (แบบที่ 2)



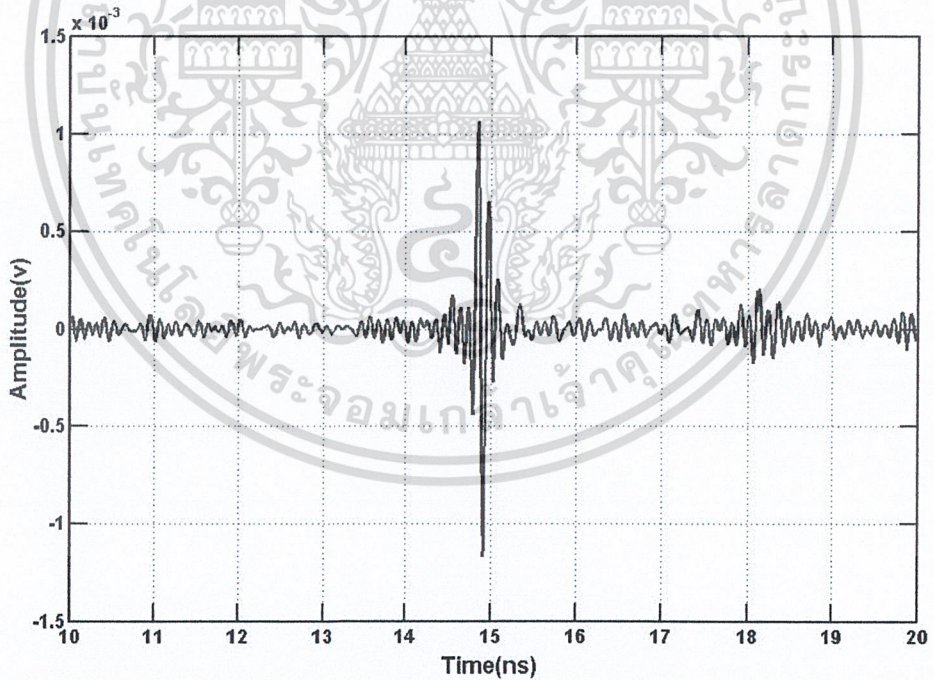
รูปที่ 5.10 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์

แบบแถบกว้างยิ่งไม่มีผลจากเครื่องแปลที่อปคอมพิวเตอรื (แบบที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่ไม่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2)



รูปที่ 5.12 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในตำแหน่งที่ 3 ที่ไม่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2)

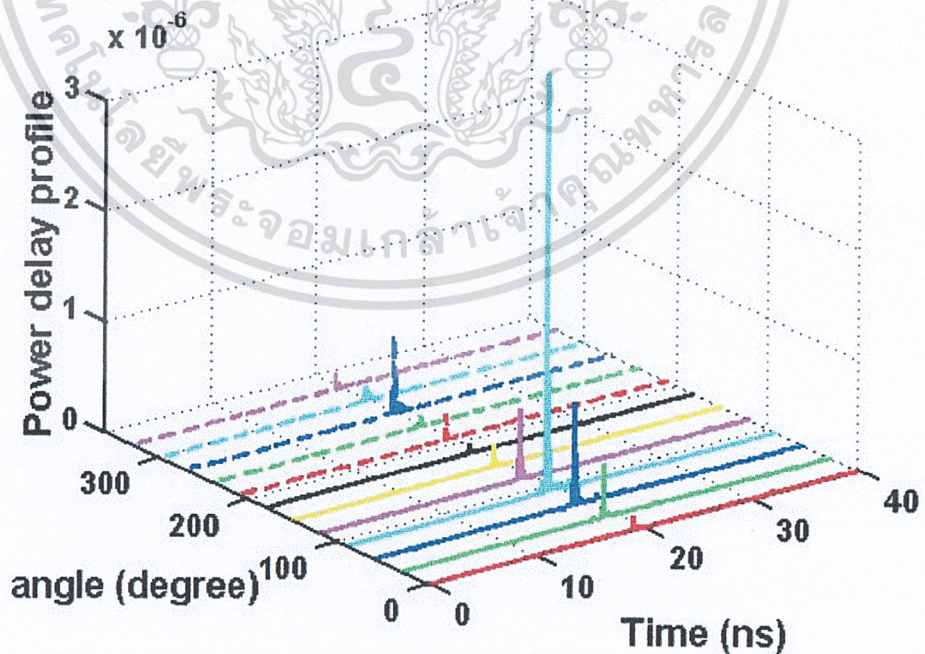
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองการวัดแบบที่ 3

