

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วิธีการประเมินผลการวัดและทดสอบของวิทยุแถบกว้างยิ่งที่ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก  
สำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย

Experimental Evaluation Method of UWB radio with Laptop Computer  
For Personal Area Network



โดย  
นางสาว อภิรดี ศรีเจริญ  
นาย เอกวัฒน์ ทรมพิลา

ว/พ.  
๑๒๕๙๑  
๒๕๔๘

เลขานุ.....  
เลขทะเบียน..... 62585  
วัน,เดือน,ปี..... 19 ส.ค. 2549

b. 11626434  
i. ....

ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Experimental Evaluation Method of UWB radio with Laptop Computer  
For Personal Area Network**



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

**2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์      วิธีการประเมินผลการวัดและทดสอบของวิทยุแถบกว้างยิ่งที่  
ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก สำหรับ โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล  
ไร้สาย

ชื่อนักศึกษา                นางสาว อภิรดี ศรีเจริญ      รหัสประจำตัว 45010922  
   นาย เอกรัตน์ พรหมพิลา      รหัสประจำตัว 45010986


อาจารย์ที่ปรึกษา            อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์  
   ผศ. ไพศาล สิริธิโยภาสกุล

ระดับการศึกษา              ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
   สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา                        วิศวกรรมสนเทศ

ปีการศึกษา                    2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติ  
ให้นำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ. ไพศาล สิริธิโยภาสกุล)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญานิพนธ์**

วิธีการประเมินผลการวัดและทดสอบของวิทยุแถบกว้างยิ่ง  
ที่ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ไบนารี สำหรับ โครงข่ายพื้นที่  
ส่วนบุคคลไร้สาย

**ชื่อนักศึกษา**

นางสาว อภิรดี ศรีเจริญ รหัสประจำตัว 45010922

นาย เอกรัตน์ พรหมพิลา รหัสประจำตัว 45010986

**อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์

ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล

**ระดับการศึกษา**

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

**ภาควิชา**

วิศวกรรมสนเทศ

**ปีการศึกษา**

2548

**บทคัดย่อ**

โครงการนี้ได้เสนอวิธีการประเมินการวัดและทดสอบของคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่ง (UWB) ที่มีสายอากาศติดกับคอมพิวเตอร์ไบนารีทางด้านรับ สำหรับ โครงข่ายพื้นฐานของสูตรฟรีส ในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุภายในอาคารของแถบกว้างยิ่งเป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อการประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาในโครงการนี้ได้ ออกแบบการจำลองใช้งานจริงในห้องประชุมภาควิชา และได้ทำการวัดทดสอบสัญญาณวิทยุแถบ กว้างยิ่ง ผลที่ได้จากการวัดได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้สูตรฟรีสและได้ใช้ Matched filter ทางด้านรับ เพื่อได้ค่า SNR สูง

ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** Experimental Evaluation Method of  
UWB radio with Laptop Computer  
For Personal Area Network

**Student** Ms. Aphiradee Sricharone ID 45010922  
Mr. Eakarot Prompira ID 45010986

**Advisor** Mr. Sathapon Promwong  
Mr. Prisan Sithiyopasakul

**Graduate Level** Bachelor Degree of Information  
Engineering

**Department** Information Engineering

**Academic Year** 2005

### ABSTRACT

This paper present the evaluation of measurement and test of ultra wideband (UWB) Radio method, which it combine laptop computer for wireless personal area network(WPAN) based on Friis' transmission formula. Indoor radio propagation of UWB is another important for consideration, apply with WPAN has efficiency. This project learns design model for working in the conferment room. And signal measurement by Friis' transmission formula and matched filter at receiver side to maximize the SNR for evaluation.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเป็นผลดีเนื่องจากความพยายามและความช่วยเหลือ  
เกื้อกูลจากเพื่อนๆ ที่ตลอดระยะเวลาการทำโครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจาก อาจารย์สถาพร  
พรหมวงศ์ และ อาจารย์ไพศาล สิทธิโยภาสกุล รวมไปถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรม  
สารสนเทศ ที่ให้ความรู้คำแนะนำเกี่ยวกับรายละเอียดในโครงการนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ  
ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้การสนับสนุนทาง  
การศึกษา อีกทั้งสิ่งดีๆ ต่างๆ มากมายมาโดยตลอด ที่สำคัญยังคงคอยเป็นขวัญและกำลังใจเสมอมา

ผู้จัดทำ

นางสาว อภิรดี ศรีเจริญ

นาย เอกรัตน์ พรหมพิลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตโครงการ	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	5
2.3 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	7
2.5 แอปพลิเคชันต่างๆ ที่นำเทคโนโลยี อุตสาหกรรม 4.0 มาประยุกต์ใช้	10
บทที่ 3 ระบบการทดลอง (Experimental system)	
3.1 การสูญเสียของระยะทาง (Path loss)	13
3.2 พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณหลายทิศทางเคลื่อนที่ (Parameters of Mobile Multipath Channels )	18

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation lobe)	22
3.4 บริเวณต่างๆของสนามสายอากาศ	23
3.5 รูปแบบการแพร่กระจาย (Radiation Pattern)	24
3.6 อัตราการขยายกำลัง (Power gain)	25
3.7 แบนด์วิดท์ของสายอากาศ	26
3.8 ขั้นตอนการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	
4.1 การวัดและพารามิเตอร์	38
4.2 ผลการทดลอง	39
4.2.1 แสดง โมเดลและผลการทดลองใน โมเดลนั้นๆ	39
4.2.2 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี	119
บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางวิจัยในอนาคต	
5.1 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ	122
5.2 แนวทางในการแก้ปัญหา	122
5.3 สรุปผล	122
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของอุทตราไวด์แบนด์กับคลื่นชนิดอื่น	1
รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง	5
รูปที่ 2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณใน โดเมนความถี่	6
รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้อุทตราไวด์แบนด์กับเทคโนโลยีต่าง ๆ	10
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของระบบการสื่อสารไร้สาย	13
รูปที่ 3.2 รูปแบบการส่งถ่ายของเครือข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล	15
รูปที่ 3.3 รูปแบบการส่งไร้สายแบบเส้นทางตรง (Line of Side)	15
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมสำหรับระบบการส่งข้อมูลสำหรับการขยายสูตรการส่งข้อมูลของฟรีส ที่กระทำกับอุทตราไวด์แบนด์	16
รูปที่ 3.5 ค่าการวัด power delay profile โดย (ก) วัดจากระบบเซลล์ที่ 900 เมกะเฮิร์ต ในซาน-ฟรานซิสโก (ข) ภายในร้านขายของชำที่ 4 จิกะเฮิร์ต	19
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างกำลังที่รับรู้และเวลาในการมาถึงของสัญญาณภายในอาคาร	21
รูปที่ 3.7 (ก) โลบต่างๆและปมวิคท์ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ	22
รูปที่ 3.7 (ข) รูปแบบการแพร่กระจายในแบบลิเนียร์	23
รูปที่ 3.8 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ	23
รูปที่ 3.9 รูปแบบการแพร่กระจายหลาย ๆ แบบ	23
รูปที่ 3.10 บล็อกการทดลอง	27
รูปที่ 3.11 เว็บฟอร์มการส่งผ่านของสัญญาณอุทตราไวด์แบนด์	28
รูปที่ 3.12 (ก) รูปแบบ โมเดล 1 กรณีที่ 1.1	29
รูปที่ 3.12 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 1 กรณีที่ 1.1	28
รูปที่ 3.13 (ก) รูปแบบ โมเดล 1 กรณีที่ 1.2	30
รูปที่ 3.13 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 1 กรณีที่ 1.2	30
รูปที่ 3.14 (ก) รูปแบบ โมเดล 1 กรณีที่ 2.1, 2.2	31
รูปที่ 3.14 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 1 กรณีที่ 2.1, 2.2	31

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.15 (ก) รูปแบบ โมเดล 1 กรณีที่ 3	32
รูปที่ 3.15 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 1 กรณีที่ 3	32
รูปที่ 3.16 (ก) รูปแบบ โมเดล 2 กรณีที่ 1	33
รูปที่ 3.17 (ก) รูปแบบ โมเดล 2 กรณีที่ 2.1, 2.2	34
รูปที่ 3.17 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 1 กรณีที่ 2.1, 2.2	34
รูปที่ 3.18 (ก) รูปแบบ โมเดล 2 กรณีที่ 2.3, 2.4	35
รูปที่ 3.18 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 2 กรณีที่ 2.3, 2.4	35
รูปที่ 3.19 สายอากาศไบโคนิคอล (Biconical antenna)	36
รูปที่ 3.20 สายอากาศมีนเดอร์ไลน์ (Meander line antenna)	36
รูปที่ 4.1 (ก) โมเดล 1 กรณีที่ 1.1	39
รูปที่ 4.1 (ข) ความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่	41
รูปที่ 4.1 (ค) ความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	42
รูปที่ 4.1 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.2 เมตร	43
รูปที่ 4.1 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.1 เมตร	43
รูปที่ 4.1 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.7 เมตร	44
รูปที่ 4.1 (ซ) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม(Correlation Coefficient) ที่ตำแหน่งต่างๆ	45
รูปที่ 4.1 (ซ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด(Optimum Matched Filter) กับ ไอโซโทปิก แมทช์ฟิวเตอร์(Isotropic Matched Filter) ที่ตำแหน่งต่างๆ	46
รูปที่ 4.2 (ก) แสดงโมเดล 1 กรณีที่ 1.2	47
รูปที่ 4.2 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่	49

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	50
รูปที่ 4.2 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.2 เมตร	51
รูปที่ 4.2 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.1 เมตร	51
รูปที่ 4.2 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.7 เมตร	52
รูปที่ 4.2 (ช) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	53
รูปที่ 4.2 (ซ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดกับไอโซโทปิก แมทพิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	54
รูปที่ 4.3 (ก) โมเดล 1 กรณีที่ 2.1	55
รูปที่ 4.3 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แมกนิจูด กับ ความถี่	57
รูปที่ 4.3 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	58
รูปที่ 4.3 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1 เมตร	59
รูปที่ 4.3 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4 เมตร	59
รูปที่ 4.3 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.65 เมตร	60
รูปที่ 4.3 (ช) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	61
รูปที่ 4.3 (ซ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดกับไอโซโทปิก แมทพิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	62
รูปที่ 4.4 (ก) โมเดล 1 กรณีที่ 2.2	63
รูปที่ 4.4 (ข) สัมพันธ์ระหว่าง แมกนิจูด กับ ความถี่	65
รูปที่ 4.4 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างเฟส กับ ความถี่	66
รูปที่ 4.4 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1 เมตร	67

ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1 เมตร	67
รูปที่ 4.4 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4 เมตร	67
รูปที่ 4.4 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.65 เมตร	68
รูปที่ 4.4 (ช) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	69
รูปที่ 4.4 (ซ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดกับ ไอโซโทปิก เมทพิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	70
รูปที่ 4.5 (ก) โมเดล 1 กรณีที่ 3	71
รูปที่ 4.5 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างเม็กนิจูด กับ ความถี่	73
รูปที่ 4.5 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างเฟส กับ ความถี่	74
รูปที่ 4.5 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1 เมตร	75
รูปที่ 4.5 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4 เมตร	75
รูปที่ 4.5 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.65 เมตร	76
รูปที่ 4.5 (ช) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	77
รูปที่ 4.5 (ซ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดกับ ไอโซโทปิก เมทพิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	78
รูปที่ 4.6 (ก) โมเดล 2 กรณีที่ 1	79
รูปที่ 4.6 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง เม็กนิจูด กับ ความถี่	81
รูปที่ 4.6 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	82
รูปที่ 4.6 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.6 เมตร	83

### ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.5 เมตร	84
รูปที่ 4.6 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.25 เมตร	84
รูปที่ 4.6 (ซ) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	85
รูปที่ 4.6 (ฅ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก เมทพิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	86
รูปที่ 4.7 (ก) โมเดล 2 กรณีที่ 2.1	87
รูปที่ 4.7 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แมกนิจูด กับ ความถี่	89
รูปที่ 4.7 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	90
รูปที่ 4.7 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.4 เมตร	91
รูปที่ 4.7 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.4 เมตร	91
รูปที่ 4.7 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.05 เมตร	92
รูปที่ 4.7 (ซ) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	93
รูปที่ 4.7 (ฅ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก เมทพิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	94
รูปที่ 4.8 (ก) โมเดล 2 กรณีที่ 2.2	95
รูปที่ 4.8 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แมกนิจูด กับ ความถี่	97
รูปที่ 4.8 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	98
รูปที่ 4.8 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.4 เมตร	99
รูปที่ 4.8 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.4 เมตร	99

### ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.05 เมตร	100
รูปที่ 4.8 (ซ) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	101
รูปที่ 4.8 (ช) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทพิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	102
รูปที่ 4.9 (ก) โมเดล 2 case 2.3	103
รูปที่ 4.9 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่	105
รูปที่ 4.9 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	106
รูปที่ 4.9 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.4 เมตร	107
รูปที่ 4.9 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.4 เมตร	107
รูปที่ 4.9 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.05 เมตร	108
รูปที่ 4.9 (ซ) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	109
รูปที่ 4.9 (ช) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทพิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	110
รูปที่ 4.10 (ก) โมเดล 2 case 2.4	111
รูปที่ 4.10 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่	113
รูปที่ 4.10 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	114
รูปที่ 4.10 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.4 เมตร	115
รูปที่ 4.10 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.4 เมตร	115
รูปที่ 4.10 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทาง ระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.05 เมตร	116

ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 (ช) คำสันประสิทธิ์ความสัมพันธร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ	117
รูปที่ 4.10 (ซ) คำความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิค แมทพิวเดอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	118



### ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดยคณะกรรมการบริหาร ความถี่ของสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายใน และภายนอกอาคาร	9
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในกระแพร่กระจายกำลังงาน โดยกำหนดมาตรฐาน ทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรปสำหรับการใช้งานในการ สื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	9
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการวัดค่า RMS Delay Spread	20
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง	37
ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 1 กรณีที่ 1.1	40
ตารางที่ 4.2 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 1 กรณีที่ 1.2	48
ตารางที่ 4.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 1 กรณีที่ 2.1	55
ตารางที่ 4.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 1 กรณีที่ 2.2	64
ตารางที่ 4.5 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 1 กรณีที่ 3	72
ตารางที่ 4.6 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 2 กรณีที่ 1	80
ตารางที่ 4.7 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 2 กรณีที่ 2.1	88
ตารางที่ 4.8 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 2 กรณีที่ 2.2	96
ตารางที่ 4.9 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 2 กรณีที่ 2.3	104
ตารางที่ 4.10 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี โมเดล 2 กรณีที่ 2.4	112
ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีขณะที่ยานอากาศ ทางด้านส่งเป็นแบบ ไบโคเน็คตอล ด้านรับเป็นแบบ ไบโคเน็คตอล และ แบบมินิเจอร์ไลน์	119
ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี ระหว่างการเปิด และปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กขณะที่ยานอากาศทางด้านส่ง เป็นแบบ ไบโคเน็คตอล ทางด้านรับเป็นแบบมินิเจอร์ไลน์	120

### ๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงสถิติ ระหว่าง การเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กขณะที่สายอากาศทาง ด้านส่งเป็นแบบไบโคนิคอลลซึ่งอยู่สูงจากพื้น 165 เซนติเมตร ทาง ด้านรับเป็นแบบมินิเคอร์ไลน์	121

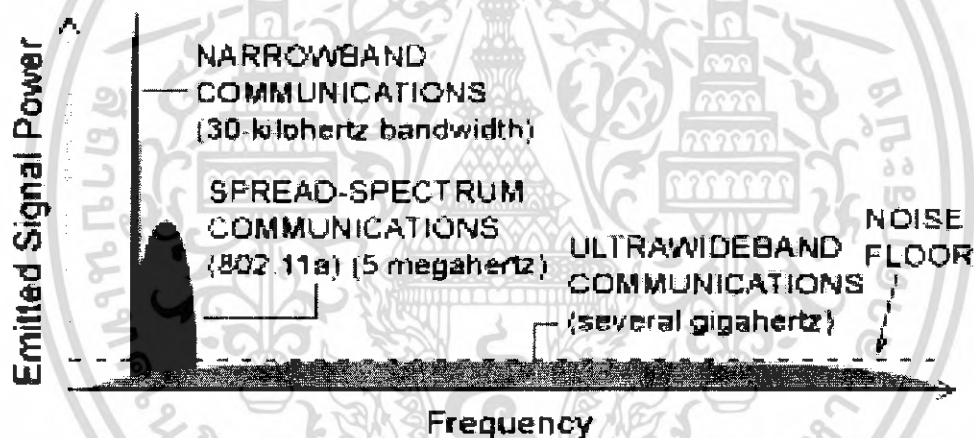


# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบัน มีการสื่อสารแบบไร้สาย(wireless) เกิดขึ้นมากมายซึ่งได้มีตัวล่าสุดคือ อุลตราไวด์แบนด์(Ultra Wideband ,UWB) ซึ่งอุลตราไวด์แบนด์นี้เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีความถี่ในช่วง 3.1-10.6 จิกะเฮิร์ต(GHz) ซึ่งมีความถี่ที่กว้างกว่าบลูทูธ(Bluetooth) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สายเช่นกัน และในอุลตราไวด์แบนด์นี้ สามารถส่งข้อมูลได้ไกลกว่าบลูทูธและยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์ได้น้อย ด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นจุดมุ่งหมายที่ในทางกลุ่มต้องการศึกษาหลักของอุลตราไวด์แบนด์ เพราะมันเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่น่าสนใจและน่าศึกษา



รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของอุลตราไวด์แบนด์กับคลื่นชนิดอื่น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาการส่งผ่านของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง (3.1-10.6 จิกะเฮิร์ต) สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นส่วนบุคคลไร้สาย(Wireless Personal Area Network : WPAN) ในสภาพภายในอาคาร

1.2.2 ศึกษาถึงผลกระทบของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก(Laptop Computer) ที่มีผลกระทบต่อสายอากาศทางด้านรับและสัญญาณ

1.2.3 ศึกษาเกณฑ์ของแถบกว้างยิ่งทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน(Transfer Function) ของสายอากาศและการสูญเสียในพื้นที่ว่าง(Free space)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาระบบอุตสาหกรรมไร้สายที่ประยุกต์มาใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นส่วนบุคคลไร้สาย
- 1.3.2 ออกแบบโมเดล(Model) สำหรับการทดสอบสนามไฟฟ้า
- 1.3.3 วัดทดสอบตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยทำการวัดทดลองที่ห้องประชุมภาควิชา
- 1.3.4 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดและอภิปรายกับอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.3.5 รายงานและเสนอผลงานเข้าร่วมประชุมวิชาการ

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้รู้จักหลักการที่ส่งผ่านของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง(3.1-10.6 จิกะเฮิร์ต) สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นส่วนบุคคลไร้สายในสภาพในอาคาร
- 1.4.2 ได้ทราบถึงผลกระทบของคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์คที่มีผลต่อสายอากาศทางด้านรับและสัญญาณ
- 1.4.3 ได้รู้ถึงเกณฑ์ของแถบกว้างยิ่งทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของสายอากาศและการสูญเสียในพื้นที่ว่าง (Free space)

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

- 1.5.1 วิเคราะห์ปัญหา
- 1.5.2 ออกแบบ โมเดล
- 1.5.3 ทำการทดลอง
- 1.5.4 ทำการทดลองและแก้ไข
- 1.5.5 จัดทำเอกสาร

### 1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

- 1.6.1 เครื่องเวกเตอร์เน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ (Vector Network Analyzer)
- 1.6.2 สายอากาศมีนเดอร์ไลน์(Meanderline Antenna) 1 ตัว
- 1.6.3 สายอากาศไบโคนิคอล(Biconical Antenna) 2 ตัว
- 1.6.4 สายเคเบิล(Cable)
- 1.6.5 คอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค 10 เครื่อง
- 1.6.6 ชุดเครื่องมือตรวจวัด(Calibration Kits)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.6.7 แผ่นไร้การสะท้อน

### 1.6.8 คอมพิวเตอร์(Computer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

#### 2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์(Ultra-wideband, UWB) มีคุณสมบัติป้องกันที่ดีและมีการเตรียมการใช้งานให้เป็นประโยชน์ในคลื่นวิทยุนานาประการ เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย สำหรับการส่งข้อมูลดิจิทัล(digital data) เกินความกว้างของขอบเขตความถี่ที่มีกำลังงานต่ำมากๆ กลไกการทำงานของอัลตราไวด์แบนด์จะใช้งานในพื้นที่ที่ไม่กว้างมากหรือในระยะเวลาพัลส์(pulse)ซึ่งเป็นผลในการทำงานให้มีแบนด์วิดท์(bandwidth)การส่งที่กว้างมากๆ สิ่งเหล่านี้ไม่สามารถเป็นไปได้นอกจาก อัลตราไวด์แบนด์ ส่วนอื่นๆสามารถทำให้เพิ่มขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ อัลตราไวด์แบนด์ยังสามารถใช้งานร่วมกับสเปกตรัมที่มีความกว้างสัญญาณวิทยุที่ให้บริการอยู่ในตอนนี้ โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนหรือแทรกแซงของระบบอื่นๆเลย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สเปกตรัมที่ขาดหายไปสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เทคโนโลยีสัญญาณวิทยุที่มีชื่อว่าอัลตราไวด์แบนด์(กลายเป็นประเด็นที่ทำให้บริษัทหลายบริษัทกำลังจับตามองกับการนำมาใช้ในการพาณิชย์ทั่วไป)

อัลตราไวด์แบนด์ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีไร้สายใหม่ที่เพิ่งได้รับอนุญาตให้ทดลองนำมาใช้ในการค้าทั่วไป โดยเทคโนโลยีนี้แตกต่างจากการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุที่มีกันอยู่ในปัจจุบันที่เป็น การส่งแบบความถี่แคบในขณะที่อัลตราไวด์แบนด์จะเป็นการส่งข้อมูลพัลส์สั้นๆผ่านความถี่กว้าง ซึ่งทำให้เป็นการโอนข้อมูลจำนวนมากเป็นระยะทางสั้นและไม่สิ้นเปลืองพลังงาน

เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ยังทำให้การสร้างเครื่องส่ง(Transmitter) ทำได้ง่ายขึ้นทั้งนี้ เนื่องจากในกรณีของเครื่องส่งของแนโรแบนด์(Narrowband) ต้องมีชิ้นส่วนที่เป็นอนาล็อก(Analog)จำนวนมากทำให้การสร้างเครื่องส่งยุ่งยากกว่า นอกจากนี้ การมีชิ้นส่วนที่ไม่ยุ่งยากของอัลตราไวด์แบนด์ ทำให้การส่งสัญญาณนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานสูง

อัลตราไวด์แบนด์สามารถส่งความเร็วได้เร็วถึง 100 เมกะบิตต่อวินาที เป็นระยะทาง 10 เมตร ในขณะที่เทคโนโลยีไร้สายอื่น เช่น มาตรฐาน 802.11b ส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 6 เมกะบิตต่อวินาที เป็นระยะทาง 10 เมตร หรือบลูทูธ ที่ส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที เป็นระยะทาง 10 เมตร อัลตราไวด์แบนด์มีศักยภาพที่จะกลายเป็นเทคโนโลยีสื่อสารระหว่างอุปกรณ์แทนบลูทูธในอนาคต

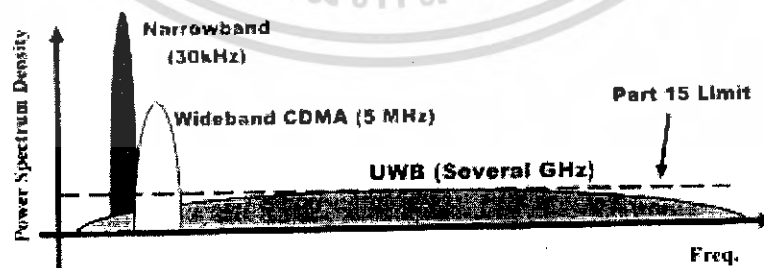
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอปพลิเคชันที่อุลตราไวด์แบนด์จะเข้ามาเพื่อรองรับ คือ การส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในระยะสั้นๆ โดยไม่ต้องใช้สายเชื่อมซึ่งคล้ายๆกับบลูทูธ อย่างไรก็ตามอุลตราไวด์แบนด์จะทำให้การส่งข้อมูลนั้นรวดเร็วมากยิ่งขึ้นกว่า 100 เท่า

แต่เนื่องจากความแตกต่างของความถี่ของอุลตราไวด์แบนด์จากความถี่วิทยุทั่วไปทำให้เกิดมีปฏิกิริยาจากบริษัทสายการบิน บริษัทมือถือ และอีกหลายๆองค์กรที่เป็นห่วงว่า อุลตราไวด์แบนด์จะรบกวนการทำงานของเครื่องบินที่มีอยู่ในปัจจุบัน เช่น ในกรณีนักบินต้องนำเครื่องบินลงในสภาพอากาศที่แปรปรวน อุลตราไวด์แบนด์อาจทำให้เครื่องลงผิดตำแหน่งได้