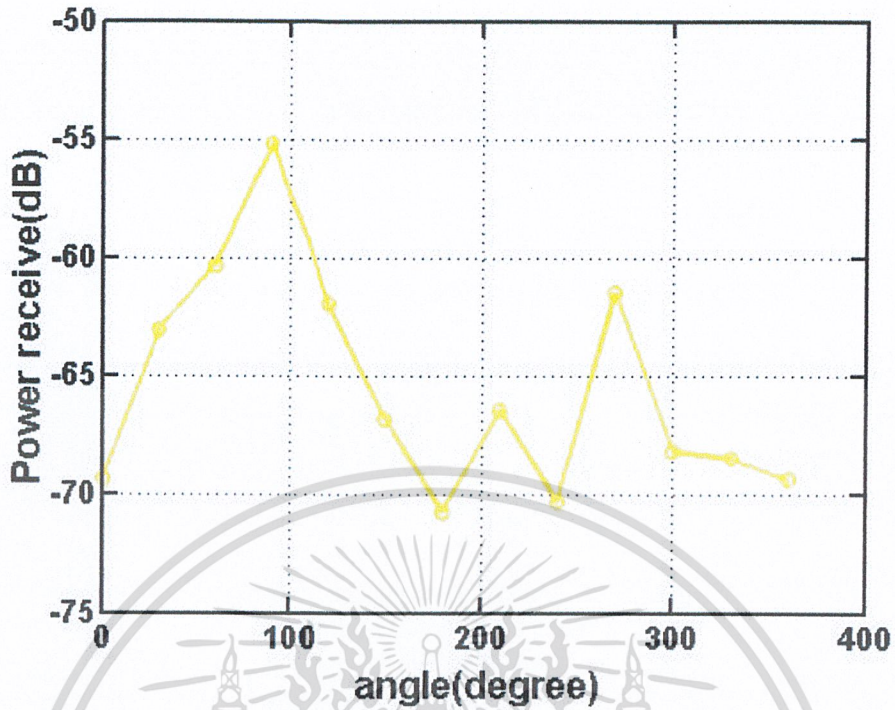
การทดลองการทดลองการวัดแบบที่ 3 กำหนดให้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตร กำหนดให้สายอากาศทางด้านรับจะอยู่ตำแหน่งเดิมตลอดการวัดสายอากาศทางด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งสายอากาศทางด้านรับได้ยึดติดกับเครื่องแลปท็อปคอมพิวเตอร์ โดยวางสายอากาศด้านรับไว้กึ่งกลางโต๊ะประชุม แล้วทำการหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศา จนครบ 360 องศา ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

#### 5.2.3.1 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

ในการแสดงผลของภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกน คือ เวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ระดับกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับและระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและทางด้านรับ จากรูปที่ 5.13 สังเกตได้ว่าในมุมของสายอากาศทางด้านรับที่มุม 90 องศา จะมีการรับสัญญาณได้ดีที่สุด มุมที่ใกล้เคียงกับมุม 90 องศาจะรับได้ดีเช่นกัน คือ มุม 60 องศาและ มุม 120 องศา และอีกมุมที่รับได้ดีคือมุม 270 องศา



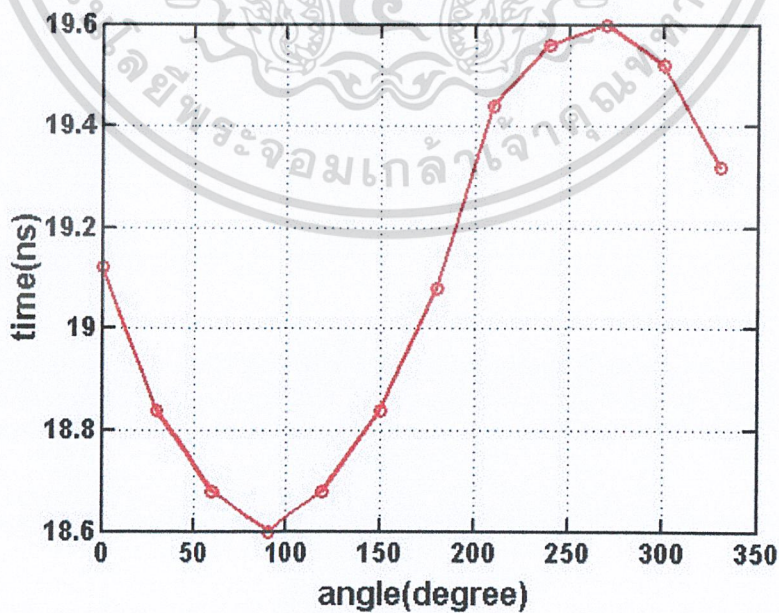
รูปที่ 5.13 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละมุมที่มีผลกระทบจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 กำลังงานที่รับได้ในแต่ละมุมที่มีผลกระทบจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3)

### 5.2.3.2 ค่าการแผ่ประวิงเวลา

จากรูปที่ 5.15 สังเกตได้ว่าค่าการแผ่ประวิงจะน้อยที่สุดที่มุมสายอากาศทางด้านรับที่มุม 90 องศา และเป็นมุมที่มีกำลังงานที่รับได้มากที่สุดซึ่งจะสอดคล้องกับรูปที่ 5.14

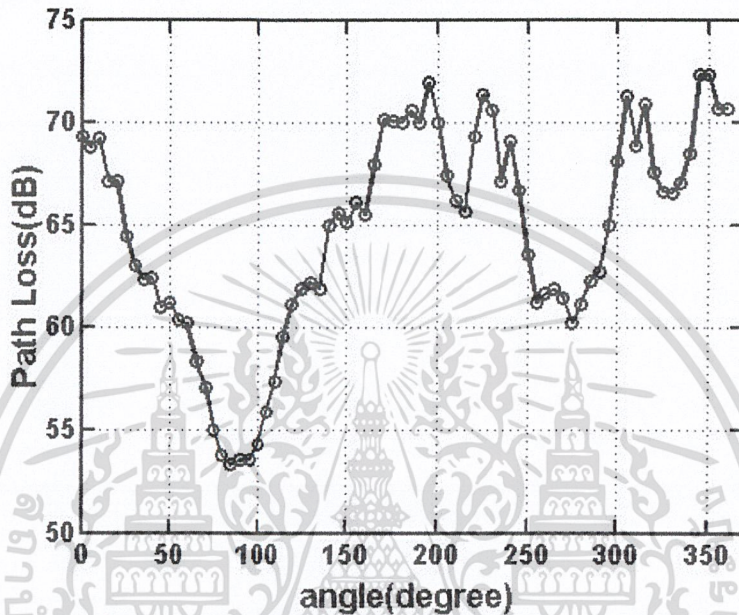


รูปที่ 5.15 การแผ่ประวิงในแต่ละมุมที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

การสูญเสียของสัญญาณที่วัดได้จากสภาพแวดล้อมภายในอาคารจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามซึ่งอาจจะมีผลกระทบอย่างอื่นนอกจากแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์ เช่น ผนัง เพดาน และพื้น โตะประชุม เป็นต้น

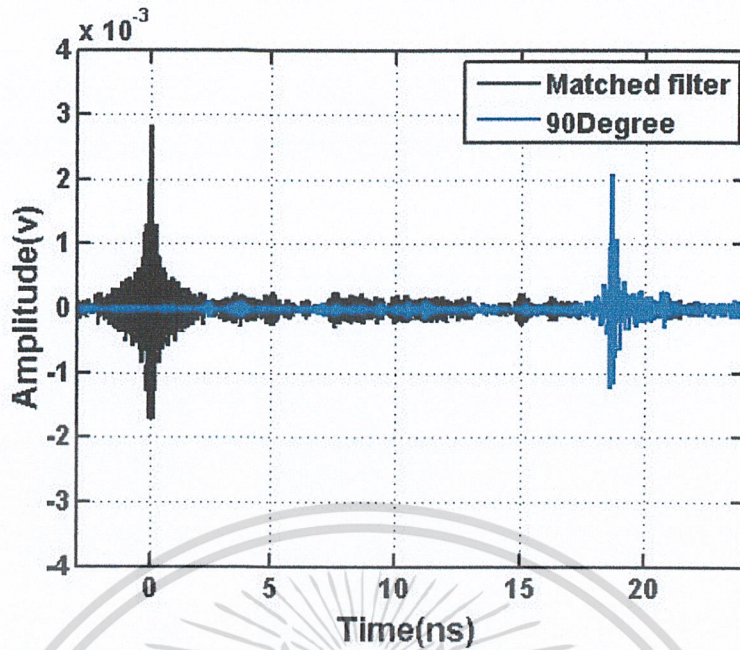


รูปที่ 5.16 การสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละมุมที่มีผลจากเครื่องเล่นที่ออฟคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3)

### 5.2.3.4 สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบเมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุด

แอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านวงจรกรองแบบเมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุดคือมุม 90 องศา ในรูปแบบของกราฟ 2 แกน คือ ค่าของเวลาที่สัญญาณมาถึงยังด้านรับแสดงได้ในแกนนอนและค่าแอมพลิจูดของสัญญาณแสดงในแกนตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 5.17 ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงค่าอัตราการขยายการส่งผ่านระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับที่มีค่าการสูญเสียของสัญญาณที่วัดได้จากสภาพแวดล้อมภายในอาคารจะมีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