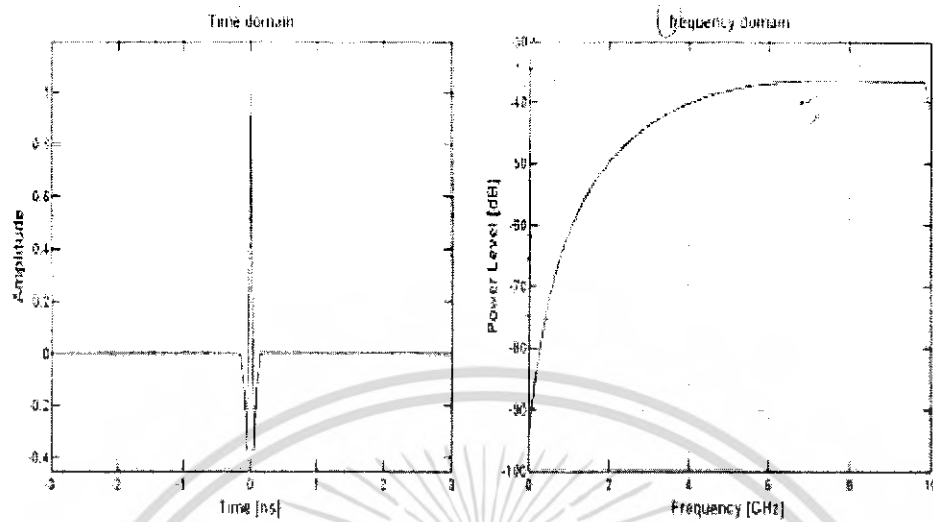
## 2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นเทคโนโลยีไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (radio frequency, RF) เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์โดยจะเป็นแบบพัลส์แคบๆขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (spectral density) ที่กว้างมากดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิรต์ (GHz) และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ควิตีไซเคิล (duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ โดยรูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลา (Time Domain) และแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณใน โดเมนความถี่

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยี Wi-Fi หรือบลูทูธแล้วก็จะพบว่าระบบแถบความถี่กว้างยิ่งจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำกว่า รวมไปถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ โดยระบบแถบกว้างยิ่งจะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงถึง 480 เมกะบิตต่อวินาที ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ Wi-Fi สามารถรองรับข้อมูลสูงสุดที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที และหากเปรียบเทียบกับบลูทูธซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน ระบบแถบกว้างยิ่งจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่าบลูทูธถึง 100 เท่า ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าวระบบแถบกว้างยิ่ง จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทโฮมเอนเตอร์เทนเมนต์ (Home Entertainment) ภายในบ้าน

### 2.3 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (short-pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซุชอยด์ (non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (carrier less) แถบกว้างยวดยิ่ง (super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างรวดเร็ว (fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมโน (mono-pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสาร อาทิเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์(baseband) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาหลายๆ โดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพารัลเลลเข้าไป

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนเนื่องจากความสามารถของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะของการส่งเทีมของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างข้งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนที่ทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังไม่ก่อให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ

- มีความต้านต่อคลื่นหลายวิถีและการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในการมอดูเลตทางเวลาแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม

## 2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้น คือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มของทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามลดข้อจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการ โดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group(UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับคณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกาหรือ FCC(Federal Communications Commission) เช่นเดียวกันกับยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง ในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป(European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

### 2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกาได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry(NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมากๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้สนับสนุนในระเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ ได้ทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งชื่อเรียกร่อง โดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่ อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณ โทรศัพท์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับ คลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA( Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มี ต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบ กว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของ พลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆสำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้จึงได้มีหน่วยงานที่ชื่อว่า DARPA(Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่ง สำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์  $B_f$  ของสัญญาณ โดยต้องมี ค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1

$$B_f = 2 \frac{(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (2.1)$$

โดยที่ คือ  $f_L$  ความถี่ต่ำที่สุด และ  $f_H$  ความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบ กว้างยิ่ง

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 คณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกาได้ออก กฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่ง สำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดย รายงานฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เมษายน ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้ กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและกำหนดขอบเขตการแพร่กระจาย พลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด  $B_f$  ไว้ไม่ต่ำ กว่า 0.2 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังโดยคณะกรรมการบริหารความถี่ของ สหรัฐอเมริกาได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอก อาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

Frequency in MHz	Indoor	Outdoor
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 - 1610	-75.3	-75.3
1610 - 1990	-53.3	-63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
Above 10600	-51.3	-61.3

#### 2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายนอกและภายในอาคารที่กำหนดโดยสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

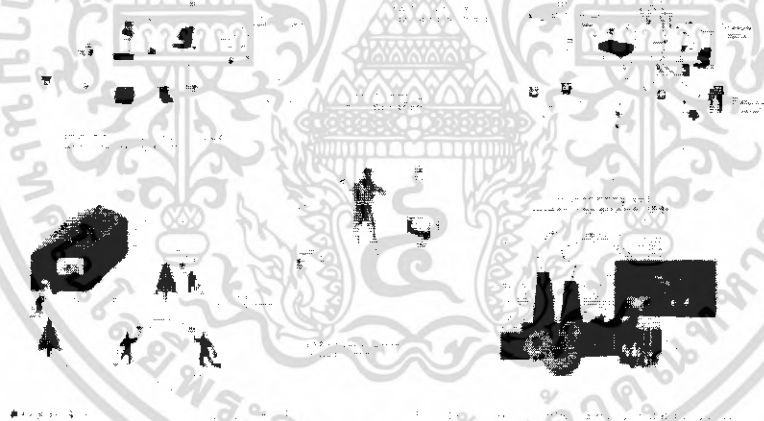
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในระแพร่กระจายกำลังงานโดยกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรปสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 แอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่นำเทคโนโลยีอุตสาหกรรมไร้สายมาประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมไร้สายคือเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ที่ใช้แถบความถี่ในช่วง 3.1-10.6 จิกะเฮิรตซ์ และมีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดเท่ากับ 110 เมกะบิตต่อวินาที ภายในรัศมี 10 เมตร และ 200 เมกะบิตต่อวินาที ภายในรัศมี 4 เมตร จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมไร้สายสามารถให้อัตราการส่งข้อมูลสูงกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก และในการใช้งานจริงเราสามารถนำอุตสาหกรรมไร้สายมาประยุกต์ใช้งานได้ 2 โหมด (Mode) เมื่อเราแบ่งตามอัตราการส่งข้อมูล คือ โหมด อัตราการส่งข้อมูลสูง (High Data Rate :HDR) หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลเกินกว่า 100 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะใกล้ อีกโหมดคือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลต่ำและค้นหาตำแหน่ง (Low Data Rate And Location Tracking : LDR/LT) หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลลดลงเพื่อเพิ่มระยะการสื่อสารไร้สาย สามารถใช้บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำเพื่อให้ผู้อ่านได้เห็นภาพว่า ในอนาคตเราสามารถนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรมไร้สายมาประยุกต์ใช้งาน เป็นแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้อย่างไรบ้าง ดังนั้นเราจึงแบ่งแอปพลิเคชันที่ใช้ในอุตสาหกรรมและการบริการ เป็นดังนี้



รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมไร้สายกับเทคโนโลยีต่าง ๆ

- โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง (Highs – Data – Rate - Wireless Personal Area Network: HOR-WPAN) คือ โครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายปานกลาง (5-10 ชั้นต่อห้อง) มีอัตราการส่งข้อมูลที่มีความเร็ว 100-150 เมกะบิตต่อวินาที ภายในระยะ 1 ถึง 10 เมตร โทโปโลยี(Topology)หลักที่ใช้ในการสื่อสารเป็นแบบเพียร์ทูเพียร์(Peer-To-Peer) และใช้ รีเลย์/บริดจ์ (Relay/ Bridge) ในการเชื่อมโยงกับโครงข่ายภายนอกซึ่งจะเป็นแบบไร้สายหรือใช้สายเคเบิลก็ได้
- การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย(Wireless Ethernet Interface Link : WEIL) เป็นการขยายแนวคิดเพิ่มเติมจากการส่งสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง ให้สูงยิ่งขึ้นไปอีก (1 จิกะเฮิรตซ์ต่อวินาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

, 2.5 จิกะเฮิร์ตต่อวินาที) ซึ่งการเชื่อมโยงไร้สายแบบนี้จะสามารถทำได้ภายในระยะสั้นมาก หรือภายในรัศมี 1-2 เมตร การเชื่อมโยงอินเทอร์เน็ตไร้สาย เกิดขึ้นได้มาจากความต้องการของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการให้การเชื่อมโยงโครงข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้สายเคเบิล เปลี่ยนไปใช้แบบไร้สายแทน และจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ต้องการให้การส่งสัญญาณวิดีโอแบบไร้สายระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับจากแอลซีดี(LCD) มีคุณภาพสูง(Wireless Digital Video Interface)

- โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ(Intelligent Wireless Area Network: IWAN) คือ โครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายสูง ที่อยู่เป็นพื้นที่ภายในหรือพื้นที่สำนักงานทั่วไป ภายในระยะ 30 เมตร

- โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์(Outdoor Peer - to - Peer Network: OPPN) เป็นโครงข่ายสำหรับอุปกรณ์สื่อสารอุตสาหกรรมไร้สายที่อยู่นอกบริเวณภายนอก เป็นไปตามความต้องการของตลาดการให้บริการที่จะเกิดขึ้นมาใหม่ สำหรับ เครื่องพีดีเอ(PDA) ที่จะส่งข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันและอย่างอื่นให้บริการข้อมูลดิจิทัล ความเร็วสูง สำหรับดาวน์โหลดข้อความ หนังสือพิมพ์, รูปภาพ, ให้บริการเช่าม้วนเทป วิดีโอ, วีซีดี, ดีวีดี อัดโนมัติ เป็นต้น

- โครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์(Sensor, Positioning, And Identification Network: SPIN) เป็นโครงข่ายของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย อย่างเช่น เซ็นเซอร์ที่มีความหนาแน่นสูง (หลายร้อยชิ้นต่ออาคาร 1 ชั้น) ที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงเก็บสินค้า มีอัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็วต่ำ(อยู่ประมาณช่วงหลายสิบกิโลบิตต่อวินาที) และสามารถส่งสัญญาณข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของตัวอุปกรณ์เพื่อใช้หาตำแหน่งได้ด้วย(มีความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร) โทโปโลยีของโครงข่ายระยะในการส่งสัญญาณไม่เกิน 100 เมตร ระหว่างอุปกรณ์กับสถานีแม่ข่ายเป็นแบบมาสเตอร์- สลาฟ(Master-Slave)

- โครงข่ายแบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์ มีความต้องการเชื่อมโยงสัญญาณ ที่มีความน่าเชื่อถือสูง(High Reliability) และคุณลักษณะของระบบที่ปรับเปลี่ยนตัวเอง ให้เหมาะสมเพื่อรองรับกับการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต(Dynamic) ของเครื่องอุปกรณ์ และเรื่องสัญญาณรบกวนการแพร่กระจายสัญญาณ โครงข่ายที่ 1 ถึง 3 เป็นโครงข่ายที่อุปกรณ์อุตสาหกรรมไร้สายที่อยู่นอกบริเวณที่อยู่อาศัยหรือตามสำนักงานข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ส่งผ่านแบบไร้สาย จะเป็นสัญญาณวิดีโอเพื่อความบันเทิง, สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ ที่ใช้ในโหมดอัตราการส่งข้อมูลสูง โครงข่ายที่ 4 เป็นโครงข่ายสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่บริเวณภายนอกมีลักษณะแบบเพียร์ทูเพียร์ และโครงข่ายที่ 5 เป็นโครงข่ายที่อยู่ในอุตสาหกรรมและการพาณิชย์

ในการพัฒนาและวิจัยที่จะมีต่อไปในอนาคตคือเรื่องการที่จะให้โครงข่ายต่าง ๆ นี้รวมทั้งโครงข่ายสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถนำมาร่วมกันทำงานได้(Integration) เพื่อให้เป็น Heterogeneous Networking



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ระบบการทดลอง(Experimental system)

#### 3.1 การสูญเสียเชิงวิถี(Path loss)

การสูญเสียเชิงวิถีระหว่างคู่ของสายส่งคืออัตราส่วนของกำลังการส่งผ่านต่อกำลังการรับ โดยปกติแล้วใช้หน่วยเป็นเดซิเบล(decibels) มันรวมความเป็นไปได้ขององค์ประกอบทั้งหมดของการสูญเสียระหว่างการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่ง ในกรณีของช่องสัญญาณที่มีการจางหายของสัญญาณอย่างรวดเร็ว(fast fading) เป็นจำนวนมากเช่นช่องสัญญาณเคลื่อนที่(mobile channel) การสูญเสียเชิงวิถีใช้กำลังเฉลี่ยผ่านหลายวัฏจักรของการจางหาย การสูญเสียเชิงวิถีนี้ยากที่จะวัดได้โดยตรง เพราะมีการสูญเสียและอัตราขยาย ในระบบที่ต้องพิจารณา เพื่อที่จะนิยามความเหมาะสมของการสูญเสียเชิงวิถีจำเป็นจะต้องพิจารณาการสูญเสียและอัตราขยาย ในระบบด้วย องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารไร้สายแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของระบบการสื่อสารไร้สาย

กำลังที่ปรากฏที่จุดต่อเข้าด้านรับ ( $P_r$ ) ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L L_t L_r} \quad (3.1)$$

โดยที่  $P_r$  เป็นกำลังที่จุดปลายรับ  $P_t$  เป็นกำลังที่จุดปลายส่ง

$G_t$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศส่ง(dB)  $G_r$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศรับ(dB)

$L_t, L_r$  เป็นการสูญเสียที่เครื่องป้อนด้านรับด้านส่ง  $L$  คือ การสูญเสียเชิงวิถี

อัตราขยาย(Gain) สายอากาศถูกแสดงเป็นสมการ โดยอ้างอิงจากสายอากาศแบบไอโซ-

โทรปิก(Isotropic) ซึ่งกำลังของการแพร่กระจายคลื่นถูกส่งเท่ากันทุกทิศทาง ดังนั้นจึงใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังงานซึ่งเป็นผลการแพร่กระจายคลื่นไอโซโทรปิก(Effective isotropic radiated power , EIRP) ในการคำนวณด้วยโดย

$$EIRP = \frac{P_t G_t}{L_t} = P_{ii} \quad (3.2)$$

$$P_{ri} = \frac{P_r L_r}{G_r} \quad (3.3)$$

โดย  $P_{ii}$  คือ กำลังงานซึ่งเป็นผลการส่งผ่านคลื่นไอโซโทรปิก

$P_{ri}$  คือ กำลังงานที่เป็นผลการรับคลื่นไอโซโทรปิก

ข้อดีของการใช้ กำลังงานในเทอมของกำลังงานซึ่งเป็นผลการแพร่กระจายคลื่นไอโซโทรปิกในการคำนวณนั้นคือ การสูญเสียเชิงวิถี(L) สามารถถูกแสดงเป็นสมการได้อย่างโดยอิสระของพารามิเตอร์ของระบบโดยการนิยามเป็นอัตราส่วนกำลังงานซึ่งเป็นผลการแพร่กระจายคลื่นไอโซโทรปิกของการส่งต่อกำลังงานซึ่งเป็นผลการแพร่กระจายคลื่นไอโซโทรปิกของการรับหรือการสูญเสีย นั้นจะถูกคิดในระบบที่เป็นอุดมคติว่าการสูญเสียที่เครื่องป้อนด้านรับด้านส่งจะเป็นศูนย์ ( $G_r, T=1$  ,  $L_r, T=1$ )

การสูญเสียเชิงวิถีการส่ง(Path Loss, L)

$$L = 10 \log \left( \frac{P_{ii}}{P_{ri}} \right) = 10 \log \left( \frac{P_t G_t G_r}{P_r L_r L_t} \right) \quad (3.4)$$

ในกรณีที่ polarization matched กำลังความหนาแน่นที่ส่งถึงสายอากาศที่ด้านรับเท่ากับ

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \quad (3.5)$$

กำลังงานที่สายอากาศด้านรับ

$$P_r = \frac{P_t G_t A_{eR}}{4\pi r^2} \quad (3.6)$$

โดยที่  $A_{eR}$  คือ effective aperture ของสายอากาศด้านรับ

$$G_r = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eR} \quad (3.7)$$

และนำมาแทนค่าจะได้

$$\frac{P_r}{P_t} = G_r G_t \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (3.8)$$

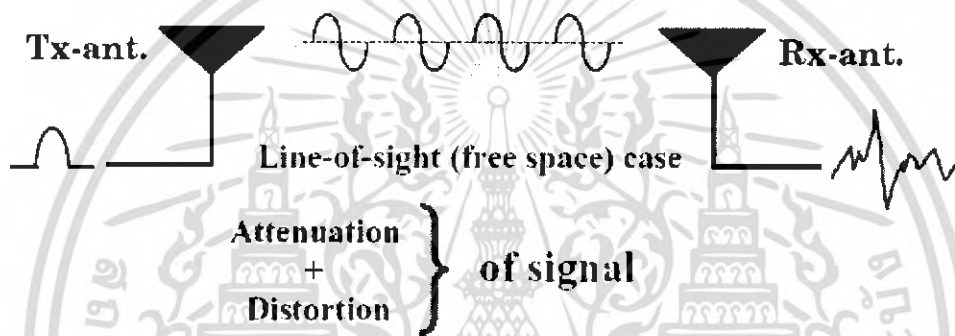
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการสูญเสียเชิงวิถีในพื้นที่ว่าง(free space) โดยสูตรของฟรีส(friis) คือ

$$L = \frac{P_t G_t G_r}{P_r} = \left( \frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \tag{3.9}$$

เครือข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล(Wireless Personal Area Network, WPAN)

ในระบบไร้สายเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลนั้นจำเป็นที่สุดที่ต้องมีคุณสมบัติดังนี้ คือมีแบนด์-วิดท์ที่กว้าง อัตราการส่งข้อมูลสูง กำลังงานที่ใช้ต่ำ รองรับผู้ใช้บริการที่มาก และต้องมีราคาที่ไม่สูง โดยการสื่อสารถูกแสดงตามรูปภาพที่ 3.2

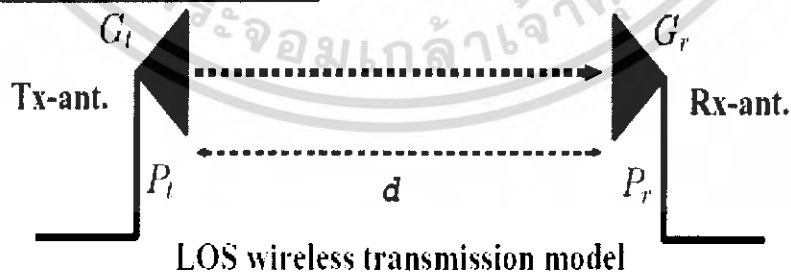


รูปที่ 3.2 รูปแบบการส่งถ่ายของเครือข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล

ผลกระทบจากการการลดทอนสัญญาณ(Distortion) จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากสูตรของฟรีสแสดงเป็นสมการในเทอมของความถี่

### 3.1.1 การขยายสูตรการส่งผ่านของฟรีส สำหรับระบบจุดต่อไร้สาย

#### Friis' Transmission Formula



รูปที่ 3.3 รูปแบบการส่งไร้สายแบบเส้นตรง(Line of Side)

**อัตราการขยายของการส่งผ่าน(Transmission gain)**

$$G_{Fris}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f)G_r(f)G_i(f) \tag{3.10}$$

**อัตราการแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่ว่าง(Free space propagation gain)**

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \tag{3.11}$$

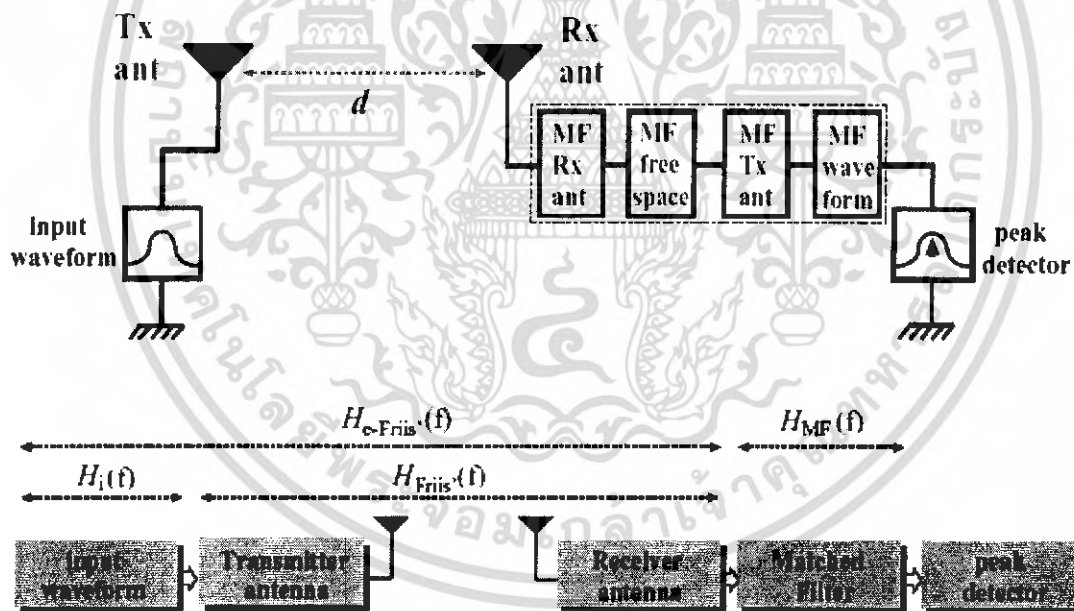
ที่ซึ่ง  $f$  คือ ความถี่

$G_i(f)$  คือ อัตราการขยายสุทธิของสายอากาศด้านส่ง

$G_r(f)$  คือ อัตราการขยายสุทธิของสายอากาศด้านรับ

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น

**3.1.2 ขยายสูตรการส่งผ่านของฟรีส สำหรับการส่งเวฟฟอร์มแบบไวต์แบนด์**



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมสำหรับระบบการส่งข้อมูลสำหรับการขยายสูตรการส่งข้อมูลของฟรีสที่กระทำกับอูลตราไวต์แบนด์

สัญญาณอินพุต

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t) \quad (3.12)$$

หน้าที่การถ่ายโอนผลตอบสนองร่วม(Corresponding transfer function)

$$H_{e-Friis}(f) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_f H_r \tilde{H}_r \cdot \tilde{H}_t \quad (3.13)$$

ที่ซึ่ง

$$\tilde{H}_a = \tilde{H}_a(\theta_a, \phi_a, f)$$

$$a = r \text{ or } t$$

หน้าที่การถ่ายโอนเชิงซ้อน(Complex transfer function) ของพื้นที่ว่าง

$$H_f = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd) \quad , \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.14)$$

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย(Unit vectors)ของสายอากาศรับและสายอากาศส่ง

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t \quad , \quad \hat{\phi}_r = -\hat{\phi}_t \quad (3.15)$$

Matched filter normalized to satisfy constant noise power output.

$$H_{MF}(f) = \frac{H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}} \quad (3.16)$$

เอาต์พุตเวฟฟอร์ม(Output waveform)จากเมทริกซ์เวกเตอร์

$$v_{MF}(t) = h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) = \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}} \quad (3.17)$$

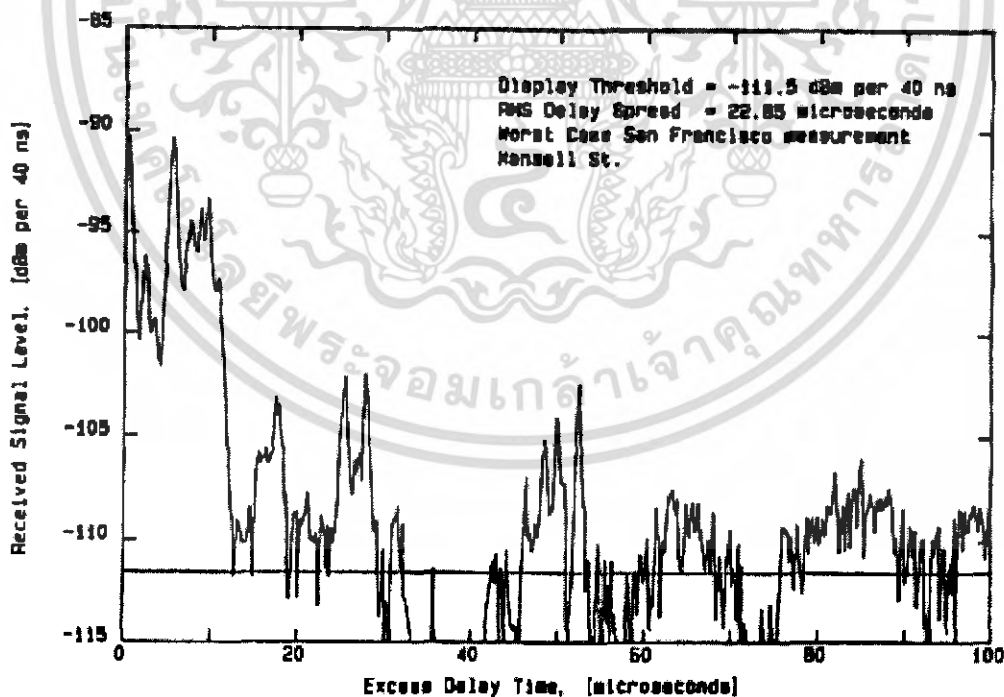
ค่าสูงสุด(Maximum)

$$v_{MF}(t)_{\max} = v_{MF}(0) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df} \quad (3.18)$$