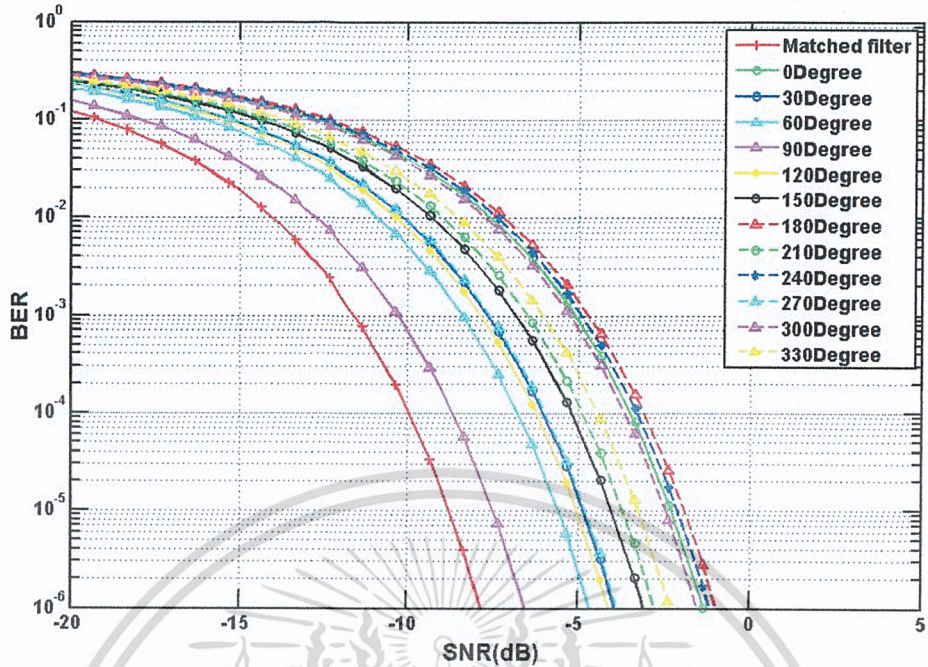


รูปที่ 5.17 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งยวดที่มีผลจากเครื่องเล่นที่อปคอมพิวเตอร (แบบที่ 3)

#### 5.2.3.5 อัตราความผิดพลาดบิต

จากข้อมูลที่วัดได้ใน 90 องศา ซึ่งจะรับสัญญาณได้ดี สังเกตได้ว่ามุม 90 องศาจะมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตน้อยที่สุด นั่นหมายความว่าถึงระบบที่เราพิจารณาอยู่ในขณะนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดในมุม 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 5.18

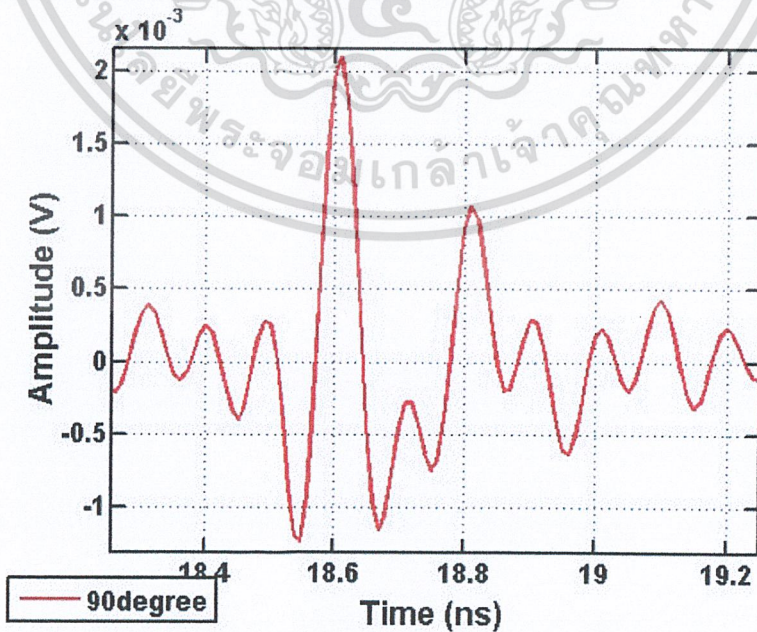
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุมัลติเพล็กซ์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 3)

### 5.2.3.6 สัญญาณที่รับได้

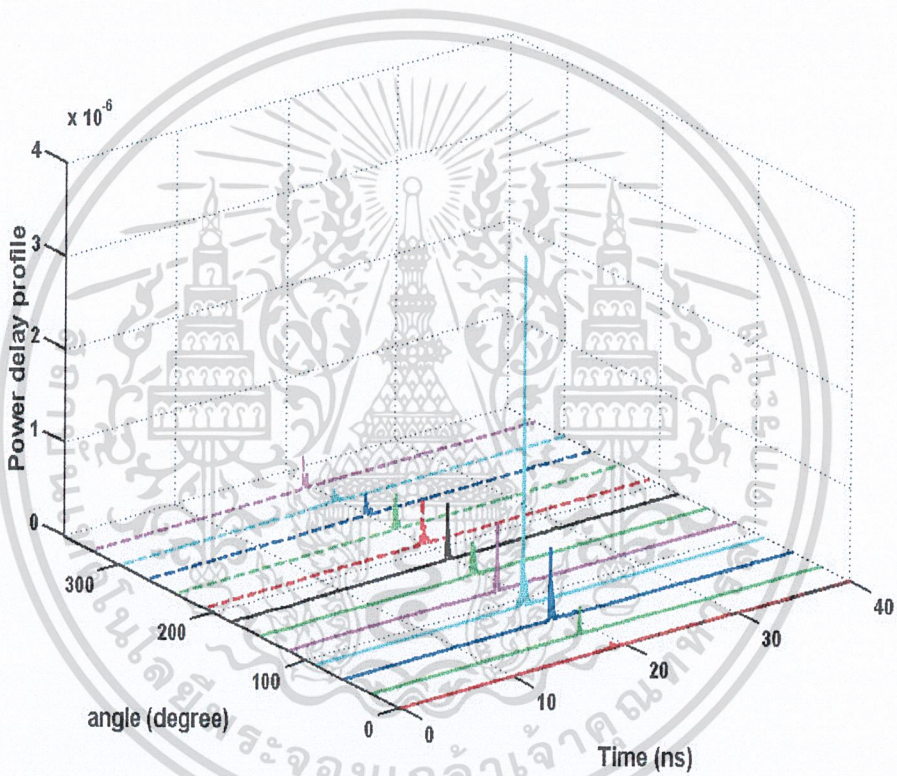
สัญญาณที่รับได้จากมุมที่วัดสัญญาณได้ดีที่สุดจากข้อมูลที่ทำกรวัดทั้งหมด คือ มุมสายอากาศทางด้านรับที่มุม 90 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 5.19 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในมุม 90 องศาที่มีผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกหรือเผยแพร่ (แบบที่ 3) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