“สมการนี้รวมผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศการสูญเสียของการกระจาย และสเปกตรัมของสัญญาณการส่งเข้าไปด้วย”

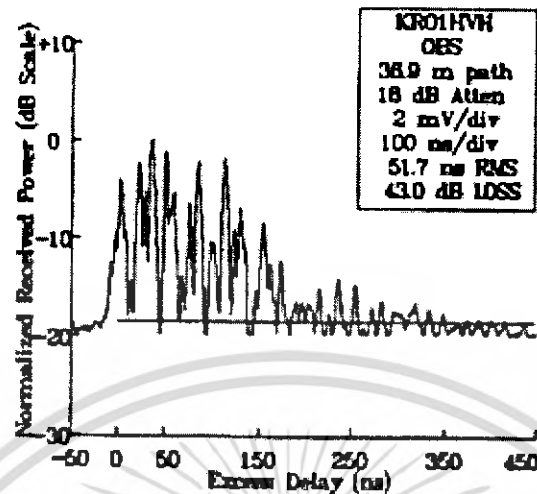
### 3.2 พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณหลายทิศทางเคลื่อนที่(Parameters of Mobile Multipath Channels)

พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณหลายทิศทางมากมายนี้ได้มาจากกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณ(Power delay profile) โดยกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณโดยปกติถูกแสดงโดยกราฟความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ได้รับกับเวลาซึ่งยืดเกิน(excess delay time) ที่ยืดการยืดเวลา(time delay) อ้างอิง และกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณหาได้จากการเฉลี่ยค่ากำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณที่วัดได้ทันทีนั้นรอบๆพื้นที่เพื่อที่จะพิจารณากำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณแบบขนาดเล็ก(small-scale) ซึ่งขึ้นอยู่กับความละเอียดของพัลส์ที่ตรวจพบชนิดของการศึกษาช่องสัญญาณหลายทิศทาง ผู้ทำงานวิจัยส่วนใหญ่จะเลือกที่หนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่น และระยะทางไม่เกิน 6 เมตรในช่องสัญญาณภายนอกอาคาร และไม่เกิน 2 เมตร ในช่องสัญญาณภายในอาคารที่ช่วงความถี่ระหว่าง 450 เมกะเฮิร์ต - 6 จิกะเฮิร์ต ในรูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณช่องสัญญาณภายในและภายนอกอาคาร



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

รูปที่ 3.5 ค่าการวัด power delay profile โดย (ก) วัดจากระบบเซลล์คู่ที่ 900 เมกะเฮิร์ต ในซาน-ฟรานซิสโก (ข) ภายในร้านขายของชำที่ 4 จิกะเฮิร์ต

### 3.2.1 Time Dispersion Parameters

เพื่อที่จะเปรียบเทียบความแตกต่างของช่องสัญญาณแบบหลายทิศทาง(multipath) และเพื่อพัฒนาการออกแบบของการสื่อสารไร้สาย ดังนั้นจึงต้องศึกษาพารามิเตอร์(parameters) ที่สามารถบอกปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการใช้สื่อสารช่องสัญญาณแบบหลายทิศทางซึ่งมีอยู่หลายตัว time mean excess delay , time root mean square delay spread , time excess delay spread ( $X$  dB) เป็นพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณแบบหลายทิศทางที่สำคัญตัวหนึ่งและนั้นสามารถถูกกำหนดได้จาก กำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณโดยคุณสมบัติการกระจายเวลาของช่องสัญญาณหลายทิศทาง แบบแบนด์กว้างส่วนใหญ่จะหาปริมาณโดย Time mean excess delay( $\bar{\tau}$ ) และ Time rms delay spread( $\sigma_{\tau}$ ) โดยเวลาซึ่งยึดเกิน(mean excess delay) เป็นการหาช่วงแรกของกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณและมันถูกนิยามว่า

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3.19)$$

Time rms delay spread เป็นการหารากที่สองของเหตุการณ์ช่วงกลางลำดับที่สองของกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณซึ่งถูกนิยามไว้ดังนี้

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ซึ่ง

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3.21)$$

การทำให้เวลาชดเชยเหล่านี้ถูกวัดค่าได้โดยความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ตรวจจับได้ตอนแรกที่มาถึงที่ตัวรับที่  $\tau = 0$  ในสมการดังกล่าวก็ไม่สามารถเชื่อถือได้บนระดับกำลังอย่างแท้จริง (absolute power level) ของ  $P(\tau)$  แต่เป็นเพียงความสัมพันธ์แอมปริจูดขององค์ประกอบแบบหลายทิศทางภายใน  $P(\tau)$  ในที่นี้ยกตัวอย่างค่าของ rms delay spread ที่วัดคลื่นวิทยุเคลื่อนที่ภายนอกอาคารในหน่วยของไมโครวินาที และจากภายในอาคารในหน่วยนาโนวินาทีซึ่งได้แสดงไว้ตามตารางดังนี้

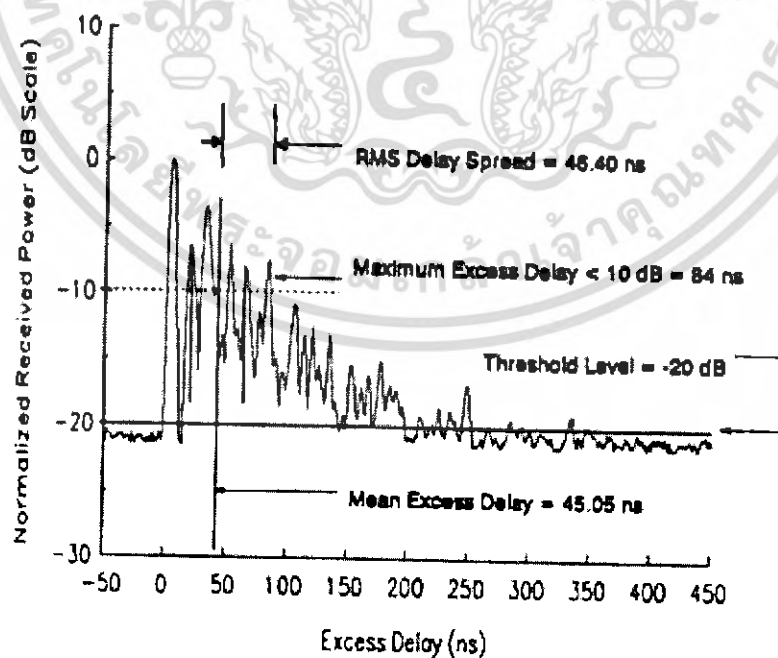
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการวัดค่า RMS Delay Spread

Environment	Frequency (MHZ)	RMS Delay Spread ( $\sigma_r$ )	Notes	Reference
ในเมือง	910	เฉลี่ย 1300 ns 600 ns dev มากที่สุด 3500 ns	New York City	[Coz75]
ในเมือง	892	10-25 us	San Francisco กรณีแย่ที่สุด	[Rap90]
ชานเมือง	910	200-310 ns	กรณีตัวอย่างเฉลี่ย	[Cox72]
ชานเมือง	910	1960-2110 ns	กรณีสุดท้ายเฉลี่ย	[Cox72]
ภายในอาคาร	1500	10-50 ns ส่วนกลาง 25 ns	ตึกทำงาน	[Sal87]
ภายในอาคาร	850	มากที่สุด 270 ns	ตึกทำงาน	[Dev90a]
ภายในอาคาร	1900	เฉลี่ย 70-94 ns มากที่สุด 1470 ns	San Francisco 3 ตึก	[Sei92a]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันสำคัญที่ต้องจดบันทึกว่า rms delay spread และ mean excess delay ได้ถูกนิยามมาจากกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณเดี่ยว(single power delay profile) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเกี่ยวกับเวลาและค่าเฉลี่ยที่ช่องว่าง(spatial)ของการวัดผลคอบสนองอิมพัลส์(impulse) ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยเกินพื้นที่รอบบริเวณ(local area) โดยตัวอย่างเช่นการวัดมากมายที่ถูกทำที่พื้นที่รอบบริเวณเพื่อที่จะพิจารณาช่วงตามสถิติของพารามิเตอร์ช่องสัญญาณแบบหลายทิศทางสำหรับระบบการสื่อสารเคลื่อนที่เกินพื้นที่ขนาดใหญ่ (large-scale area)

Maximum excess delay ( $X$  dB) ของกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณได้ถูกนิยามเป็นการขีดเวลาระหว่างพลังงานหลายทิศทางตกมาที่  $X$  dB ได้ค่ามากที่สุด ในอีกทางได้ถูกนิยามเป็น  $\tau_x - \tau_0$  โดยที่  $\tau_0$  คือสัญญาณที่มาถึงสัญญาณแรก และ  $\tau_x$  เป็นการขีดเวลาสูงที่สุดที่องค์ประกอบหลายทิศทางภายใน  $X$  dB ของสัญญาณหลายทิศทางที่มาถึงที่แข็งแรงที่สุด(ซึ่งไม่จำเป็นต้องมาถึงที่  $\tau_0$ ) ซึ่งในรูปที่ 3.6 ได้อธิบายการคำนวณ maximum excess delay สำหรับองค์ประกอบหลายทิศทางที่มีค่ามากที่สุดที่ 10 เดซิเบล maximum excess delay ได้นิยามขอบเขตเกี่ยวกับเวลาของการสื่อสารแบบหลายทิศทางว่ามีค่าเหนือจุดเริ่มต้นเฉพาะ(particular threshold) ค่าของ  $\tau_x$  บางครั้งถูกเรียกว่า excess delay spread ของกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณแต่ในกรณีทั้งหมดต้องถูกกำหนดไว้ที่จุดเริ่มต้น(threshold): ซึ่งมันสัมพันธ์กับพื้นสัญญาณรบกวนหลายทิศทางที่องค์ประกอบหลายทิศทางที่รับเข้ามามากที่สุด



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณภายในอาคาร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น(Radiation lobe)

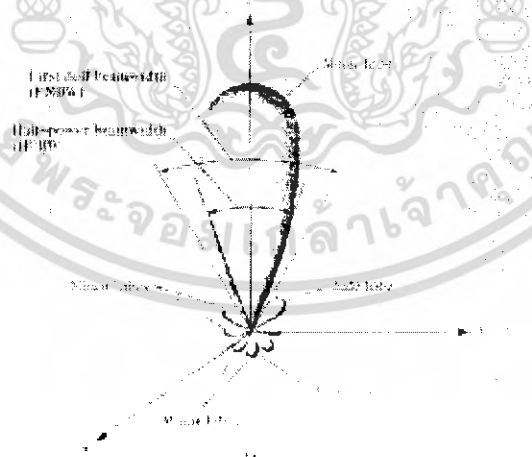
โอบของการแพร่กระจายคลื่น(Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นตามรูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายแบบ โพลาร์(Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็น โอบแบบต่างๆดังนี้

โอบหลัก(Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่บนทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามรูปที่ 3.7 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง  $\theta = 0$  สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบเช่น สายอากาศแยกบีม(Split-beam antenna)

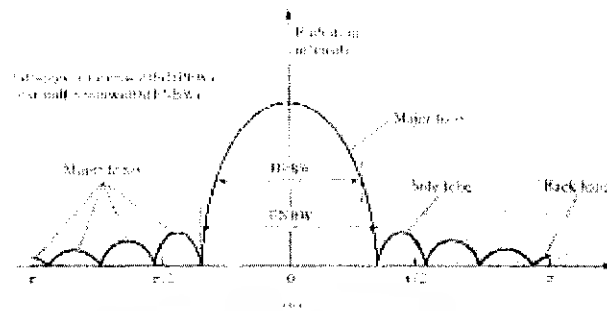
โอบย่อย(Minor Lobe) ได้แก่ โอบอื่นๆนอกเหนือไปจากหลัก

โอบข้างหรือไซด์โอบ(Side Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ติดกับโอบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

โอบหลัง(Back Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโอบหลักปกติแล้วโอบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นเสาอากาศที่ดีจะต้องจำกัดโอบเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุด ระดับของโอบย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนความหนาแน่นของพลังงานในโอบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลัก ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนของไซด์โอบ(Side Lobe Level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โอบน้อยกว่า -20 เดซิเบล



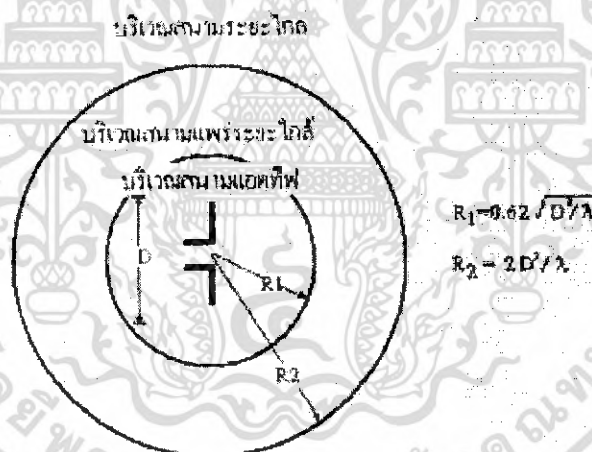
รูปที่ 3.7 (ก) โอบต่างๆและบีมวิดท์ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ



รูปที่ 3.7 (ข) รูปแบบการแพร่กระจายในแบบลิเนียร์

### 3.4 บริเวณต่างๆของสนามสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมสายอากาศออกมาเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอกทีฟ ระยะใกล้(Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้(Radiation-Near Field) และสนามระยะไกล (Far-Field) ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่บริเวณนี้จะมีระยะทาง  $R < 0.62 \sqrt{\frac{D}{\lambda}}$  จากผิวของสายอากาศเมื่อ เป็นความยาวคลื่นและ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้เป็นบริเวณสนามสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณชิงสนามแอกทีฟระยะใกล้กับสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆนั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นสนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีระยะทาง  $\frac{2D^2}{\lambda}$   $R > 0.62 > \sqrt{\frac{D}{\lambda}}$  บริเวณสนามระยะใกล้เป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะใกล้จะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า  $\frac{2D^2}{\lambda}$  จากสายอากาศ

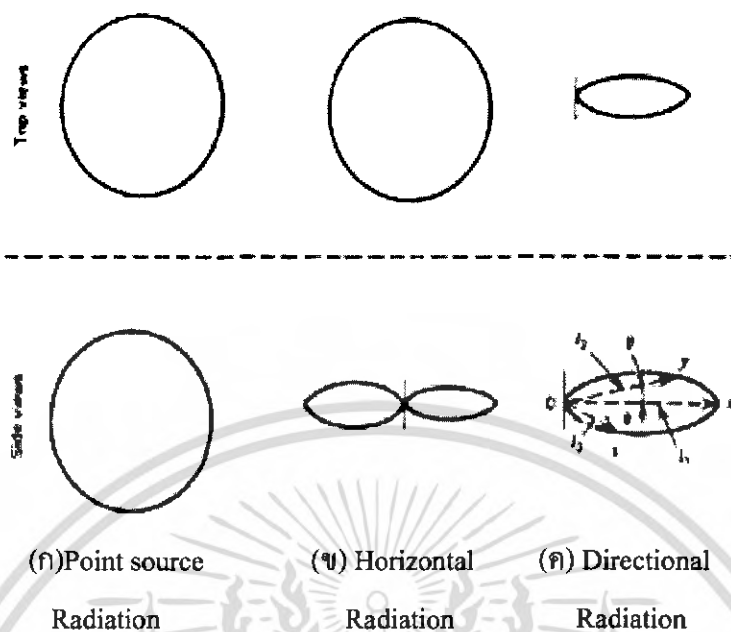
ในบริเวณนี้สามารถมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง(Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่างๆไม่ขึ้นกับระยะทางขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ  $\frac{2D^2}{\lambda}$  และขอบนอกเป็นอนันต์

### 3.5 รูปแบบการแพร่กระจาย (Radiation Pattern)

รูปแบบการแพร่กระจายแสดงลักษณะความแรงของสัญญาณที่แพร่กระจายรอบ ๆ สายอากาศทุกทิศทางทุกทาง ตัวแพร่กระจายในอุดมคติที่เราเรียกว่าพอยท์ซอร์ส(point source) มีรูปแบบการแพร่กระจายเป็นรูปทรงกลม ซึ่งหมายถึงว่า ความเข้มสนามที่ระยะทางเท่า ๆ กัน จะเท่ากันหมดในทุกทิศทางดังรูปที่ 3.9 (ก)

สายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายทางแนวนอน จะมีรูปร่างเหมือนขนมโดนัท โดยมีสายอากาศเป็นแกนทางแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.9 (ข)

สายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายแคบ ๆ จะเป็นสายอากาศชนิดมีทิศทาง (directional) ดังรูปที่ 3.9 (ค)



รูปที่ 3.9 รูปแบบการแพร่กระจายหลาย ๆ แบบ

รูปแบบการแพร่กระจายจะบ่งถึงความเข้มสนามที่วัดได้ในทิศทางต่าง ๆ ตัวอย่างในรูปที่ 3.9 (ค)  $x, y, z$  เป็นเวกเตอร์สนามความยาวเท่ากับ  $I_1, I_2, I_3$  โดยวัดที่มุม  $0, \phi, \theta$  ตามลำดับ ความเข้มสนามที่จุด  $x, y, z$  จะเท่ากันหมดเพียงแต่  $x$  อยู่ห่างจากสายอากาศมากที่สุด และ  $z$  ใกล้ที่สุด นั่นคือสัญญาณจะแรงที่สุดในแนว  $ox$

สรุปได้ว่า รูปแบบการแพร่กระจายคือเส้นขอบ(locus) ของจุดทั้งหมดที่มีความเข้มสนามเท่ากัน

### 3.6 อัตราการขยายกำลัง(Power gain)

ในการวัดอัตราการขยายกำลังใช้วิธีการปรับเปลี่ยนกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศที่วัด เพื่อให้ได้ค่าความเข้มสนามในทิศทางโอบหลักที่ระยะทางเท่ากัน เท่ากับค่าความเข้มสนามของสายอากาศมาตรฐาน แล้วเทียบอัตราส่วนกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศทั้งสอง

$$A_p = 10 \log \left[ \frac{P_r}{P_i} \right] \quad (dB) \tag{3.22}$$

โดยที่

$A_p$  : อัตราการขยายกำลัง

$P_r$  : กำลังถึงสายอากาศด้านรับอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_r$  : กำลังถึงสายอากาศทดสอบอ้างอิง

ในกรณี directivity เราคำนึงกำลังการแพร่กระจายในทิศทางที่สูงสุด ส่วนอัตราการขยายกำลังพิจารณาจากกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศ สองอย่างนี้คล้ายกัน ยกเว้นอัตราการขยายกำลังมีส่วนของการสูญเสียในสายอากาศเข้ามาด้วย เราจึงเขียนสูตรอัตราการขยายกำลังอีกอย่างได้ว่า

$$A_p = nD \quad (3.23)$$

ในเมื่อ

$D$  : Directivity

$n$  : ประสิทธิภาพสายอากาศ (= 1 หากไม่มีการสูญเสีย)

ค่า directivity ปกติเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ส่วนอัตราการขยายกำลังใช้ทางปฏิบัติเป็นสำคัญ ค่าทั้งสองนี้จะเท่ากันสำหรับสายอากาศย่านวีเอชเอฟ(VHF) และยูเอชเอฟ(UHF) ส่วนใหญ่ แต่สายอากาศย่านเอ็มเอฟ(MF) และแอลเอฟ(LF) ค่าจะต่างกันบ้างเพราะมีการสูญเสีย

### 3.7 แบนด์วิดท์ของสายอากาศ

แบนด์วิดท์ของสายอากาศ คือช่วงความถี่ที่สายอากาศที่มีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด หรือช่วงความถี่ที่สายอากาศ ยังคงมีคุณสมบัติต่าง ๆ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ตกจากคุณสมบัติที่ออกแบบไว้ที่ความถี่กลาง จนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้ผิดไป จากข้อกำหนดมาตรฐานเช่น อินพุทอิมพีแดนซ์, รูปแบบการแพร่กระจายบีมวิท, โพลาริเซชัน, อัตราการขยาย, และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น

เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งได้ จึงต้องมีการกำหนดให้เป็นที่ไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไป

ปกติเราใช้คุณสมบัติของรูปแบบการแพร่กระจายกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศ

แพทเทิร์นแบนด์วิดท์(Pattern bandwidth) คือค่าความแตกต่าง ระหว่างความถี่ที่ทำให้กำลังที่ได้รับลดลงครึ่งหนึ่ง(half power) ของค่าสูงสุด ในทิศทางการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด

สายอากาศที่วิเวบายง่าย ๆ เช่น สายอากาศไดโพล หรือสายอากาศหุกระต่าย ต้องสามารถรับสัญญาณจาก VHF แบนด์ ความถี่ตั้งแต่ 54 เมกะเฮิร์ต ถึง 216 เมกะเฮิร์ต หรือโลบสายอากาศ(loop antenna) เล็ก ๆ รับ UHF แบนด์ ความถี่ตั้งแต่ 470 เมกะเฮิร์ต ถึง 1000 เมกะเฮิร์ต ผลต่างของความถี่จะเรียกว่าเป็นแบนด์วิดท์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศก็ได้ แต่โดยความจริงแล้ว สายอากาศทีวีที่กล่าวถึงนี้ เป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพที่แย่ที่สุด ที่พอรับสัญญาณได้เพราะอาศัยเครื่องรับมีความไวสูงและสัญญาณที่ส่งมาก็แรง การหาความถี่กลางเพื่อออกแบบสายอากาศทีวีในทางปฏิบัติใช้สูตรง่าย ๆ คือ

$$f_m = \sqrt{f_L \cdot f_H} \quad (3.24)$$

ในเมื่อ

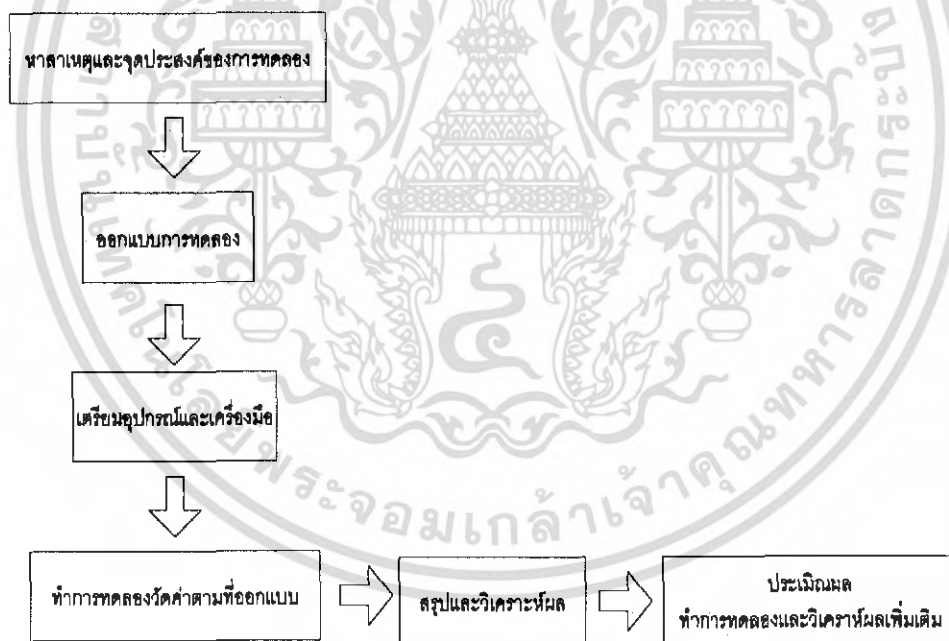
$f_m$  : ความถี่เฉลี่ยทางเรขาคณิต(geometric mean frequency)

$f_L$  : ช่วงความถี่ต่ำกว่าปลาย(lower end of the frequency band)

$f_H$  : ช่วงความถี่สูงกว่าปลาย(upper end of the frequency band)

### 3.8 ขั้นตอนการทดลอง

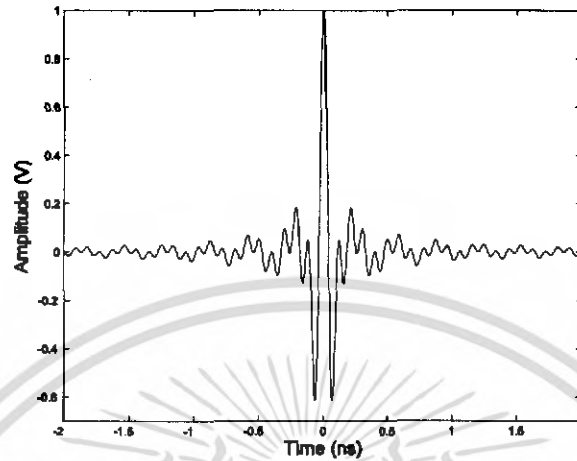
#### 3.8.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.10 บล๊อคการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.2 รูปแบบสัญญาณการส่งผ่านของอคูตริ้วาโด้แบนด์



รูปที่ 3.11 เวก์ฟอร์มการส่งผ่านของสัญญาณอคูตริ้วาโด้แบนด์

การส่งสัญญาณอคูตริ้วาโด้แบนด์นี้ถูกแสดงดังรูปที่ 3.9 และมีสมการดังนี้

$$v_i(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)] \quad (3.25)$$

โดยที่  $f_{\max}$  คือ ความถี่ที่มากที่สุด

$f_{\min}$  คือ ความถี่ที่น้อยที่สุด

$f_b = f_{\max} - f_{\min}$  เป็นสเปกตรัมแบนด์วิดท์

$f_c = \frac{(f_{\max} + f_{\min})}{2}$  เป็นความถี่ศูนย์กลาง

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

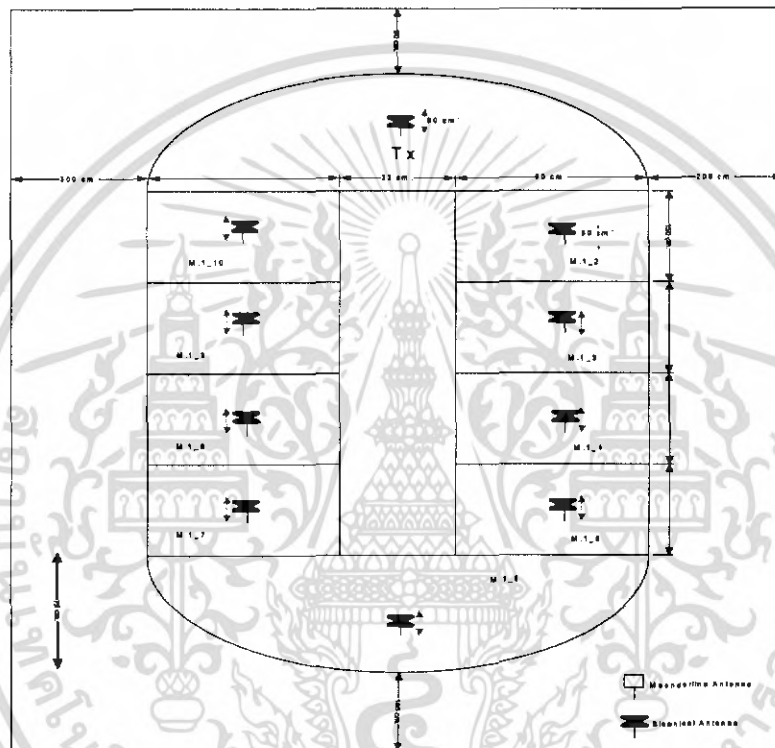
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.3 รูปแบบการวัด (Measurement Model)

โมเดลแบบที่ 1 ตัวส่งเป็นสายอากาศไบ โคนิคอล ซึ่งสายอากาศมินิเคอร์ไลน์ที่เป็นตัวรับ  
ในกรณีนี้แบ่งออกเป็นกรณีได้ดังนี้

กรณีที่ 1 : เมื่อทางด้านรับและด้านส่งไม่พิจารณาเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โดย

- ด้านรับ เป็นสายอากาศไบ โคนิคอล ด้านส่งเป็นสายอากาศไบ โคนิคอล



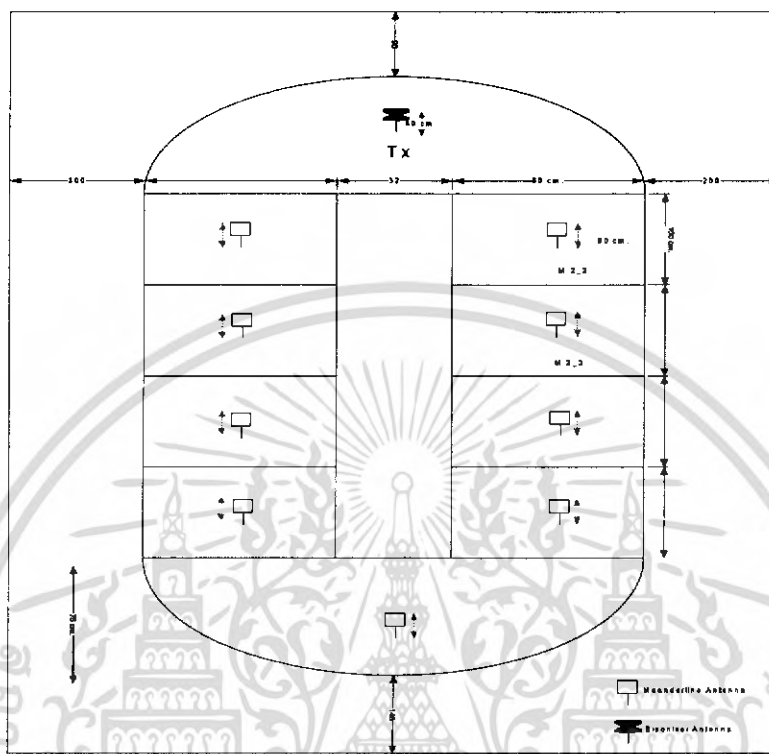
รูปที่ 3.12 (ก) รูปแบบ โมเดล1 กรณีที่ 1.1



รูปที่ 3.12 (ข) ตัวอย่างภาพถ่ายโมเดล1 กรณีที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้านรับ เป็นสายอากาศมินิเดอริไลน์ ด้านส่งเป็นสายอากาศไบโคโนคอลล



รูปที่ 3.13 (ก) รูปแบบ โมเดล 1 กรณีที่ 1.2

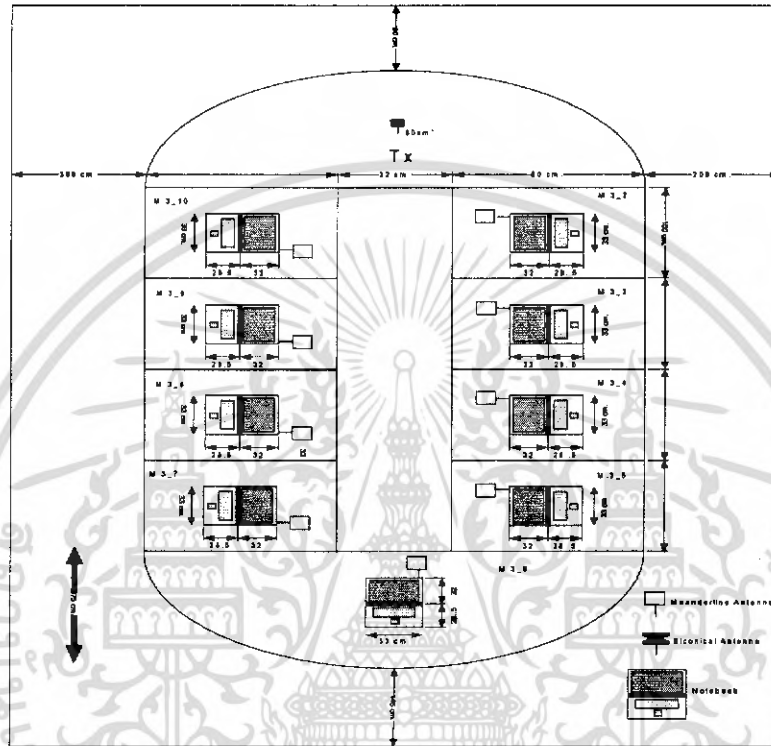


รูปที่ 3.13 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 1 กรณีที่ 1.2

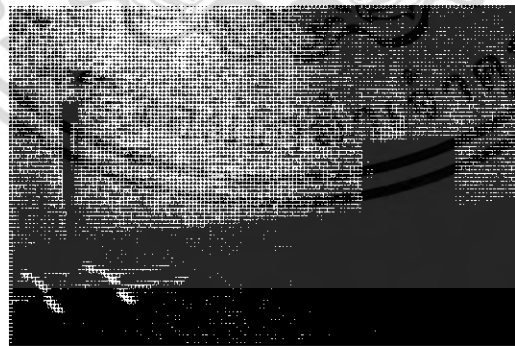
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2.1, 2.2 : เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอยู่เฉพาะด้านรับ

- เมื่อเปิดเครื่องทางด้านรับ
- เมื่อเปิดเครื่องทางด้านรับ



รูปที่ 3.14 (ก) รูปแบบ โมเดล1 กรณีที่ 2.1,2.2

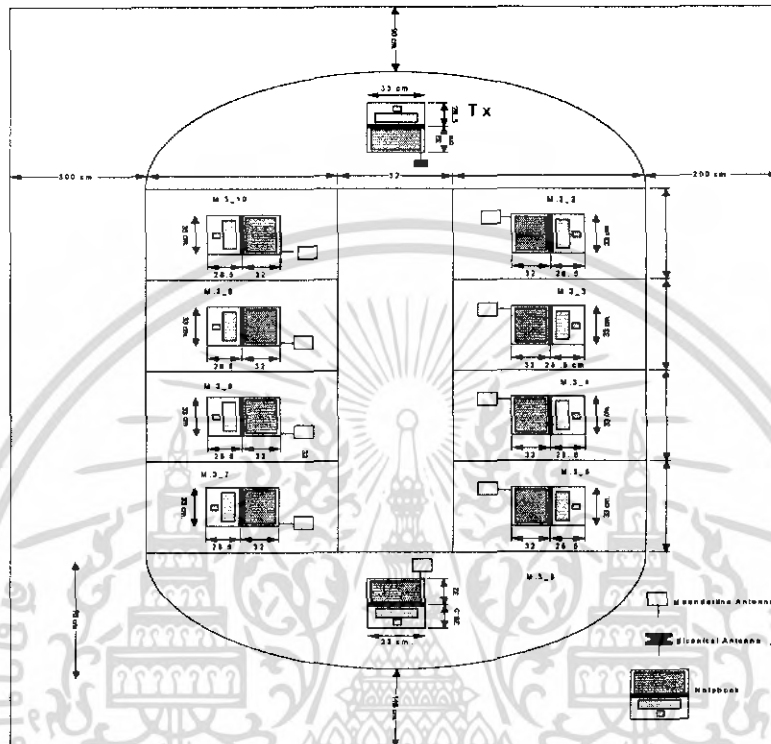


รูปที่ 3.14 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล1 กรณีที่ 2.1,2.2

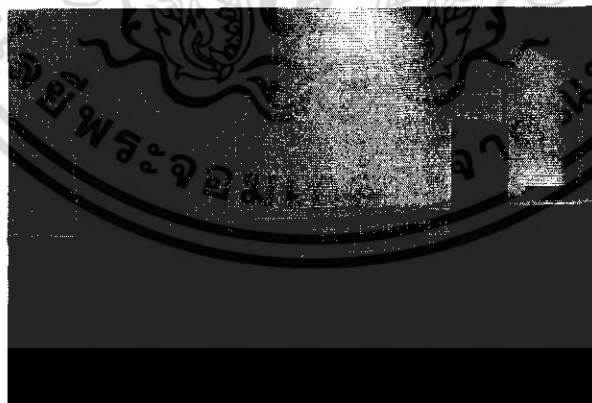
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3 : เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทางด้านรับและมีทางด้านส่ง

- ตัวรับและตัวส่งอยู่สูงจากเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก 10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.15 (ก) รูปแบบ โมเดล1 กรณีที่ 3



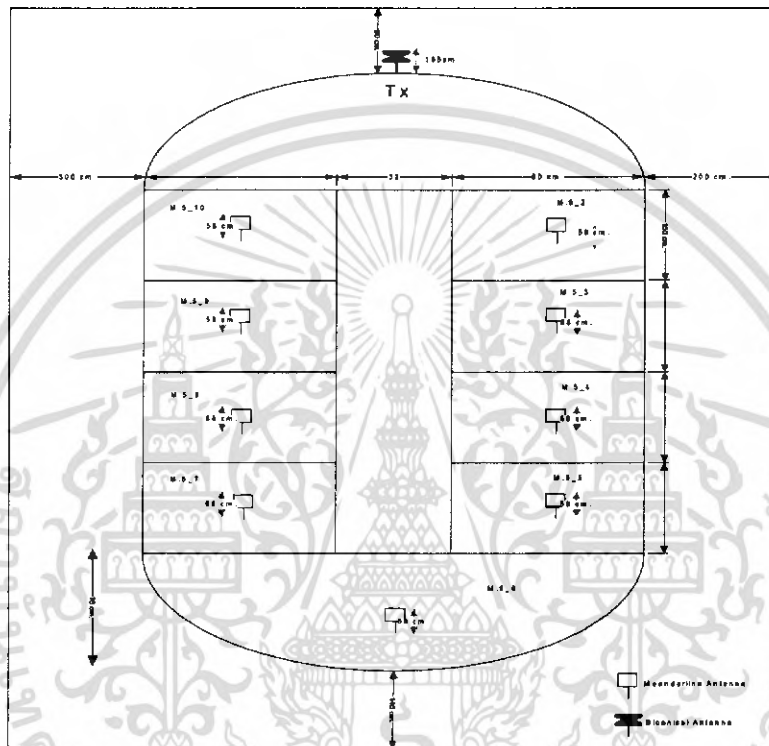
รูปที่ 3.15 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 1 กรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเดลแบบที่ 2 ตัวส่งสายอากาศไบโคนิคอลอยู่สูงจากพื้นห้อง 165 เซนติเมตร สายอากาศมินิเคอร์ไลน์ทางด้านรับอยู่สูงจากพื้น 42.5 เซนติเมตร ในกรณีนี้แบ่งออกเป็นกรณีได้ดังนี้

กรณีที่ 1 : เมื่อทางด้านรับและด้านส่งไม่พิจารณาเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โดย

- ด้านรับ เป็นสายอากาศมินิเคอร์ไลน์ ด้านส่งเป็นสายอากาศไบโคนิคอล



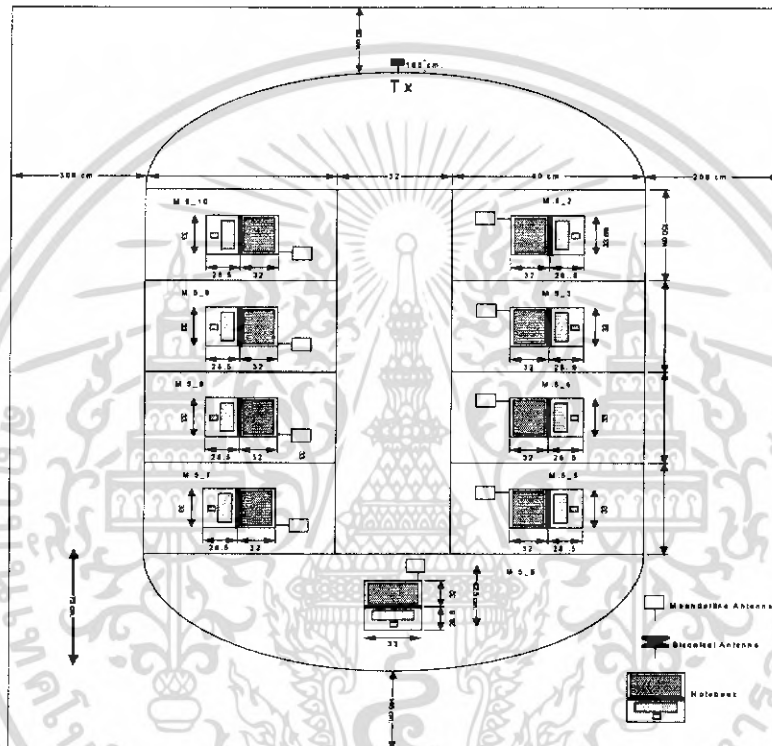
รูปที่ 3.16 รูปแบบโมเดล 2 กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2.1, 2.2

เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอยู่เฉพาะด้านรับ โดยสายอากาศทางด้านสายส่งเป็นสายอากาศไบโคนิคอลลแต่่างในแนวตั้ง

- เมื่อปิดเครื่องทางด้านรับ
- เมื่อเปิดเครื่องทางด้านรับ



รูปที่ 3.17 (ก) รูปแบบ โมเดล 2 กรณีที่ 2.1,2.2



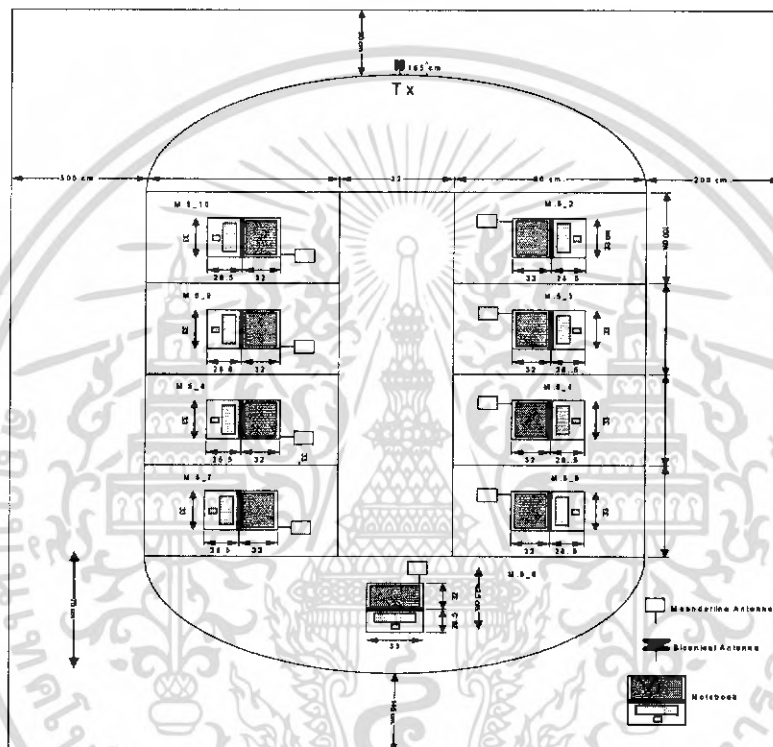
รูปที่ 3.17 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล 2 กรณีที่ 2.1, 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

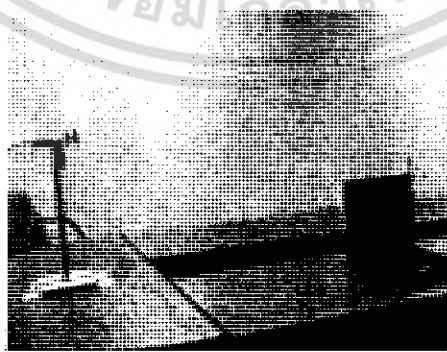
กรณีที่ 2.3, 2.4

เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอยู่ทางด้านรับ โดยสายอากาศทางด้านสายส่งเป็นสายอากาศไบโคนิคอลแต่วางในแนวนอน

- เมื่อปิดเครื่องทางด้านรับ
- เมื่อเปิดเครื่องทางด้านรับ



รูปที่ 3.18 (ก) รูปแบบ โมเดล2 กรณีที่ 2.3,2.4



รูปที่ 3.18 (ข) ตัวอย่างภาพถ่าย โมเดล2 กรณีที่ 2.3,2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.8.4.1 สายอากาศไบโคนิคอล (Biconical)

เป็นรูปร่างลักษณะที่ไม่ซับซ้อนที่สามารถใช้กับคุณสมบัติของบรอดแบนด์ รูปร่างของสายอากาศไบโคนิคอลนั้นเป็นรูปทรงกรวยที่มีขนาดไม่จำกัดวางเข้าด้วยกันไว้ดังในรูปที่ 3.16 นั้นแสดงในรูปของสายส่งเมื่อใช้แรงดัน(Vi)ที่ขั้วจะมีผลออกมาเป็นคลื่นทรงกลม ซึ่งในผลสะท้อนในจุดใดๆ จะมีกระแส ความดันผิวของทรงกรวยและแรงดัน ระหว่างทรงกรวยทั้งสอง สามารถหาคุณลักษณะพิเศษของอิมพีแดนซ์(impedance) ของทรงเรขาคณิตนั้น ดังแสดงการหาค่าตัวแปรระยะของทรงกรวยที่จะทำให้ใช้เป็นสายส่งได้



รูปที่ 3.19 สายอากาศไบ โคนิคอล(Biconical antenna)

#### 3.8.4.2 สายอากาศมีนเคอร์ไลน์(Meander line)

เป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับการติดกับอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ได้



รูปที่ 3.20 สายอากาศมีนเคอร์ไลน์(Meanderline antenna)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.5 การวัดคุณสมบัติการส่งสัญญาณโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

#### เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัด

1. เครื่องเวคเตอร์เน็ตเวิร์คอนาไลเซอร์
2. สายอากาศมีนเคอร์ไลน์ 1 ตัว
3. สายอากาศไบโคเนคคอล 2 ตัว
4. สายเคเบิล
5. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก 10 เครื่อง
6. ชุดเครื่องมือตรวจวัด(Calibration Kits)
7. แผ่นไร้การสะท้อน
8. คอมพิวเตอร์(Computer)

#### ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. วิเคราะห์ปัญหา
2. ออกแบบ โมเดล
3. ทำการทดลอง
4. การทดลองและแก้ไข
5. จัดกาทำเอกสาร

#### พารามิเตอร์ของการทดลอง

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง

พารามิเตอร์ (Parameter)	Value
ช่วงความถี่(Frequency range)	3 ~ 11 GHz
จำนวนจุดความถี่(Number of frequency point)	801

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์

#### 4.1 การวัดและพารามิเตอร์

##### 4.1.1 ขั้นตอนการวัด

1. ทำการอุ่นเครื่อง(warm up) เครื่องเวกเตอร์อานาไลเซอร์(Vector Network Analyzer:VNA) ประมาณ 90-180 นาที และ Calibrate แบบ Full-two port ร่วมกับสายเคเบิลที่ใช้การวัดทั้งหมด
2. ทำการเชื่อมต่อสายอากาศทั้ง 2 ด้าน เข้ากับ พอร์ต 1(Port 1) และ พอร์ต 2(Port 2) ของ เครื่อง เวกเตอร์ อานาไลเซอร์ (Vector Network Analyzer :VNA)
3. ทำการจัดตั้งอุปกรณ์ จัดตั้งเครื่อง(set up) เครื่อง
4. จัดวางแผ่นลดการสะท้อน

##### 4.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ระดับสัญญาณ(Bandwidth) ในช่วงความถี่ 3.0-11 กิกะเฮิร์ต
2. ความสูงของสายอากาศทางด้านส่ง
3. ความสูงของสายอากาศทางด้านรับ
4. ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ

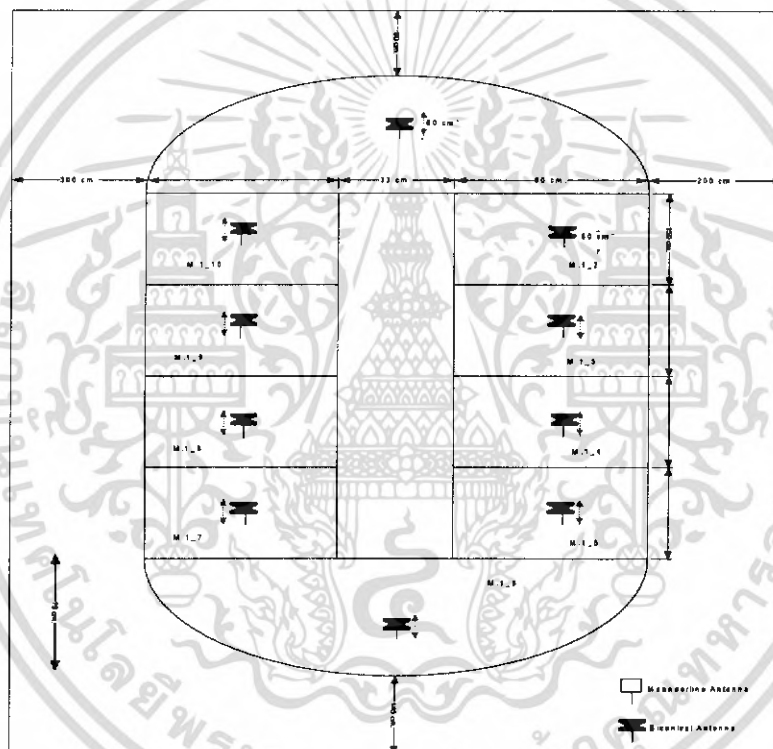
## 4.2 ผลการทดลอง

### 4.2.1 แสดงโมเดลและผลการทดลองในโมเดลนั้นๆ

โมเดลแบบที่ 1 ตัวส่งเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอล(Biconical antenna) ซึ่งอยู่สูงกว่าสายอากาศแบบมีนเคอร์ไลน์(Meanderline) ที่เป็นตัวรับ อยู่ 10 เซนติเมตร

กรณีที่ 1.1: เมื่อทางด้านรับและด้านส่งไม่พิจารณาเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โดย

- ด้านรับเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอล ด้านส่งเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอล