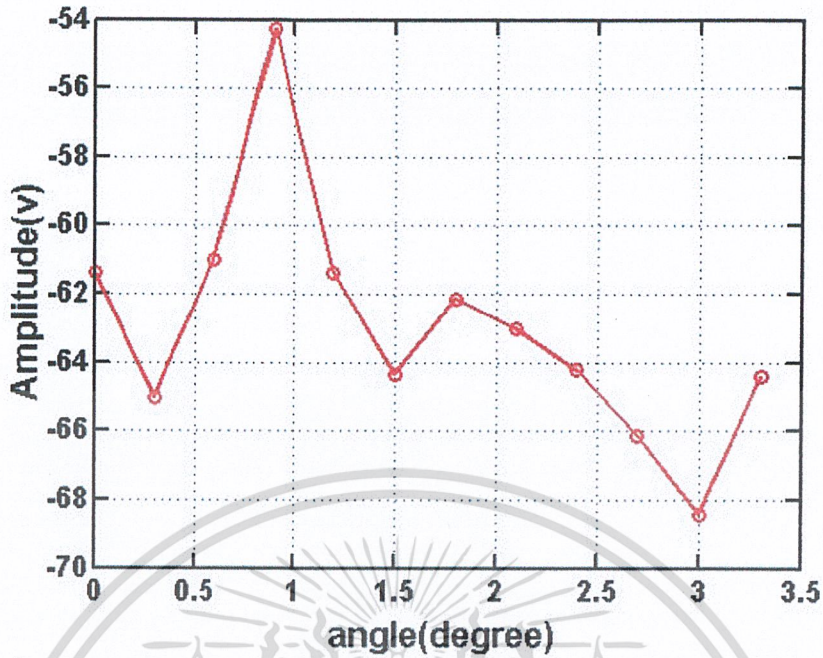
#### 5.2.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองการวัดแบบที่ 4

การทดลองการวัดแบบที่ 4 มีลักษณะคล้ายการทดลองการวัดที่ 3 แตกต่างกันที่สายอากาศทางด้านรับจะไม่มีกริดติดกับเครื่องเลปที่อปคอมพิวเตอร์ ใช้สายอากาศด้านรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ โดยวางสายอากาศด้านรับไว้กึ่งกลางโต๊ะประชุม แล้วทำการหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศา จนครบ 360 องศา ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

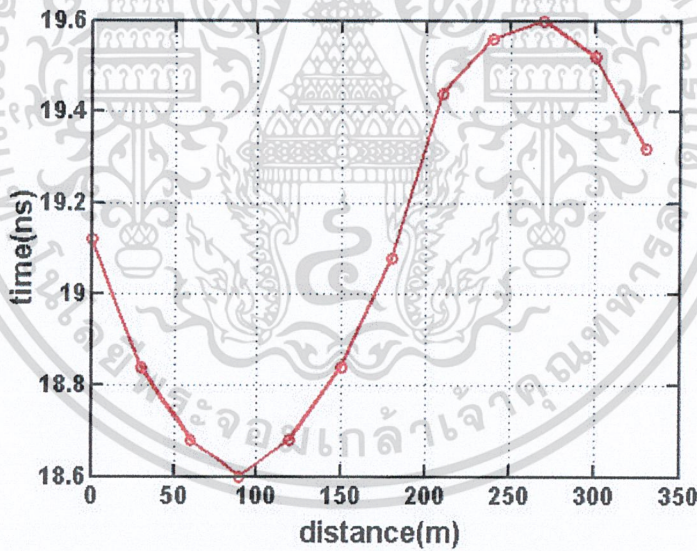


รูปที่ 5.20 ภาพตัดหน้าข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละมุมที่ไม่มีผลกระทบจากเครื่องเลปที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