รูปที่ 4.1 (ก) โมเดล 1 กรณีที่ 1.1

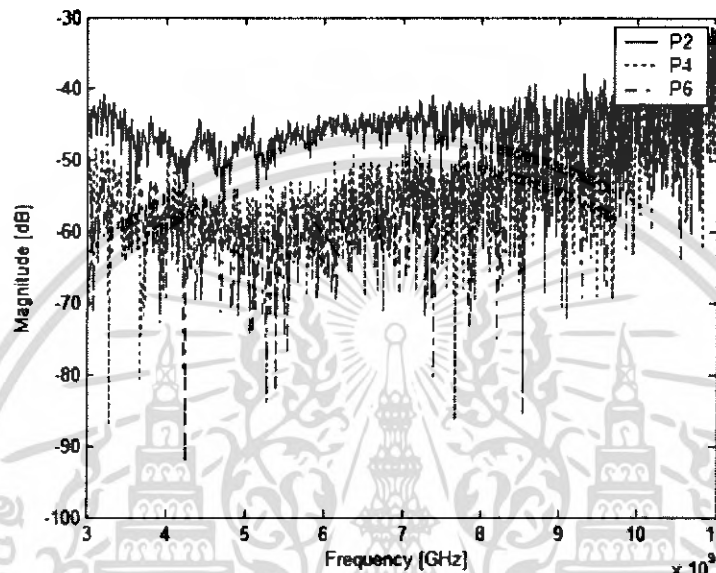
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี (dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	51.4793	1.18
3	59.3621	2.61
4	63.5119	4.12
5	65.5965	5.61
6	67.3041	6.71
7	66.6085	5.61
8	62.8897	4.12
9	59.1414	2.61
10	51.9933	1.18

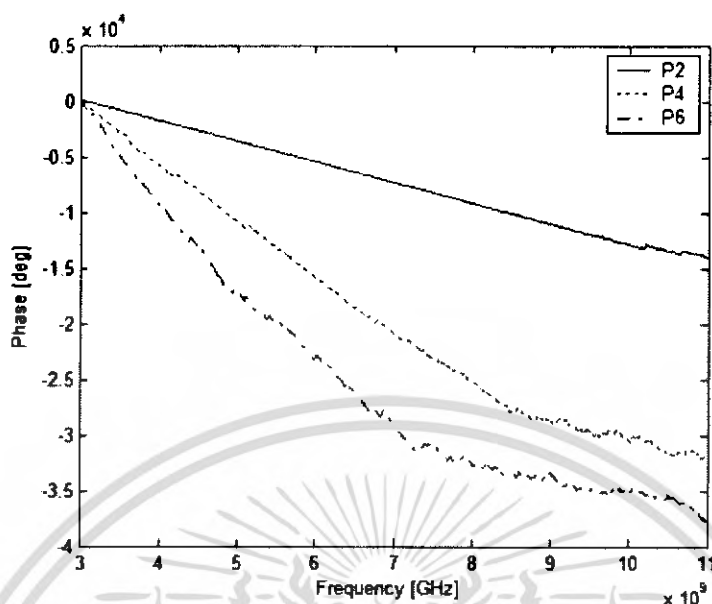
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็จะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถี มากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส(Amplitude) กับ ความถี่(Frequency) และ เฟส(Phase) กับ ความถี่(Frequency) โดยเลือกตำแหน่งที่ 2 ,4 และ 6 ซึ่งได้ กราฟดังนี้



รูปที่ 4.1 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

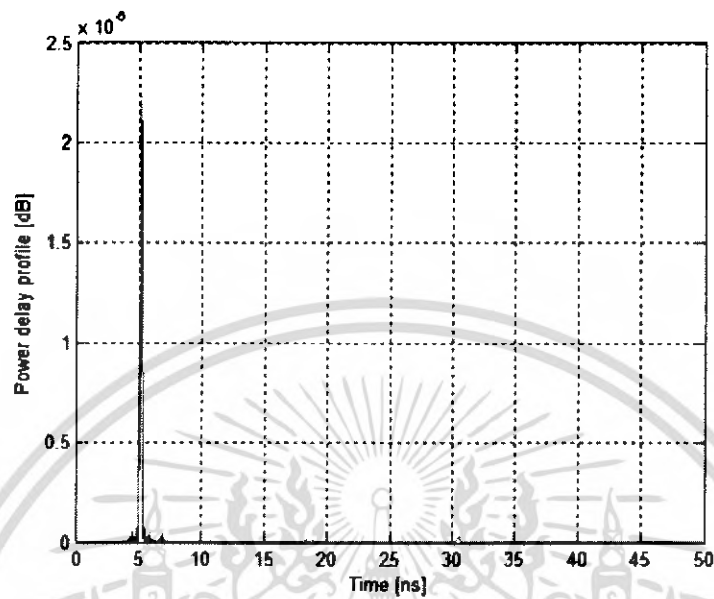
จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบสายอากาศแบบไบโคเนคคอล ทั้งทางด้านรับสัญญาณและด้านส่งสัญญาณ ซึ่งค่าของแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า แม็กนิจูดในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อแอมพลิจูดลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณยิ่งถ้าตัวรับสัญญาณอยู่ไกลจากตัวส่งสัญญาณมากจะทำให้ค่าแม็กนิจูดมากขึ้นด้วย



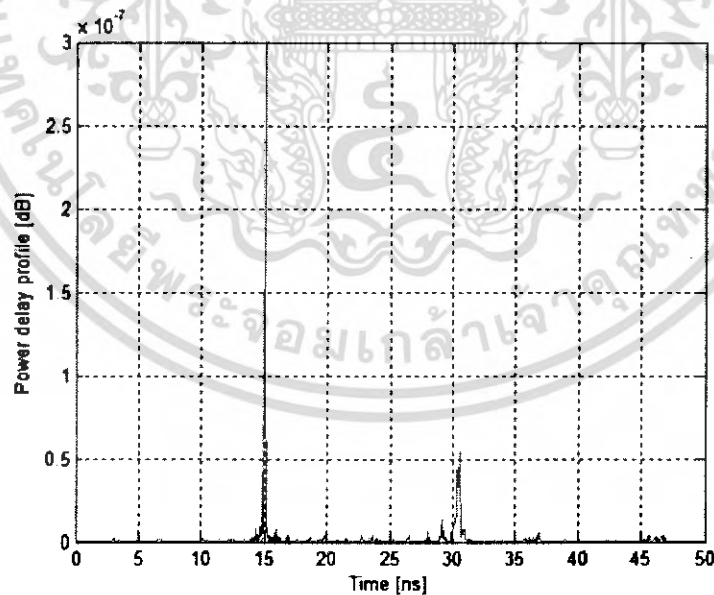
รูปที่ 4.1 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัด ได้ใช้สายอากาศแบบไบ โคนิคอล ทั้งทางด้านรับและด้านส่งซึ่งให้ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งวิเคราะห์ทั้งหมด 9 ตำแหน่ง สามารถอธิบายได้ว่า ในตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีระยะทางอยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมี ค่า เฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องส่งสัญญาณออกไป นั่นก็คือตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณจะมีเฟสที่เป็นเชิงเส้นมากกว่าหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ

### โมเดลที่ 1 กรณีที่ 1.1

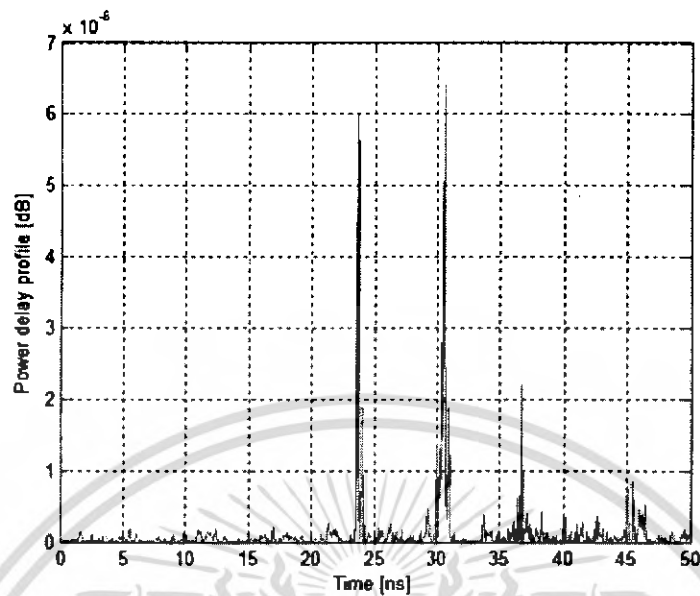


รูปที่ 4.1 (ก) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.2 เมตร



รูปที่ 4.1 (ข) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.1 เมตร

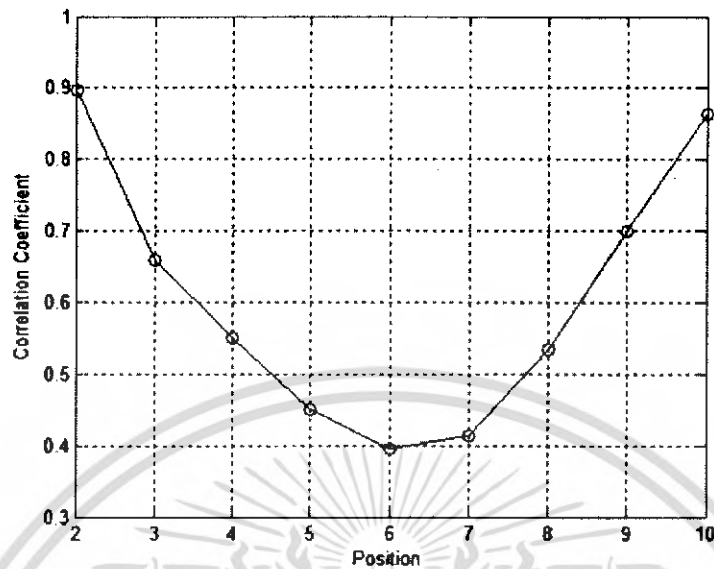
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.7 เมตร

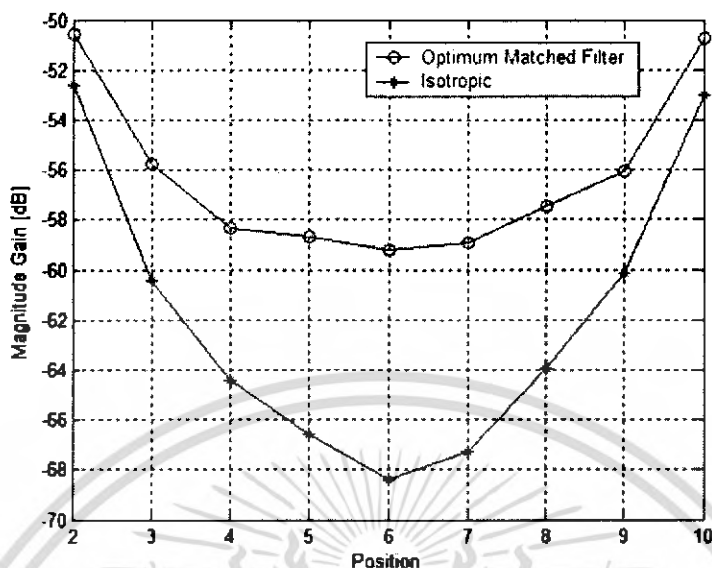
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณโดยให้อยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1.2, 4.1 และ 6.7 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลา



รูปที่ 4.1 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม(Correlation Coefficient) ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าดังกล่าวข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่า สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง

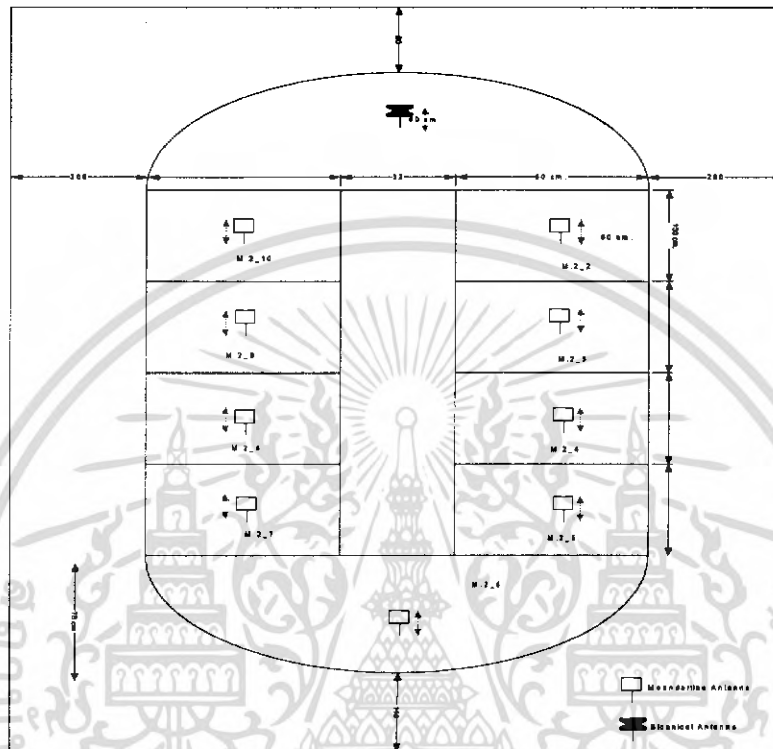


รูปที่ 4.1 (ข) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด(Optimum Matched Filter) กับ ไอโซโทปิก แมทพิวเตอร์(Isotropic Matched Filter) ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่าง ระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทพิวเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่าง ระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทพิวเตอร์ แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่า ระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทพิวเตอร์ มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

กรณีที่ 1.2: เมื่อทางด้านรับและด้านส่งไม่พิจารณาคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โดย

- ด้านรับเป็นสายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ ด้านส่งเป็นสายอากาศแบบไบโคโนคอล



รูปที่ 4.2 (ก) โมเดล 1 กรณีที่ 1.2

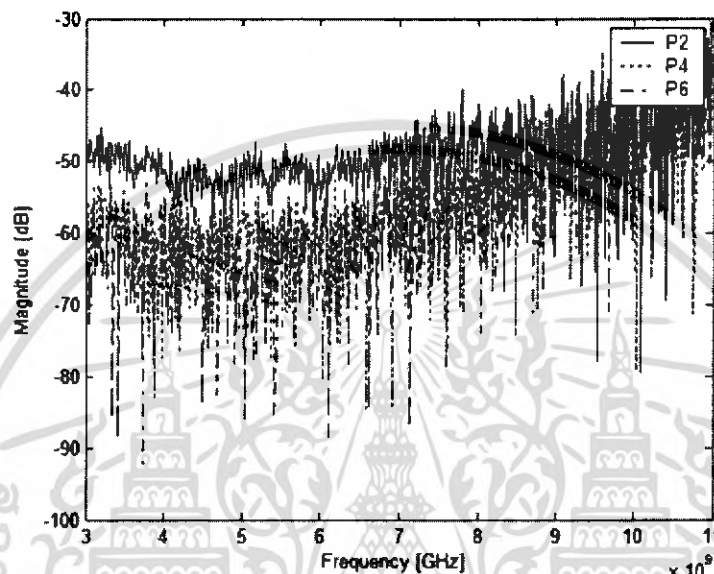
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี (dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	58.3560	1.18
3	65.8871	2.61
4	69.3517	4.12
5	73.1487	5.61
6	73.8353	6.71
7	73.6580	5.61
8	70.5876	4.12
9	66.2561	2.61
10	58.3623	1.18

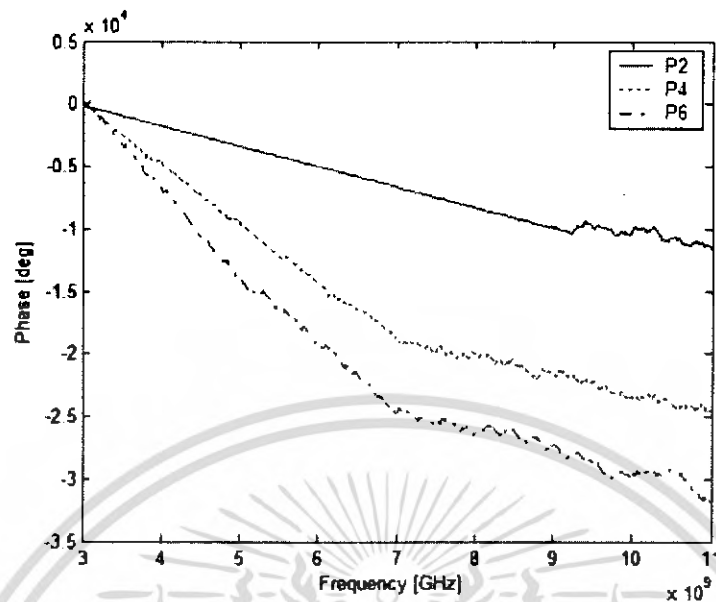
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็จะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณ ได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถี มากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิณ้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.2 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

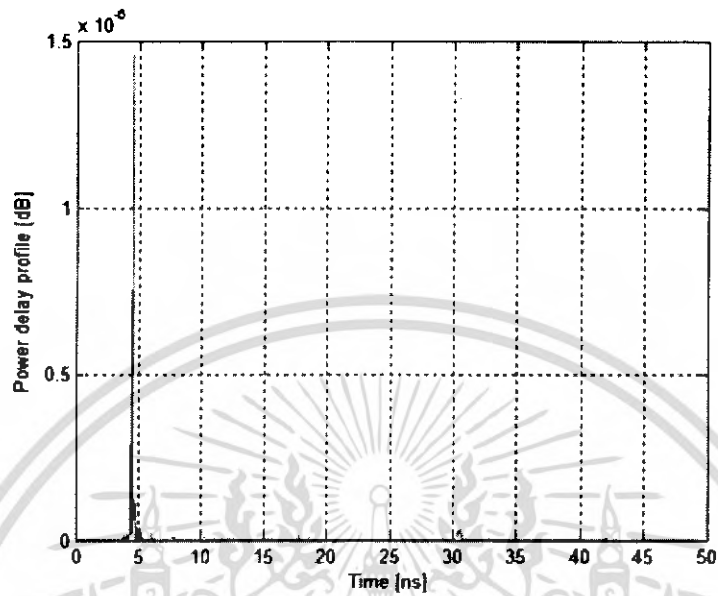
จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบสายอากาศแบบไบโคเนคอด ทางด้านส่งสัญญาณและด้านรับสัญญาณเป็นสายอากาศมินิเคอร์ไลน์ ซึ่งค่าของแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า แม็กนิจูดในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อแอมพลิจูดลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณยิ่งถ้าตัวรับสัญญาณอยู่ไกลจากตัวส่งสัญญาณมากจะทำให้ค่าแม็กนิจูดมากขึ้นด้วย



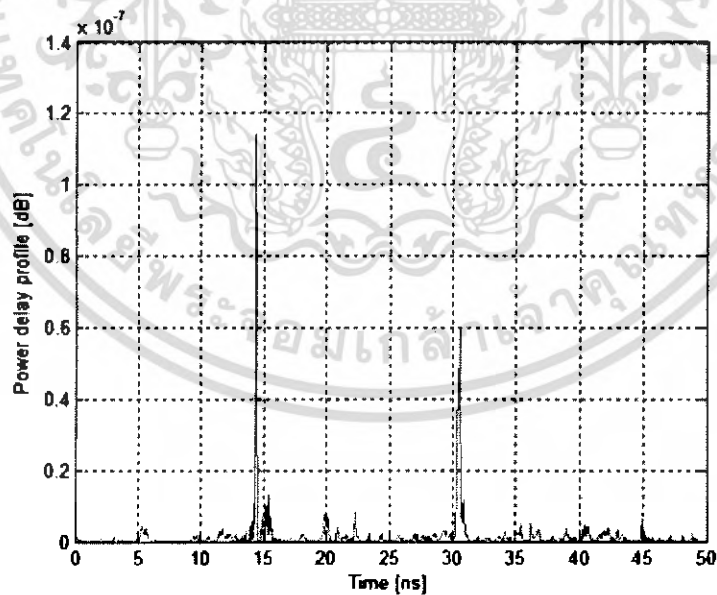
รูปที่ 4.2 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบโคเนคคอด ทางด้านส่งและด้านรับใช้สายอากาศแบบมีนเคอร์ไลน์ ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

### โมเดล 1 กรณีที่ 1.2

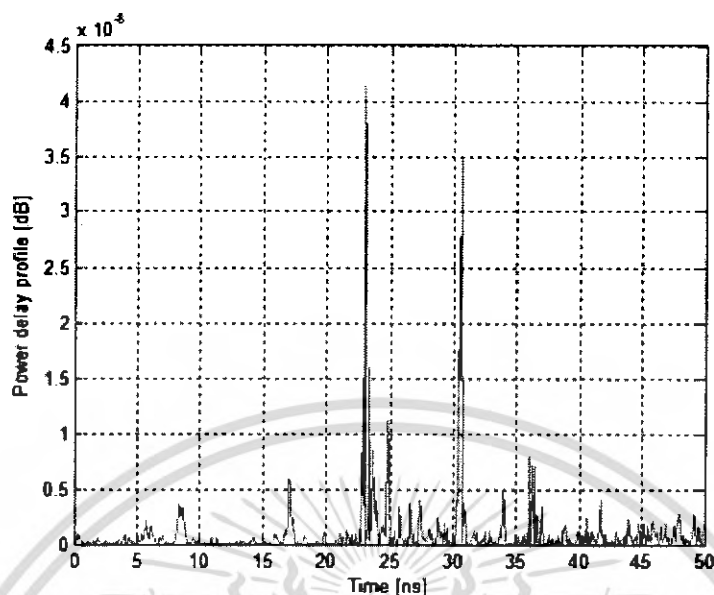


รูปที่ 4.2 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทาง  
ด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.2 เมตร



รูปที่ 4.2 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทาง  
ด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.1 เมตร

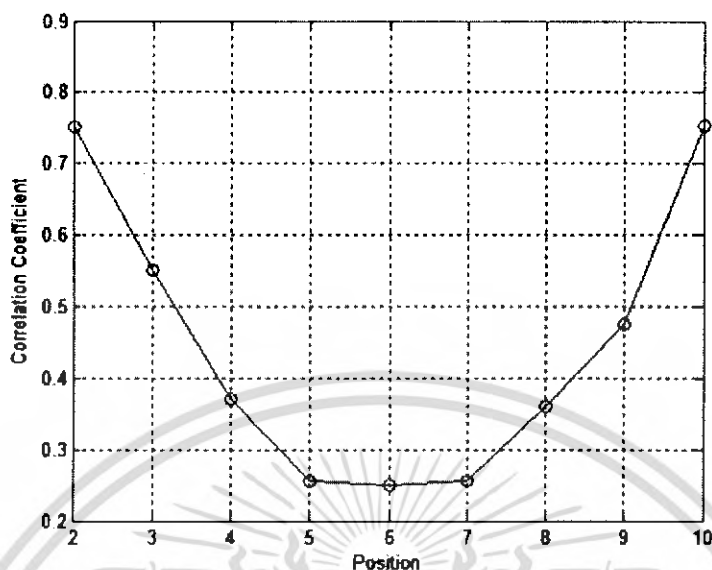
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.7 เมตร

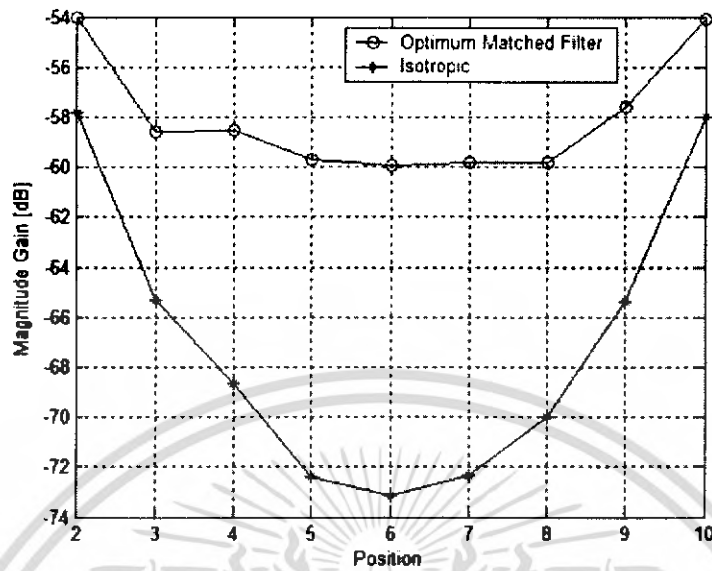
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1.2, 4.1 และ 6.7 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลา



รูปที่ 4.2 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

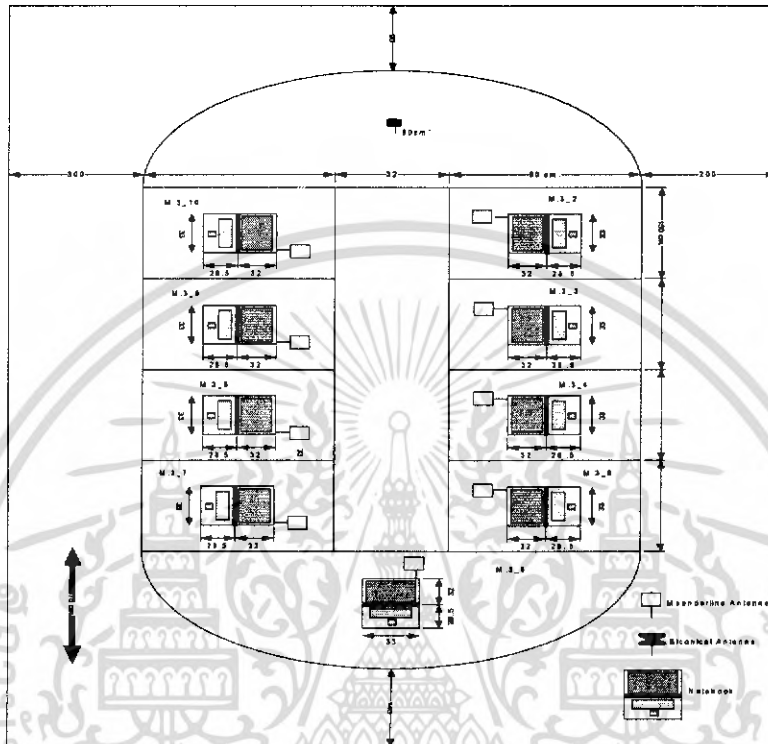
จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าดังกล่าวข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง