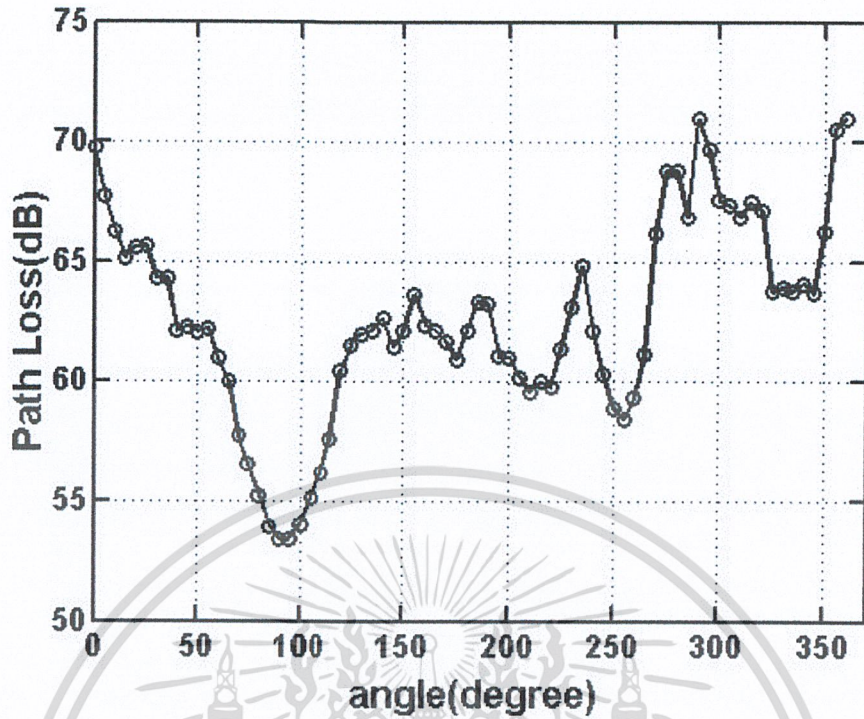


รูปที่ 5.21 กำลังงานที่รับได้ในแต่ละมุมที่ไม่มีผลกระทบจากเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4)

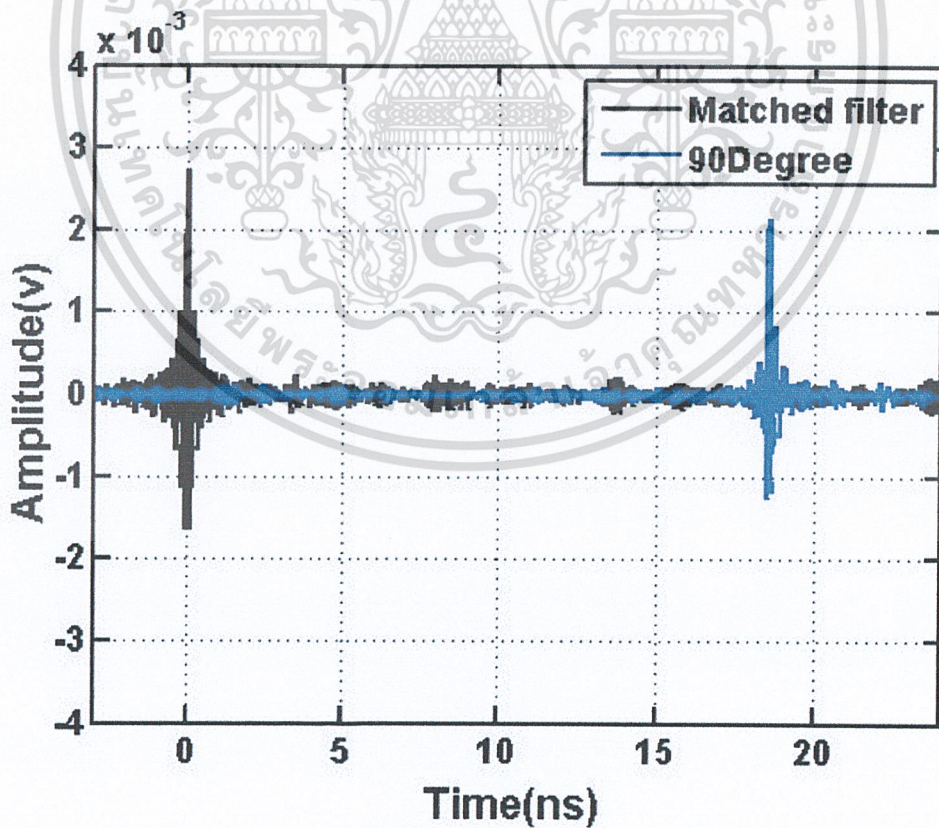


รูปที่ 5.22 การแผ่ประวิงในแต่ละมุมที่มีไม่ผลจากเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4)