รูปที่ 4.2 (ข) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดกับ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่าง ความแตกต่างระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

กรณีที่ 2.1: เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอยู่เฉพาะด้านรับ  
 - เมื่อปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทางด้านรับ



รูปที่ 4.3 (ก) โมเดล 1 กรณีที่ 2.1

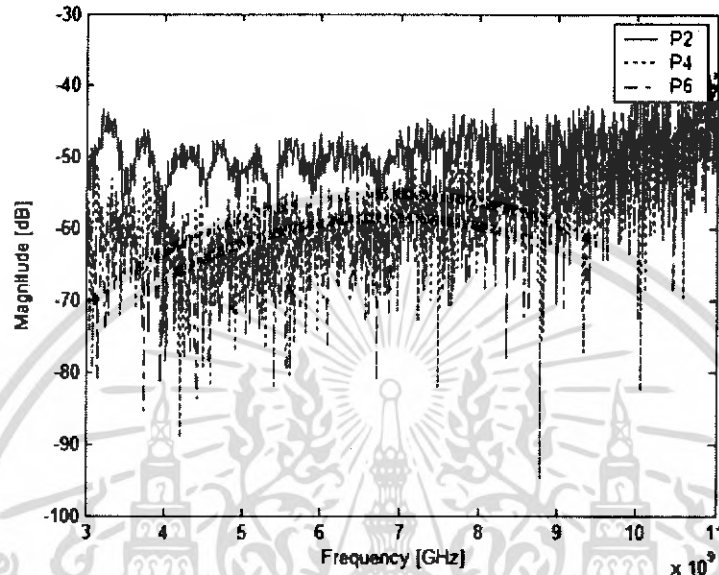
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี (dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	58.7430	1.00
3	66.7896	2.48
4	70.2627	3.97
5	74.1750	5.48
6	76.0068	6.65
7	74.2325	5.78
8	70.0857	4.28
9	66.7330	2.80
10	60.2776	1.32

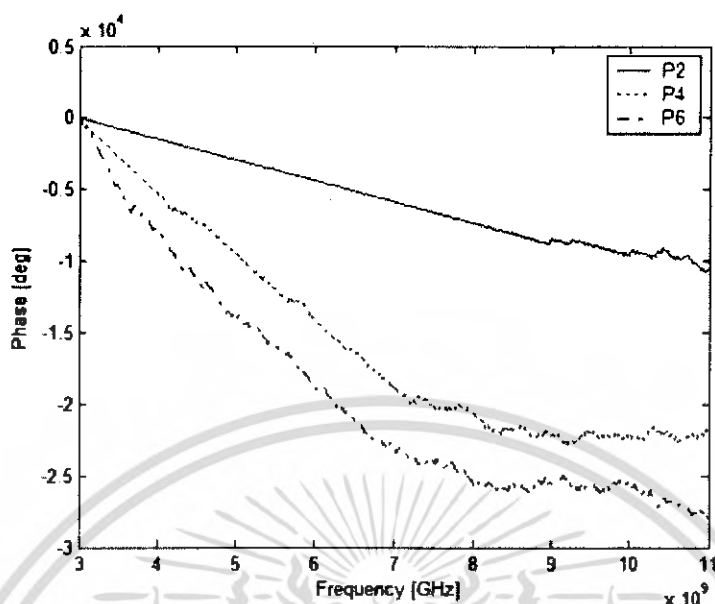
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็จะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถี มากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้ กราฟดังนี้



รูปที่ 4.3 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

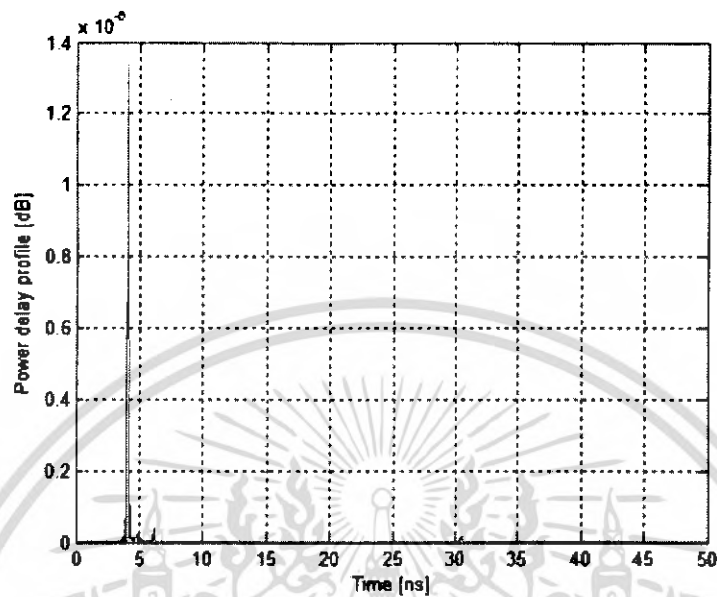
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบ โคนิคอล ด้านส่งและทางด้านรับใช้สายอากาศมินิเคอร์ไลน์โดยติดกับไม้จิ้มฟัน โดยเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ซึ่งให้ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในจุดที่มีระยะทางใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมี ค่าแม็กนิจูดเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณ ได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ



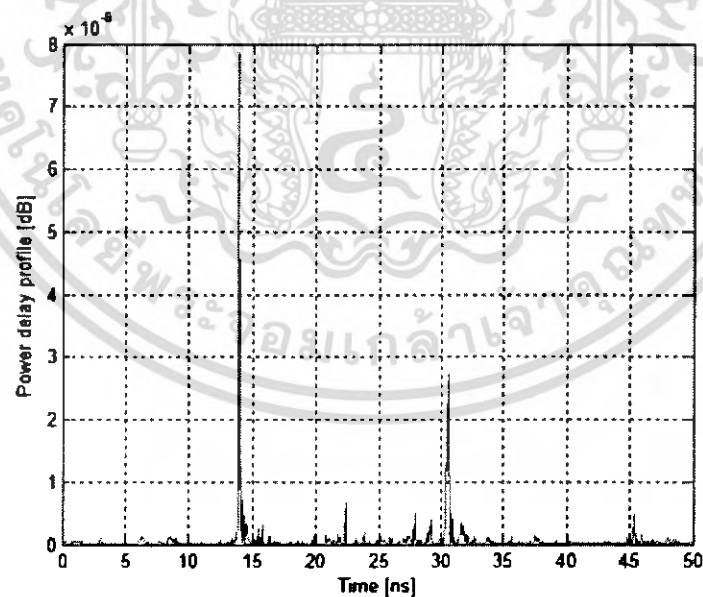
รูปที่ 4.3 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบโตนิกคอล ด้านส่งและทางด้านรับใช้สายอากาศมินิเคอร์ไลน์โดยติดกับไม้ปักโดยปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

### โมเดล 1 กรณีที่ 2.1

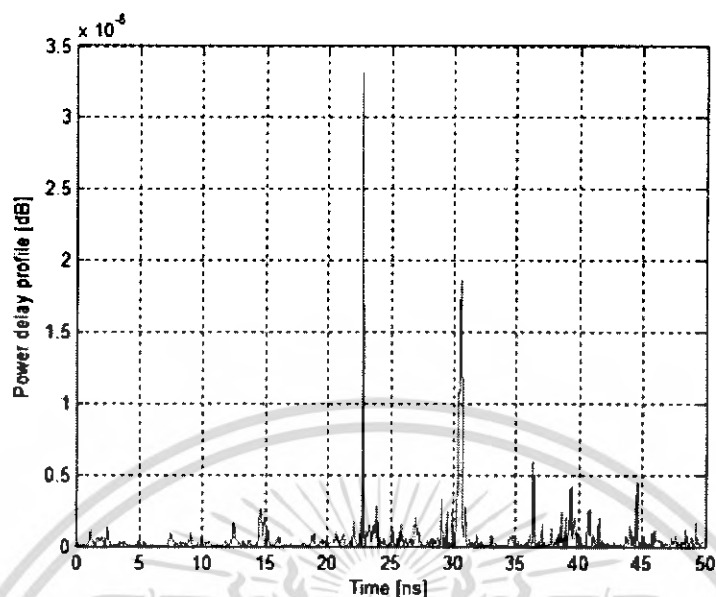


รูปที่ 4.3 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1 เมตร



รูปที่ 4.3 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4 เมตร

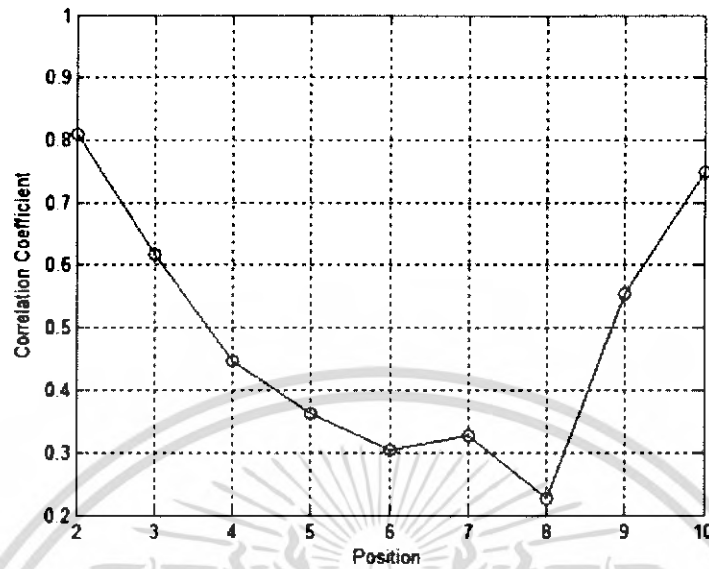
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ข) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.65 เมตร

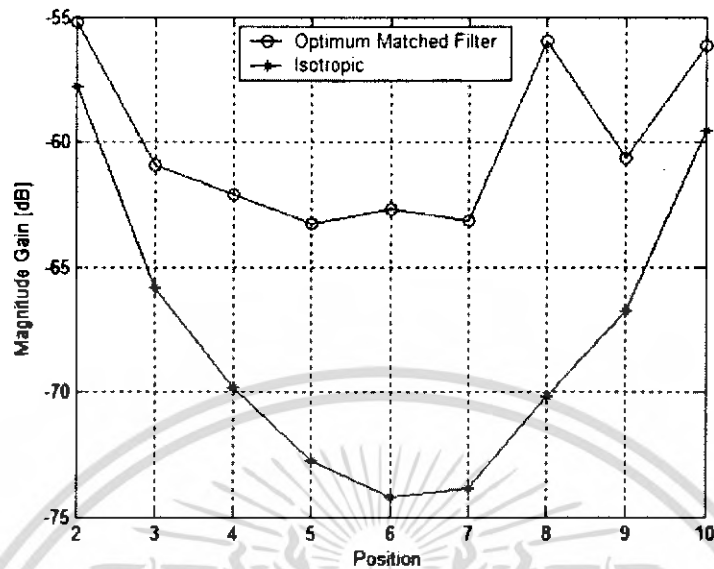
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1, 4 และ 6.65 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลา



รูปที่ 4.3 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าดังกล่าวข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง



รูปที่ 4.3 (ซ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดกับ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ ต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

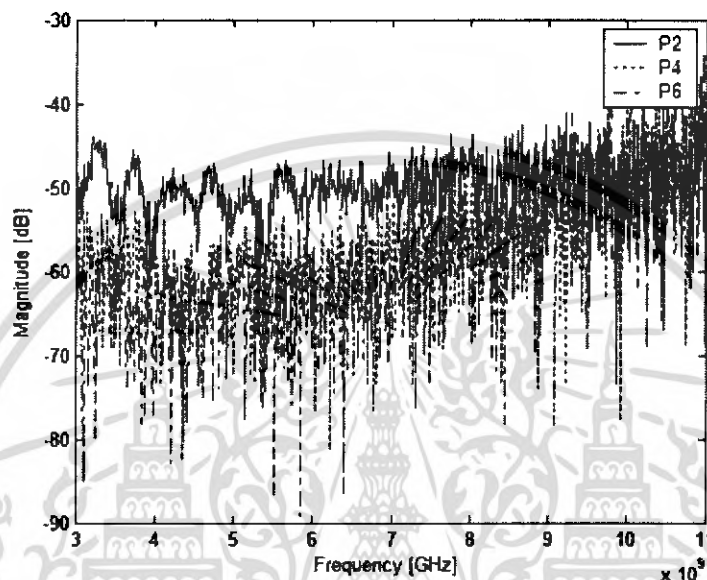


ตารางที่ 4.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี(dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	58.7274	1.00
3	67.1746	2.48
4	71.6948	3.97
5	72.8774	5.48
6	75.0276	6.65
7	73.6896	5.78
8	70.1757	4.28
9	67.3832	2.80
10	60.1837	1.32

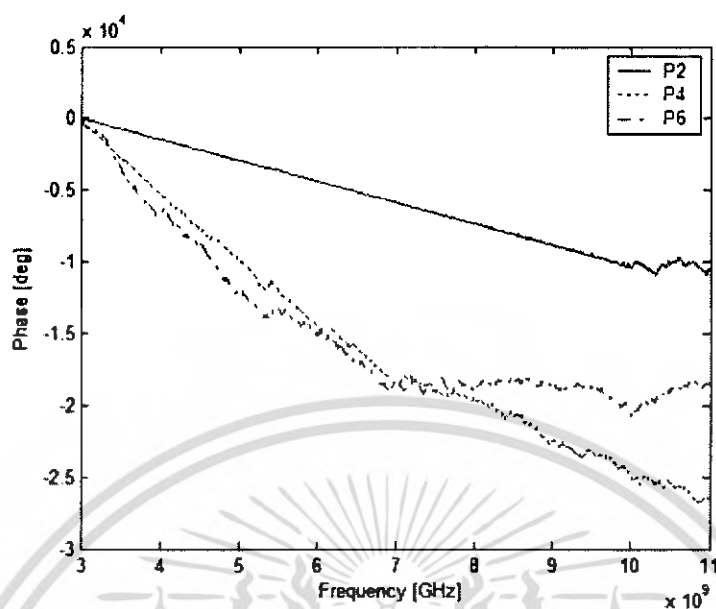
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆโดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็จะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถี มากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.4 (จ) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

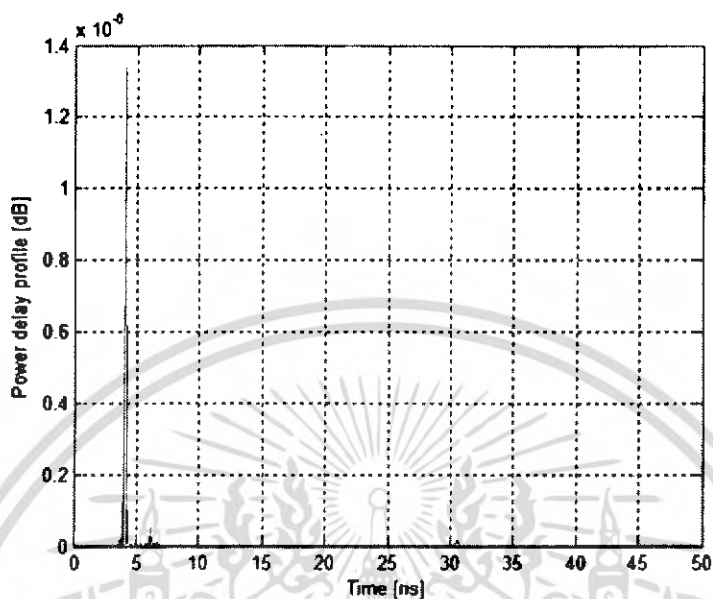
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคเนคคอล ด้านส่งและทางด้านรับสัญญาณใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ โดยติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊กขณะเปิดเครื่องซึ่งให้ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในจุดที่มีระยะทางใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าแม็กนิจูดเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ



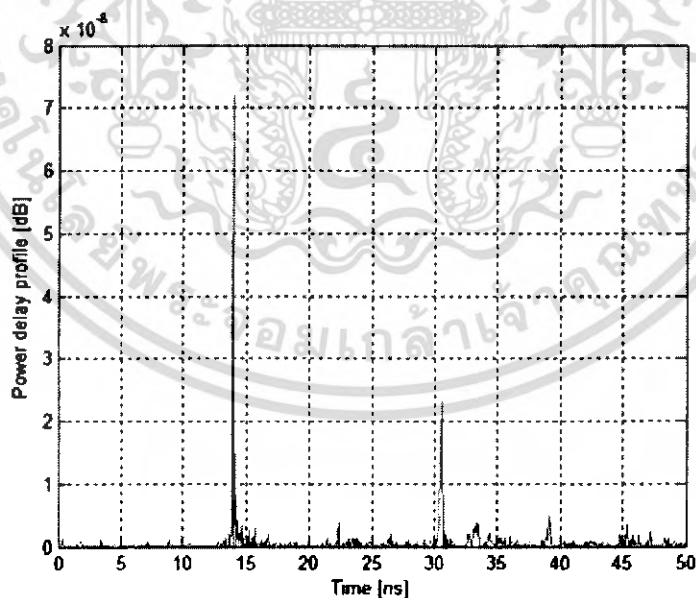
รูปที่ 4.4 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างเฟส กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบโตนิกอล ด้านส่งและทางด้านรับสัญญาณใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์โดยติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กขณะเปิดเครื่อง ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณสามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

## โมเดล 1 กรณีที่ 2.2

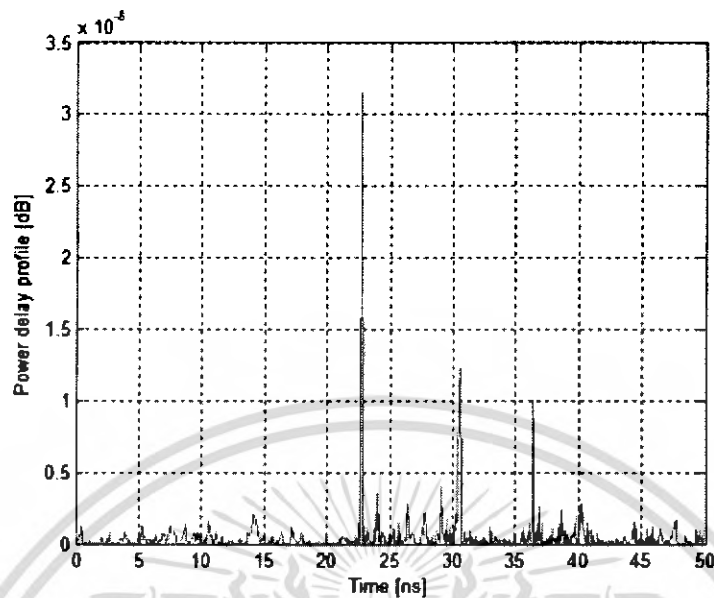


รูปที่ 4.4 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1 เมตร



รูปที่ 4.4 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4 เมตร

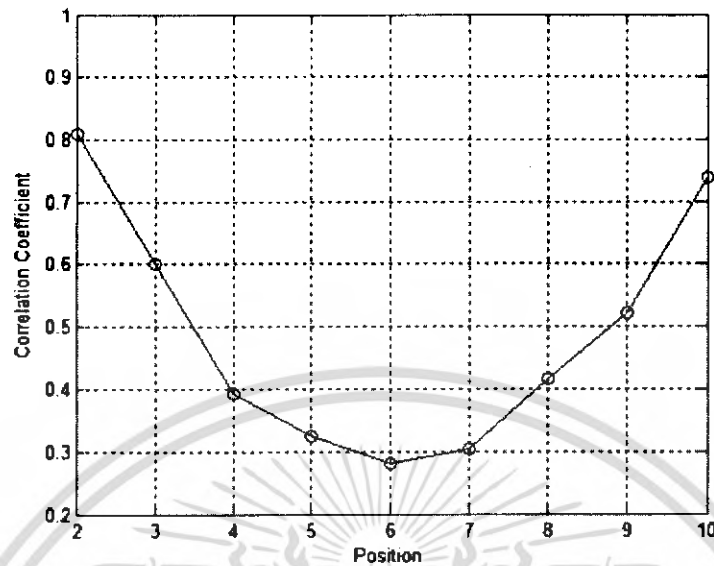
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.65 เมตร

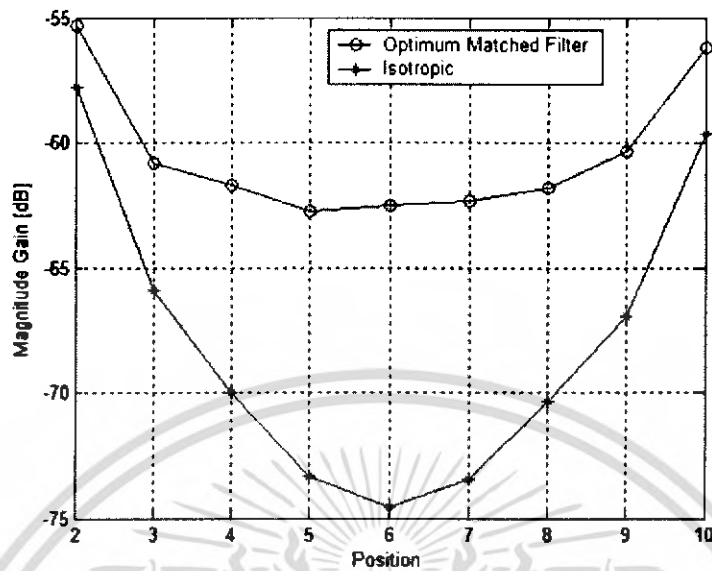
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1, 4 และ 6.65 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลา



รูปที่ 4.4 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

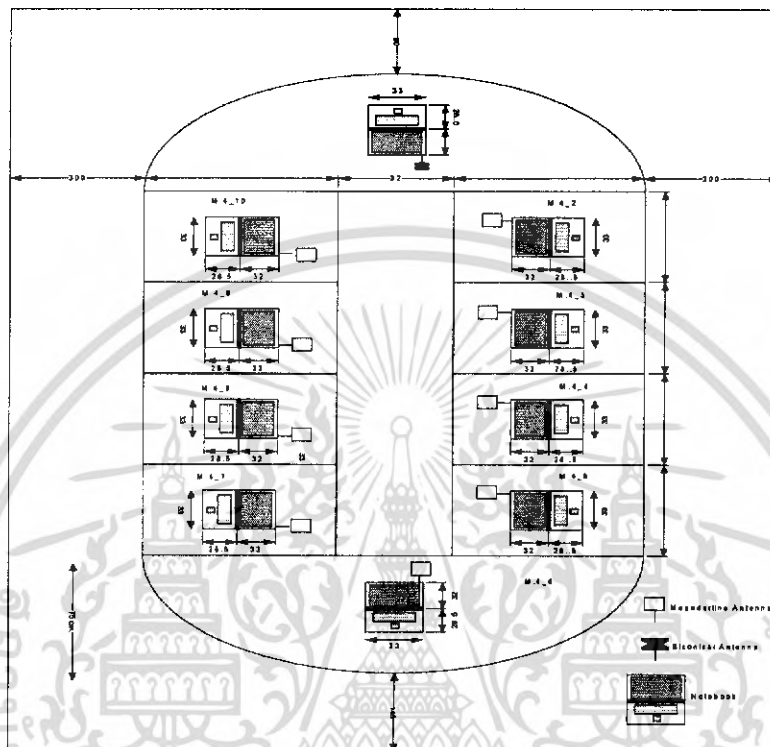
จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าดังกราฟข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง



รูปที่ 4.4 (ข) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์มากขึ้น ตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

กรณีที่ 3: เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทางด้านรับและมีทางด้านส่ง  
 - ตัวรับและตัวส่งอยู่สูงจากคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5 (ก) โมเดล 1 กรณีที่ 3