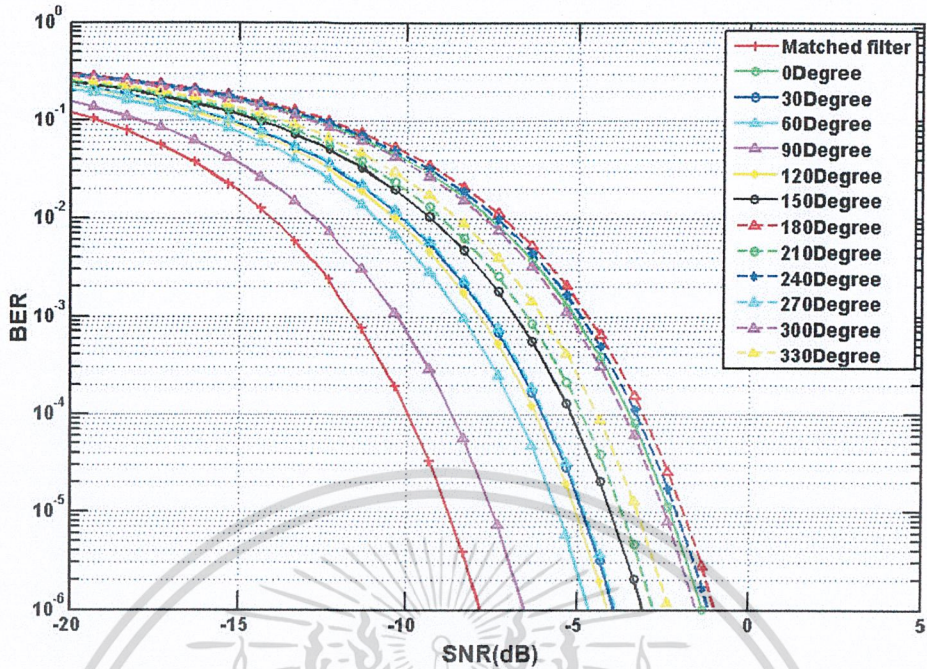
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



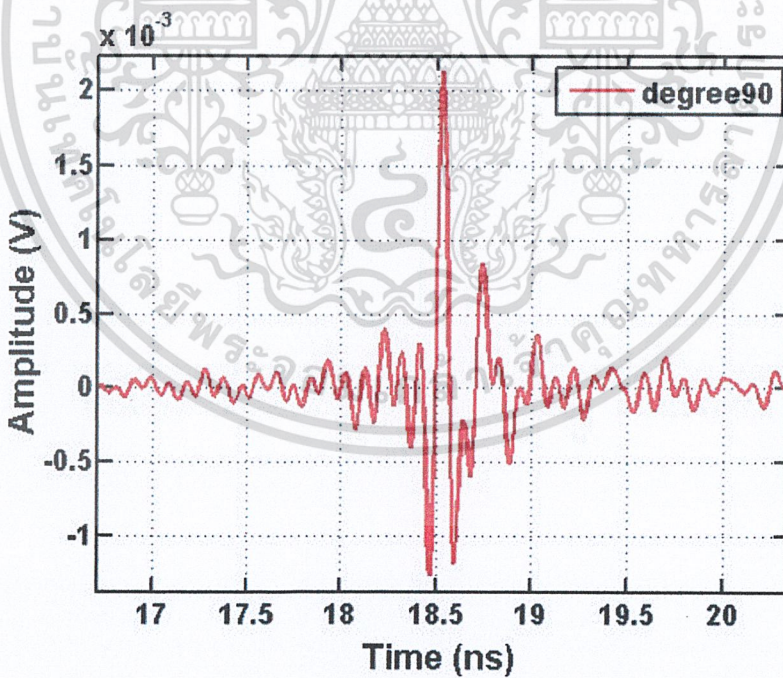
รูปที่ 5.23 การสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละมุมที่ไม่มีผลจากเครื่องแปลที่อป  
คอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4)



รูปที่ 5.24 รูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แบบแถบกว้างยังไม่มียผลจากเครื่องแปลที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกกรณีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยังไม่ีผลจากเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4)



รูปที่ 5.26 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในมุม 90 องศา ที่ไม่มีผลจากเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 สรุปผลการทดลองที่ได้ทำการวิจัย

ในบทนี้ได้นำเสนอผลที่ได้จากการทดลองวัดจริงและการวิเคราะห์ผลของสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การมีแถบที่อปคอมพิวเตอร์มาอยู่ใกล้กับบริเวณสายอากาศทางด้านรับ ทำให้ประสิทธิภาพของการรับสัญญาณดีกว่าการที่ไม่มีมีแถบที่อปคอมพิวเตอร์มาอยู่ใกล้กับบริเวณสายอากาศทางด้านรับอยู่น้อยมาก โดยแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งการทดลองวัดในงานวิจัยนี้มีด้วยกัน 4 แบบ โดยมีผลเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

#### 5.3.1 ค่ากำลังงานที่ได้รับ

การทดลองวัดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ตามจุดต่างๆบน โต๊ะประชุมแบบมีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ จะทำให้กำลังงานที่รับได้ลดลง 1.4 เดซิเบล

การทดลองวัดแบบที่ 3 และแบบที่ 4 ในมุมต่างๆ แบบมีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ จะทำให้กำลังงานที่รับได้ลดลง 2.4 เดซิเบล

#### 5.3.2 ค่าการแผ่ประวิงเวลา

การทดลองวัดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ตามจุดต่างๆบน โต๊ะประชุม แบบมีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ มีค่าการแผ่ประวิงเวลาแตกต่างกันน้อยมาก

การทดลองวัดแบบที่ 3 และแบบที่ 4 ในมุมต่างๆ แบบมีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ มีค่าการแผ่ประวิงเวลาแตกต่างกันน้อยมาก

#### 5.3.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

การทดลองวัดแบบที่ 1 ตามจุดต่างๆบน โต๊ะประชุม แบบมีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อปคอมพิวเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน 2.5 เดซิเบล