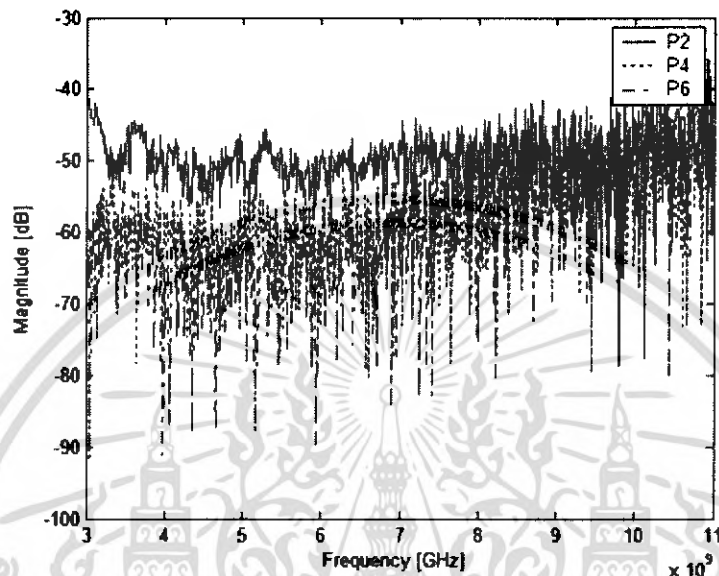
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.5 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี(dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	58.1428	1.01
3	65.9496	2.43
4	70.0831	3.90
5	71.9749	5.40
6	73.7124	6.58
7	73.4488	5.72
8	71.1535	4.22
9	65.9792	2.72
10	60.1661	1.22

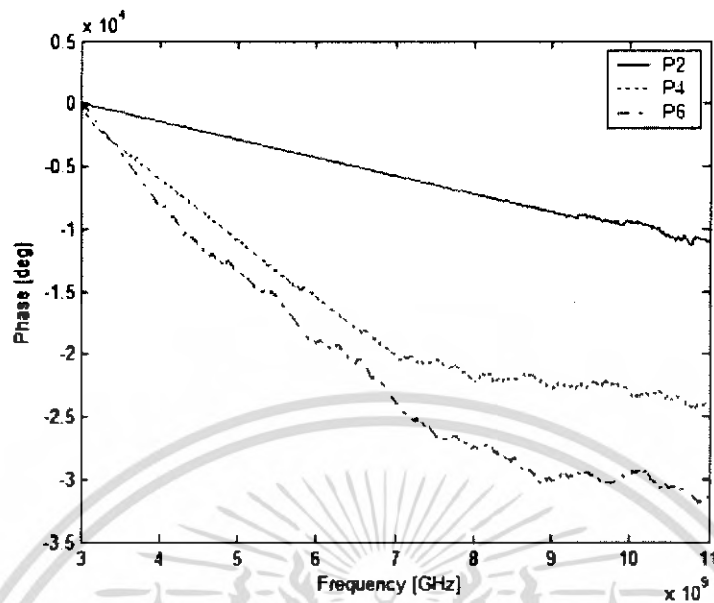
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็จะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถี มากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิธีน้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.5 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

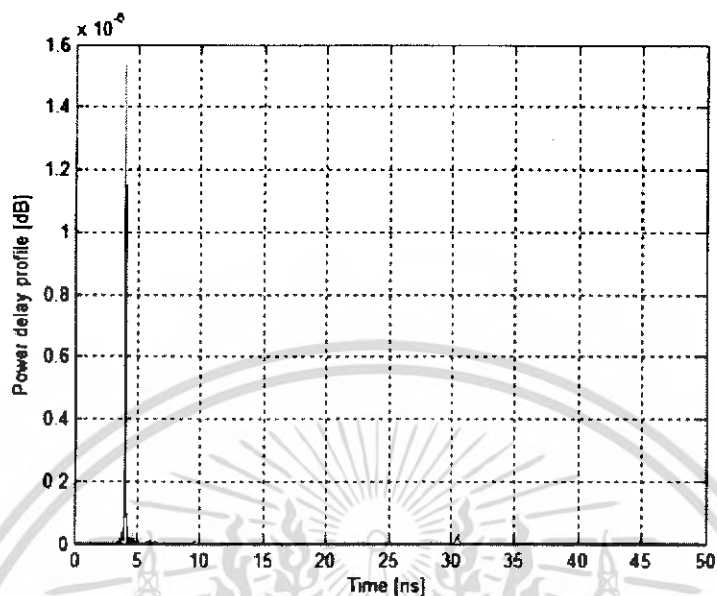
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคนิคอล ด้านส่งโดยติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กส่วนทางด้านรับสัญญาณใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์โดยติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กเช่นเดียวกันซึ่งให้ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตรทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในจุดที่มีระยะทางที่อยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าแม็กนิจูดเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่อยู่ไกลออกไปจากเครื่องส่งสัญญาณ นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ



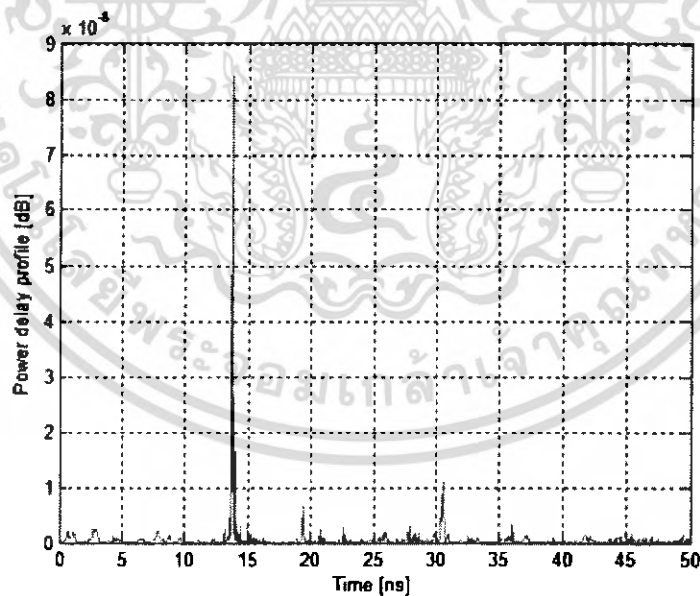
รูปที่ 4.5 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบโคเนคคอล ด้านส่งโดยติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กส่วนทางด้านรับสัญญาณใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์โดยติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

## โมเดล 1 กรณีที่ 3

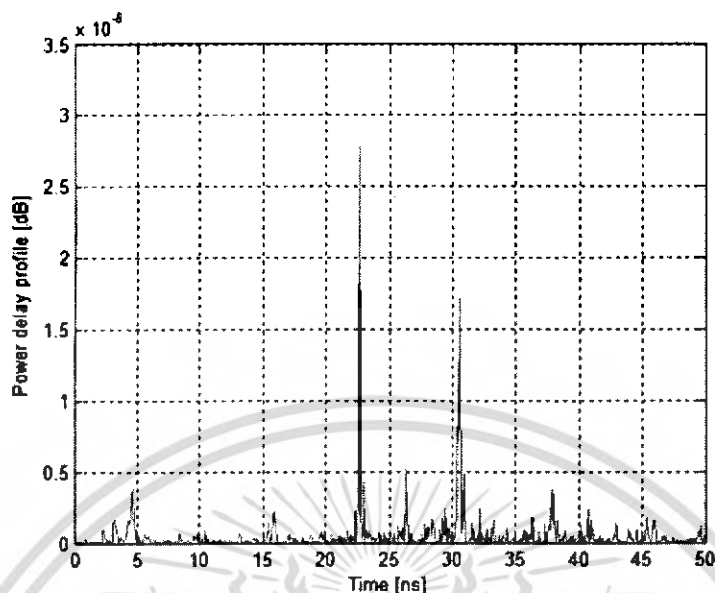


รูปที่ 4.5 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1 เมตร



รูปที่ 4.5 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4 เมตร

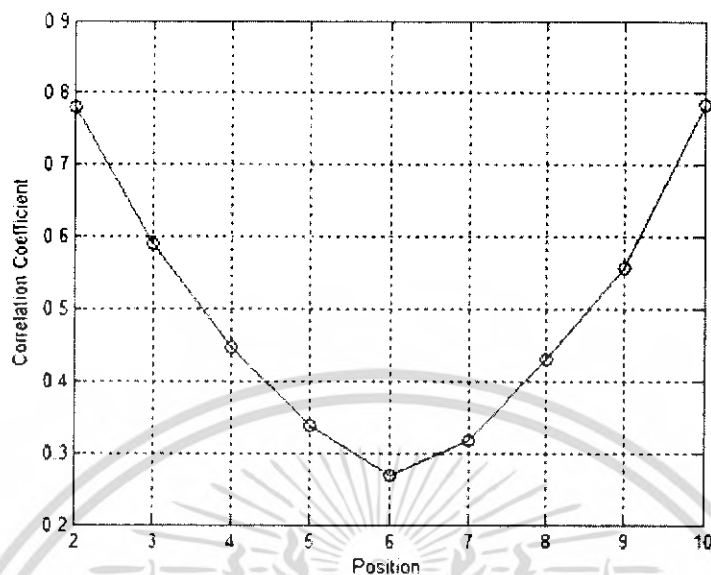
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 6.65 เมตร

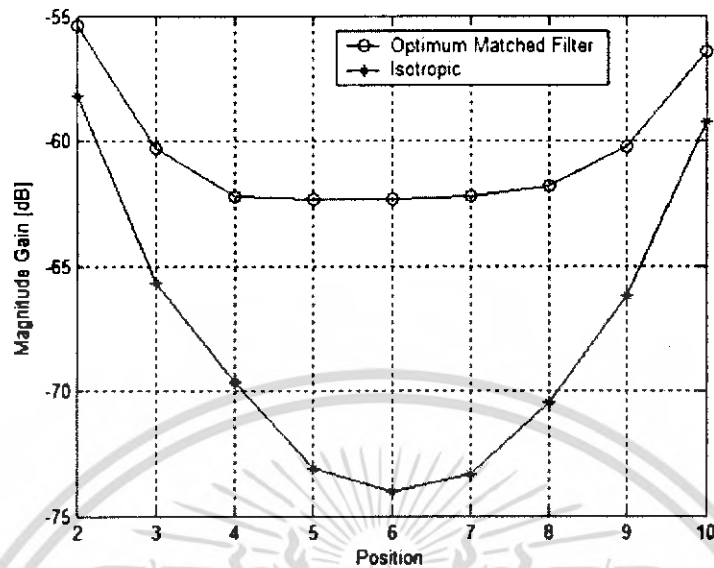
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1, 4 และ 6.65 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลา



รูปที่ 4.5 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่ง แล้วนำค่าที่ได้จากการทดลองมาพล็อตค่าดังกล่าวข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางนั้นแปรผกผันกับระยะทาง



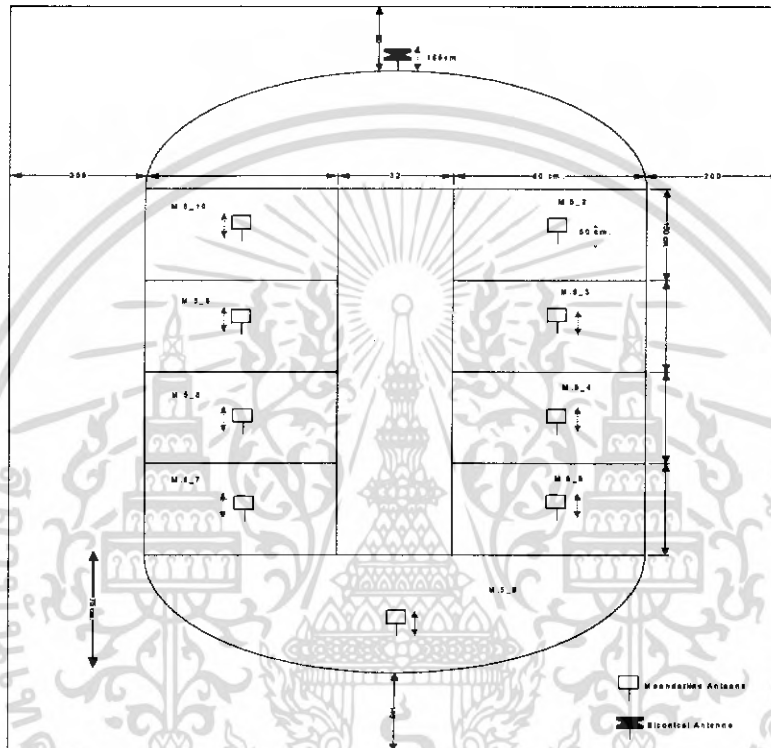
รูปที่ 4.5 (ข) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

โมเดลแบบที่ 2 ตัวส่งใช้สายอากาศแบบไบโคนิคอล ซึ่งอยู่สูงจากพื้นห้อง 165 เซนติเมตร และทางด้านรับสัญญาณเป็นสายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์

กรณีที่ 1: เมื่อทางด้านรับและด้านส่งไม่พิจารณาคอมพิวเคอร์โน้ตบู้ค โดย

- ด้านรับเป็นสายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ ด้านส่งเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอล



รูปที่ 4.6 (ก) โมเดล 2 กรณีที่ 1

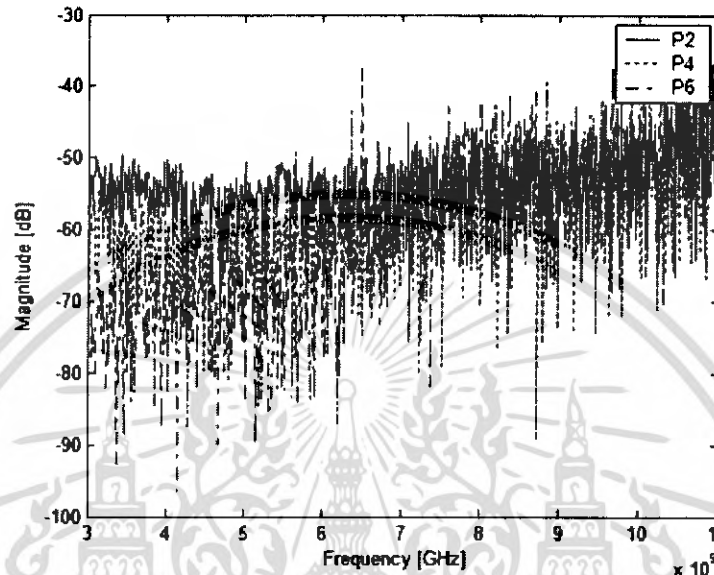
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.6 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี (dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	63.9972	1.60
3	68.9058	3.15
4	71.7815	4.53
5	74.3981	6.02
6	75.2067	7.25
7	73.0206	6.02
8	73.1948	4.53
9	67.5299	3.15
10	64.1132	1.60

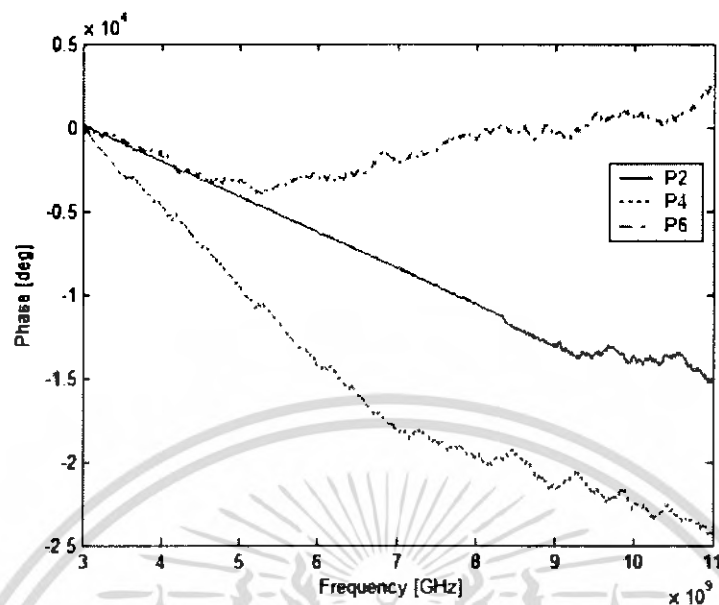
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆโดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็จะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถี มากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิณ้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้ กราฟดังนี้



รูปที่ 4.6 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

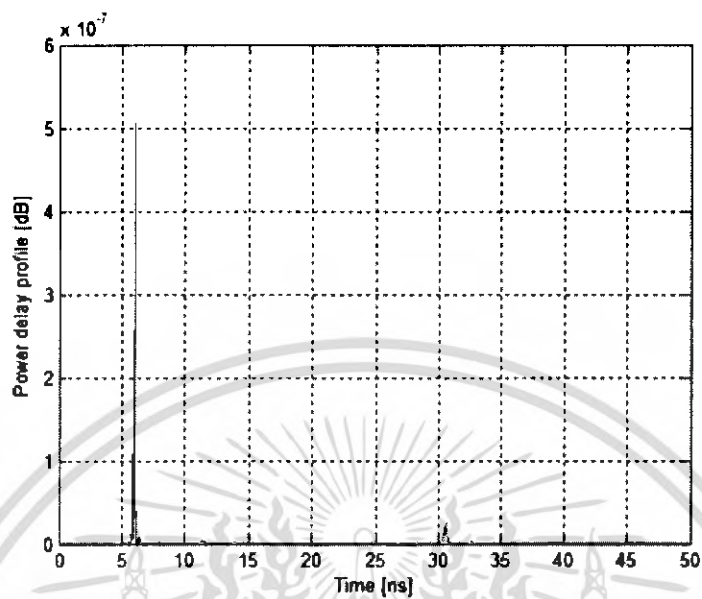
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคนิคอลลทางด้านรับซึ่งวางในแนวตั้งและด้านส่งใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ซึ่งให้ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในจุดที่มีระยะทาง ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมี ค่า แม็กนิจูดเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ



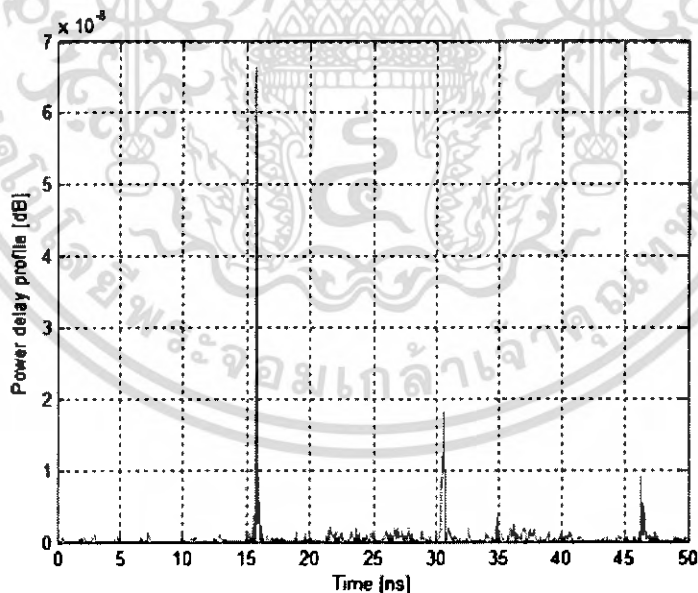
รูปที่ 4.6 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่และความสัมพันธ์ระหว่าง  
แม็กนิจูด กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคนิคอล ทางด้านส่งโดยวางในลักษณะแนวตั้งและด้านรับใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

## โมเดล 2 กรณีที่ 1

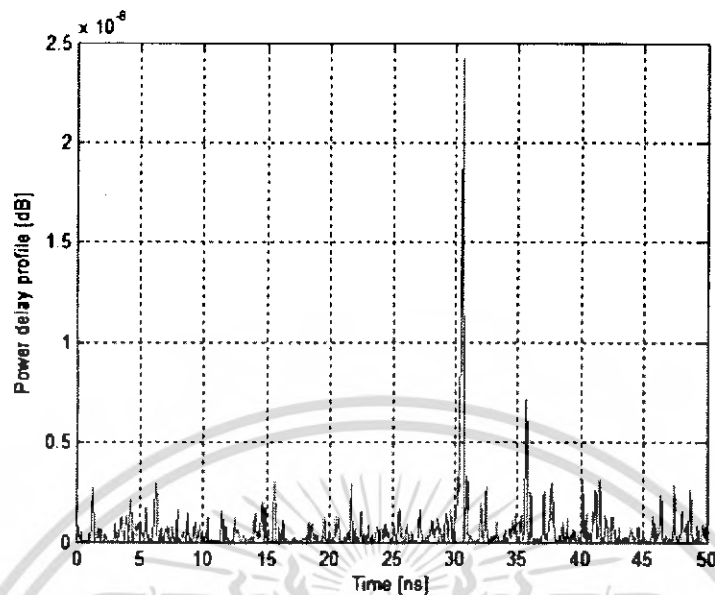


รูปที่ 4.6 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.6 เมตร



รูปที่ 4.6 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.5 เมตร

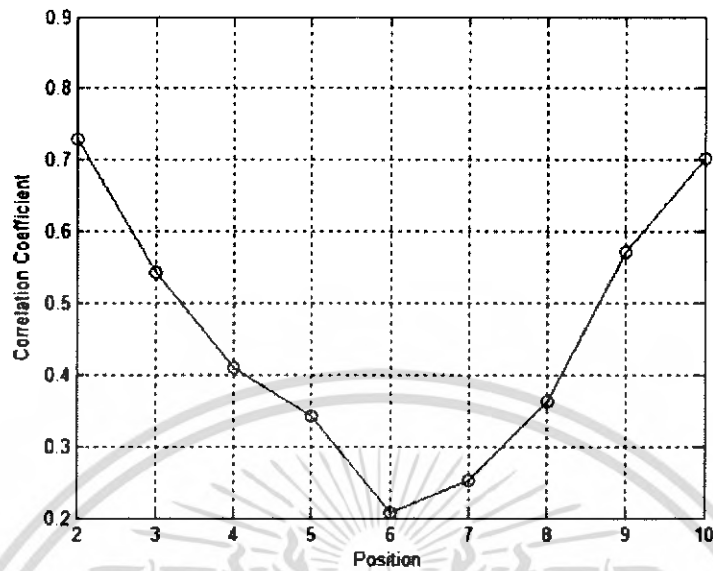
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.25 เมตร

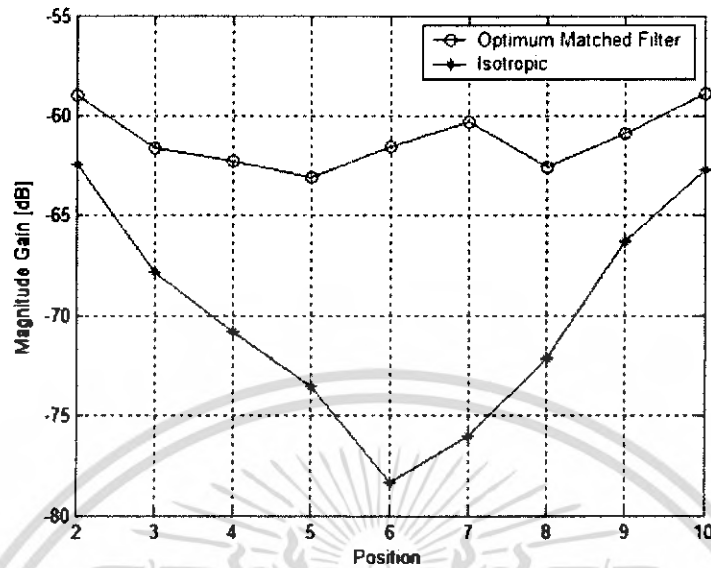
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1.6, 4.25 และ 7.25 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลาที่รับสัญญาณของค่ากำลังงาน



รูปที่ 4.6 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

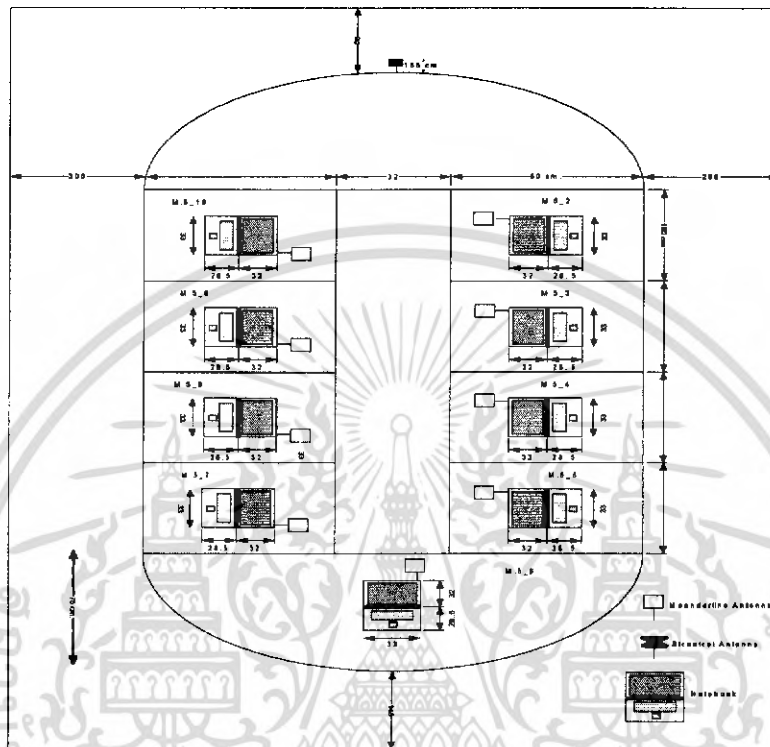
จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าดังกราฟข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง



รูปที่ 4.6 (ข) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด และไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

กรณีที่ 2.1: เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอยู่เฉพาะด้านรับ  
 - เมื่อปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทางด้านรับ