การทดลองวัดแบบที่ 2 ตามจุดต่างๆบน โต๊ะประชุม แบบไม่มีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อปคอมพิวเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน 2.1062 เดซิเบล

สรุปได้ว่าเมื่อมีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเพิ่มขึ้น 0.3936

การทดลองวัดแบบที่ 3 ในมุมต่างๆบน โต๊ะประชุมแบบมีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อปคอมพิวเตอร์ มีค่าการสูญเสีย 70.7049 เดซิเบล

การทดลองวัดแบบที่ 4 ในมุมต่างๆบน โต๊ะประชุมแบบไม่มีผลกระทบจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับที่อปคอมพิวเตอร์ มีค่าการสูญเสีย 71.011 เดซิเบลไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าเมื่อมีผลกระทบจากแถบที่อุปคอมพิวเตอร์จะทำให้ค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้น 1.004 เดซิเบล

#### 5.3.4 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต

การทดลองวัดแบบที่ 1 ตามจุดต่างๆบนโต๊ะประชุม แบบมีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ ค่าอัตราความผิดพลาดบิต 0.06032

การทดลองวัดแบบที่ 2 ตามจุดต่างๆบนโต๊ะประชุม แบบไม่มีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ค่าอัตราความผิดพลาดบิต 0.2614

สรุปได้ว่าเมื่อมีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อุปคอมพิวเตอร์จะทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดบิตมากขึ้น 0.20108 การทดลองวัดแบบที่ 3 ในมุมต่างๆบนโต๊ะประชุม แบบมีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ค่าอัตราความผิดพลาดบิต 0.126353

การทดลองวัดแบบที่ 4 ในมุมต่างๆบนโต๊ะประชุม แบบไม่มีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ค่าอัตราความผิดพลาดบิต 0.23215

สรุปได้ว่าเมื่อมีผลกระทบจากเครื่องแถบที่อุปคอมพิวเตอร์จะทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดมากขึ้น 0.105797

#### 5.4 แบบแผนที่ได้จากการเสนอในปริญญาโทและแนวทางวิจัยต่อไป

จากการศึกษาทดลอง โครงการนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยในระดับสูงต่อไป เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์อัตราขยายในการส่งผ่านและขอบเขตความผิดพลาดของสัญญาณที่เกิดจากสายอากาศ ช่องสัญญาณและประเมินผลประสิทธิภาพในการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่งได้

สำหรับแนวทางการศึกษาต่อไปในอนาคตจะทำการประเมินผลช่องสัญญาณ Multiband orthogonal frequency division multiplexing ultra wideband

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Sathaporn Promwong, Jun-ichi Takada, Gilbert S. Ching, and Wataru Hachitani, "Evaluation Scheme of Ultra Wide Band Antenna for Personal Area Network," EECN 27
- [2] FCC, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," FCC 02-48, Apr. 2002.
- [3] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," *Proc. IRE*, vol. 34, pp. 254-, May 1946.
- [4] Constantine A. Balanis. "Advanced Engineering Electromagnetics,". New York : John Wiley & Sons Ltd. 1989.
- [5] Simon R. Saunders. "Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems," England : John Wiley & Sons Ltd. 1999.
- [6] Ian O., Matti H. and Jari I. "UWB Theory and Applications," England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [7] Kazimierz S. and Debra M. "Ultra-Wideband Radio Technology," England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [8] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. "Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering," England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [9] Theodore S. Rappaport. "Wireless Communications Principles and Practice," USA : Prentice-Hall Inc. 1996.
- Joseph H. "Microwave Engineering: Passive, Active and Non-Reciprocal Circuits," USA : McGraw Hill Inc. 1992.
- [10] James D. Taylor. "Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems," USA : CRC Press. 1995.
- [11] Dimitris G. Manolakis, Vinay K. Ingle and Stephen M. Kogon. "Statistical and Adaptive Signal Processing," USA : McGraw Hill ,Inc. 2000.
- [12] J.G. Proakis, "Digital Communications, 4<sup>th</sup> edition," USA : McGraw Hill ,Inc. 2001.
- [13] Apichit Pradabphon, Sathaporn Promwong, Monchai Chamchoy, Pichaya Supanakoon and Jun-ichi Takada. "Characterization of Body Shadowing Effects on Ultra-Wideband Propagation Channel ICCAS Conf.," 2004. pp. 219-222.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Phanupong Siripornnarachseema, Sathaporn Promwong,Pichaya Supanakoon, Rangson Muanghlua and Nikorn Sukutamtanti . **“The Effect of Laptop Computer Shadowing on UWB Propagation in an Indoor Environment,”** ISCIT 12,Oct.2005,pp.943-946
- [15] Phanupong Siriporn na rachseema, Sathaporn Promwong,Paisan Sithiyopaskul and Nikorn Sukuthumtanti. **“Indoor Measurement and Modeling of Ultra Wideband Antenna with Laptop Computer for Wireless Personal Area Network,”** ICEMC 27, July. 2005.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้