รูปที่ 4.7 (ก) โมเดล 2 กรณีที่ 2.1

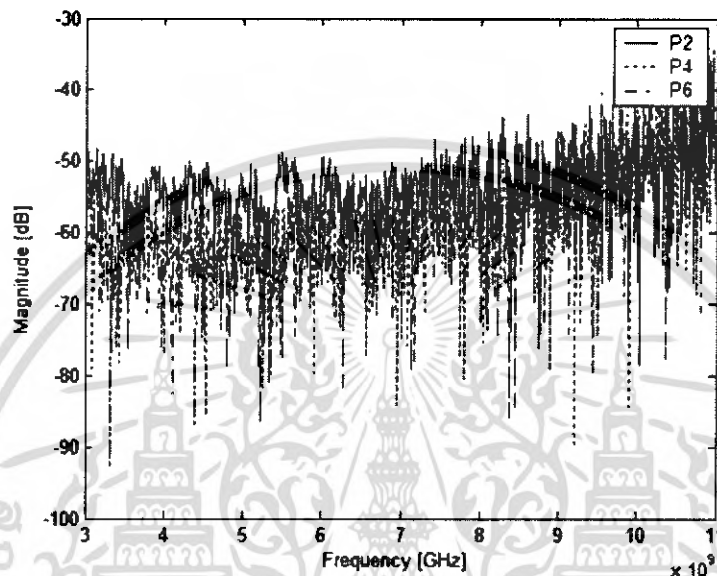
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.7 ค่าการสูญเสียเชิงวิถึ

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถึ(dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	63.9128	1.42
3	68.8988	2.92
4	72.0353	4.38
5	73.7100	5.88
6	75.1437	7.05
7	75.0121	6.18
8	71.4857	4.00
9	68.8971	3.24
10	65.5336	1.76

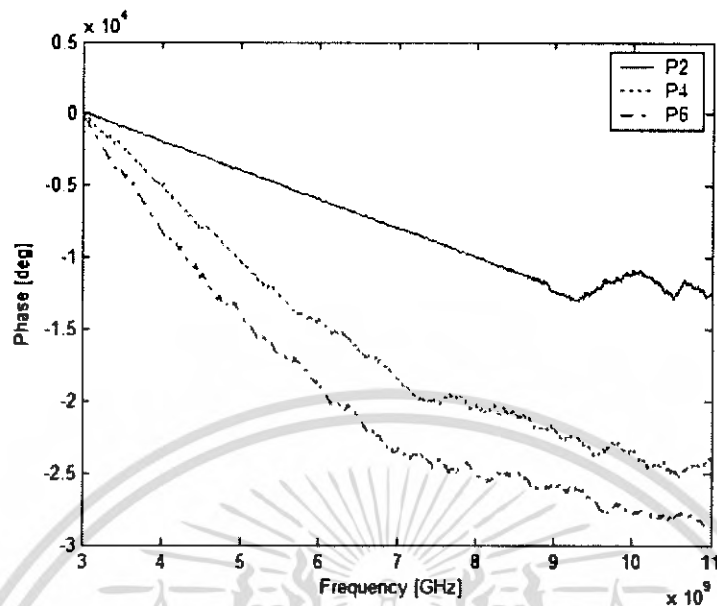
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถึ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถึ ก็จะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณ ได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถึ แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถึก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถึ มากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถึน้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้ กราฟดังนี้



รูปที่ 4.7 (ข) ความความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

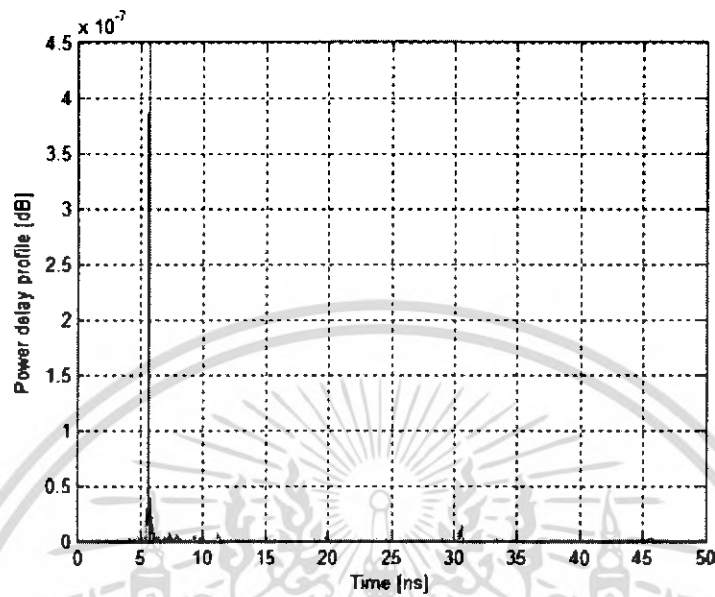
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคนิคอล ทั้งทางด้านรับและด้านส่งซึ่งให้ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในจุดที่มีระยะทางใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมี ค่า แม็กนิจูดเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณ ได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ



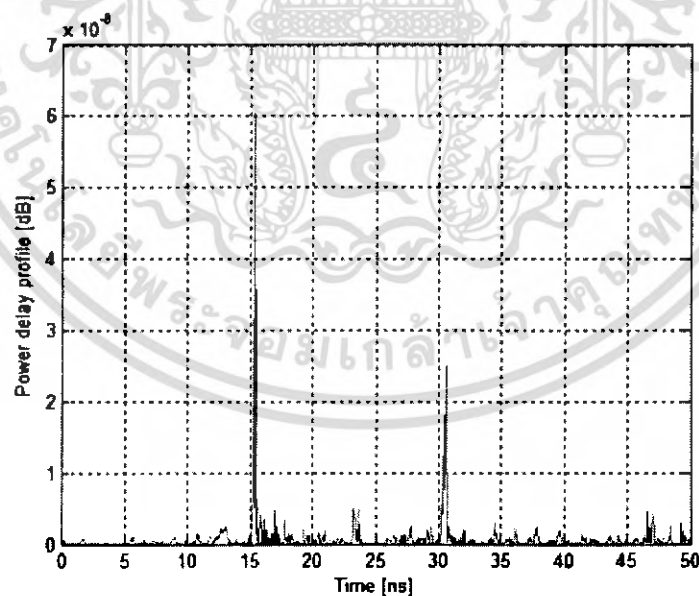
รูปที่ 4.7 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบโคเนคคัล ทั้งทางด้านรับและด้านส่ง ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

## โมเดล 2 กรณีที่ 2.1

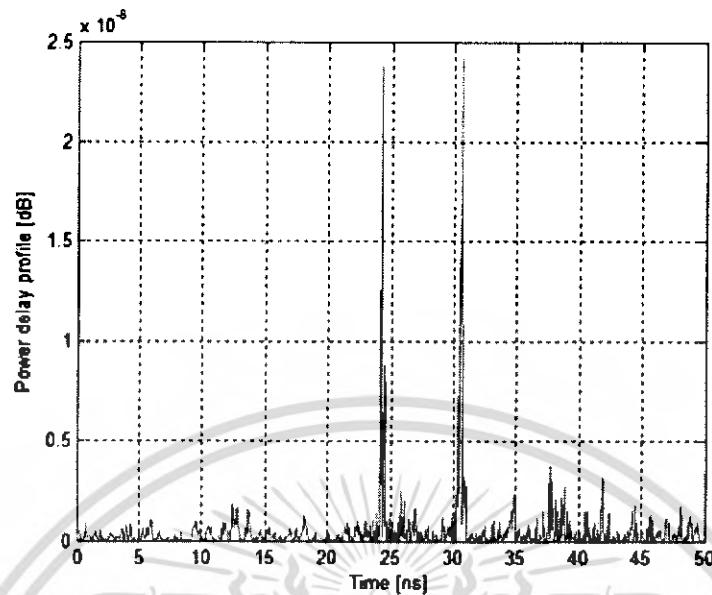


รูปที่ 4.7 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.4 เมตร



รูปที่ 4.7 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.4 เมตร

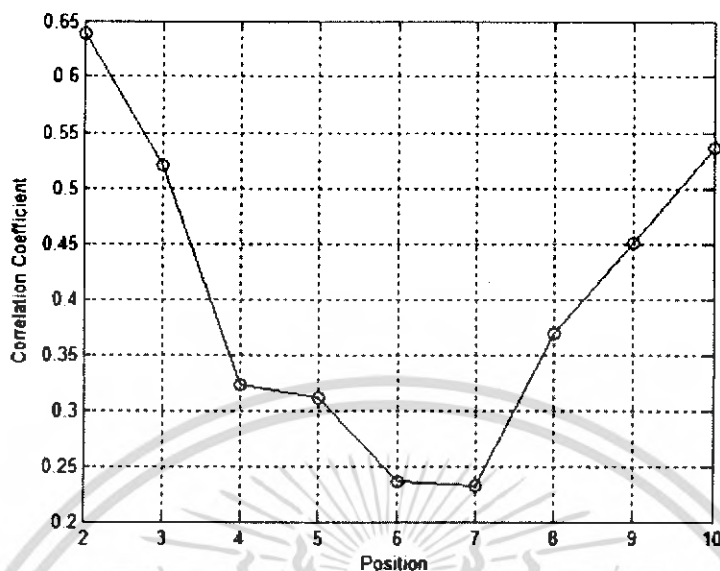
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.05 เมตร

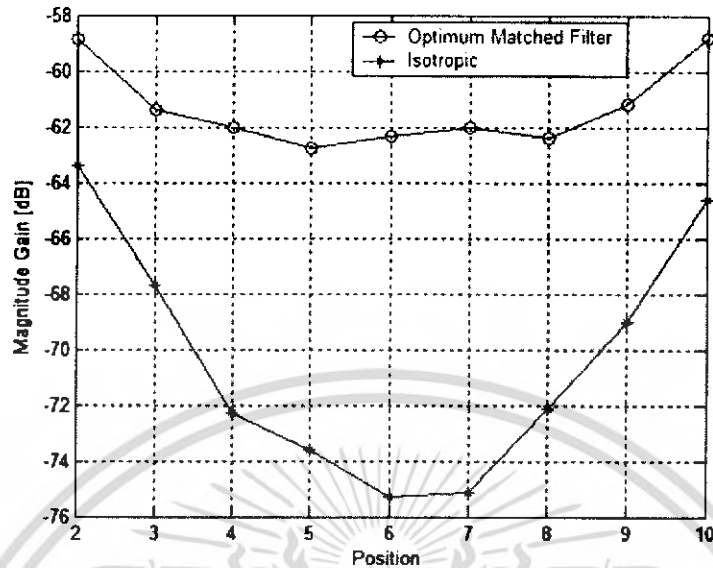
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1.4, 4.4 และ 7.05 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลาที่จะรับสัญญาณของค่ากำลังงาน



รูปที่ 4.7 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

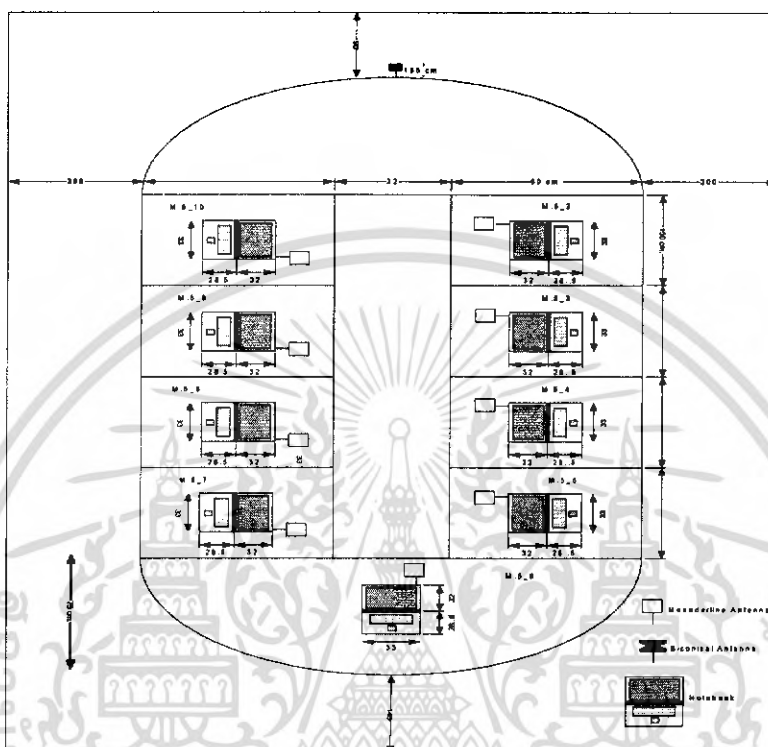
จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าตั้งกราฟข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง



รูปที่ 4.7 (ข) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

กรณีที่ 2.2: เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอยู่เฉพาะด้านรับ  
 - เมื่อเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทางด้านรับ



รูปที่ 4.8 (ก) โมเดล 2 กรณีที่ 2.2

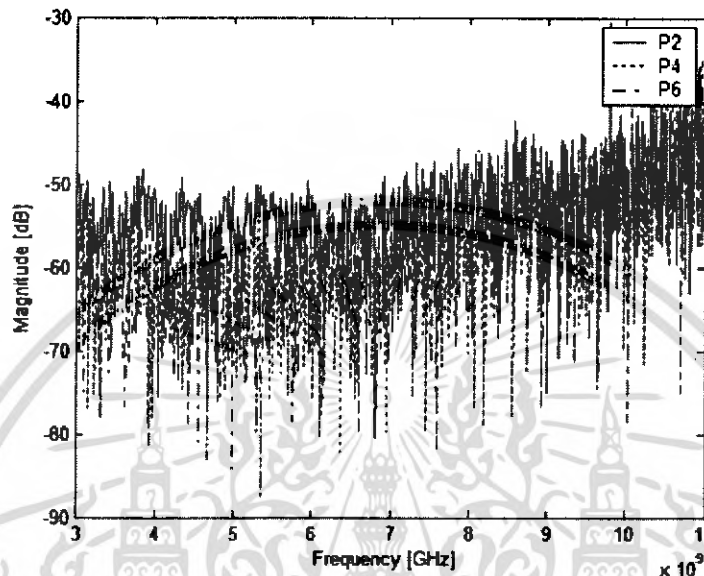
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.8 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี(dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	63.4589	1.42
3	69.0971	2.92
4	72.1656	4.38
5	73.4175	5.88
6	74.6097	7.05
7	73.7196	6.18
8	72.6881	4.00
9	69.0845	3.24
10	65.5354	1.76

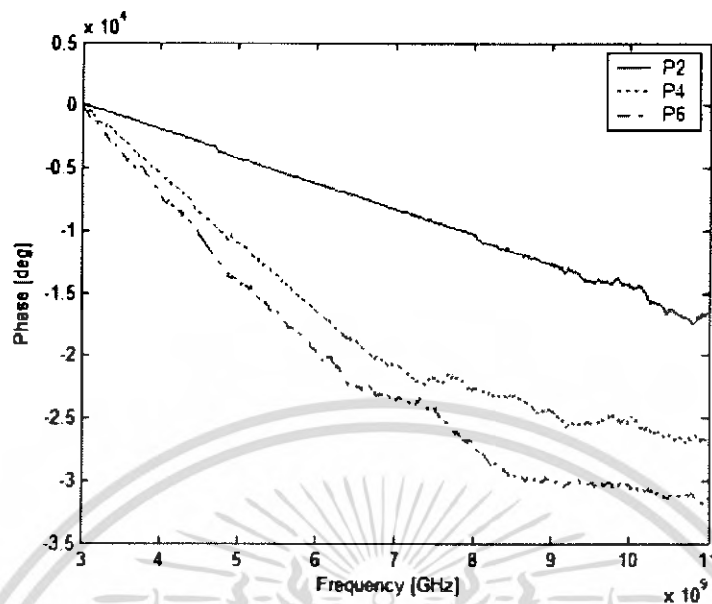
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็จะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวส่งสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถี มากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิธีน้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้ กราฟดังนี้



รูปที่ 4.8 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

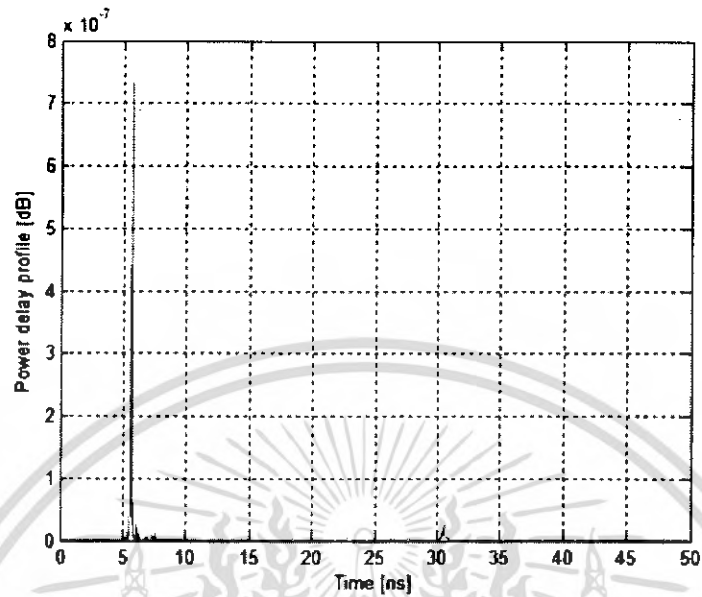
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคเนคคอลทางด้านรับและใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ทางด้านส่งที่ติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ซึ่งให้ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในจุดที่มีระยะทางใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมี ค่า แม็กนิจูด เป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ



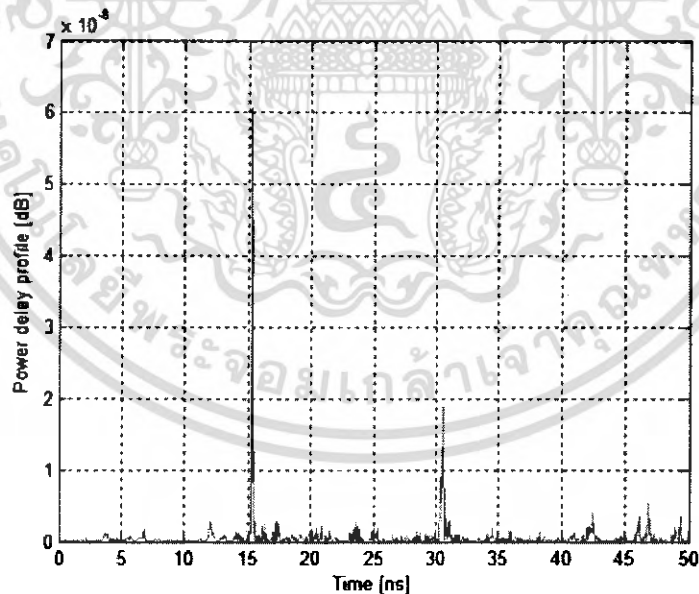
รูปที่ 4.8 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบโคเนคตอลทั้งทางด้านรับ และสายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ทางด้านส่ง ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

โมเดล 2 กรณีที่ 2.2

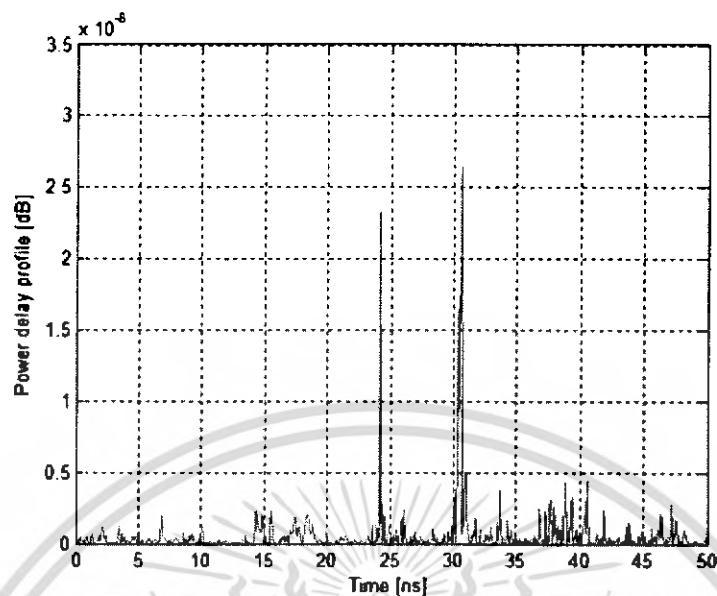


รูปที่ 4.8 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.4 เมตร



รูปที่ 4.8 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.4 เมตร

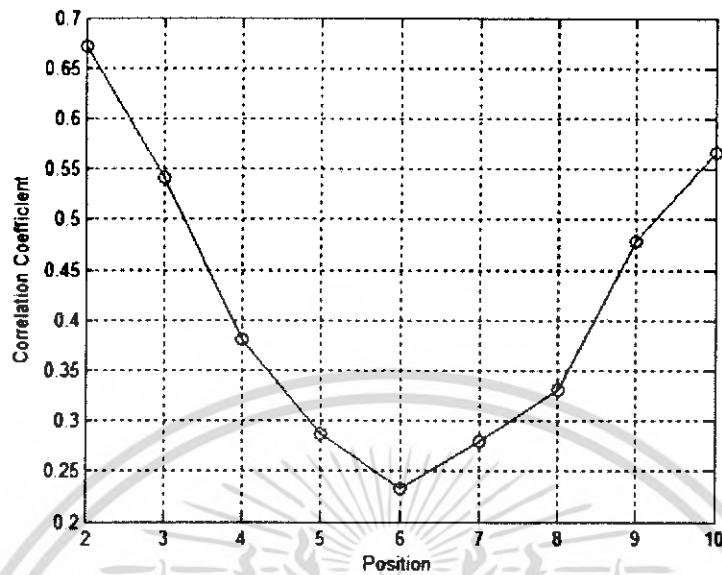
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.05 เมตร

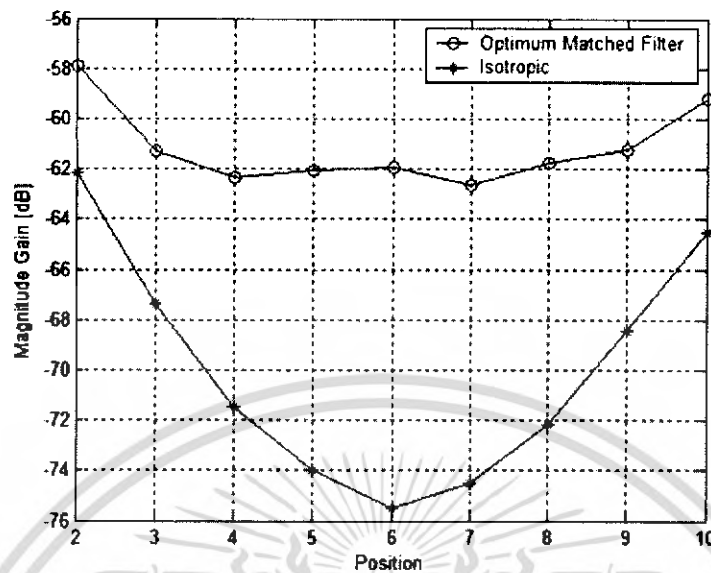
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1.4, 4.4 และ 7.05 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลาที่รับสัญญาณของค่ากำลังงาน



รูปที่ 4.8 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

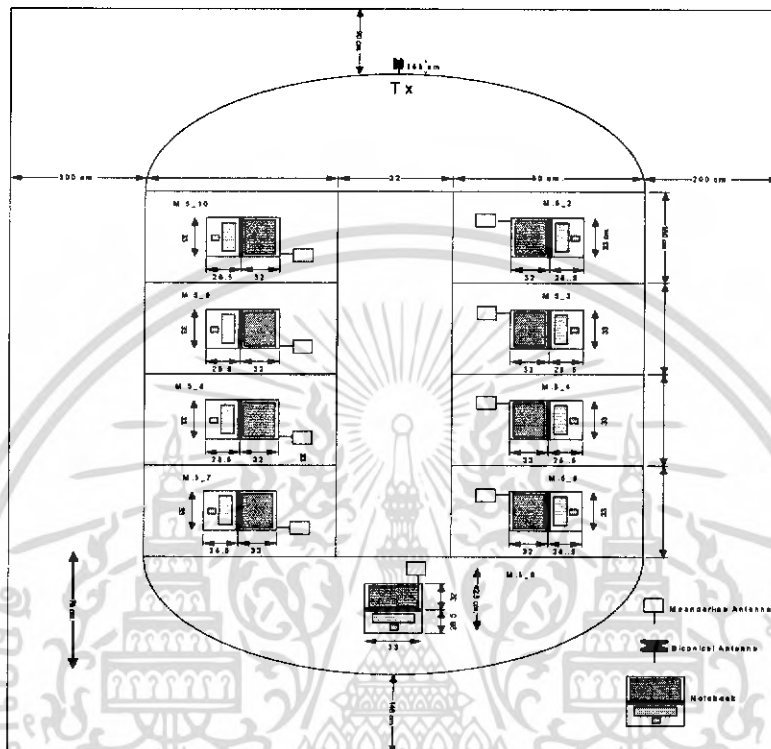
จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าดังกราฟข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง



รูปที่ 4.8 (ซ) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทพิวเคอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทพิวเคอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทพิวเคอร์แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทพิวเคอร์มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

กรณีที่ 2.3: เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอยู่เฉพาะด้านรับ  
 - เมื่อเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทางด้านรับ



รูปที่ 4.9 (ก) โมเดล 2 กรณีที่ 2.3

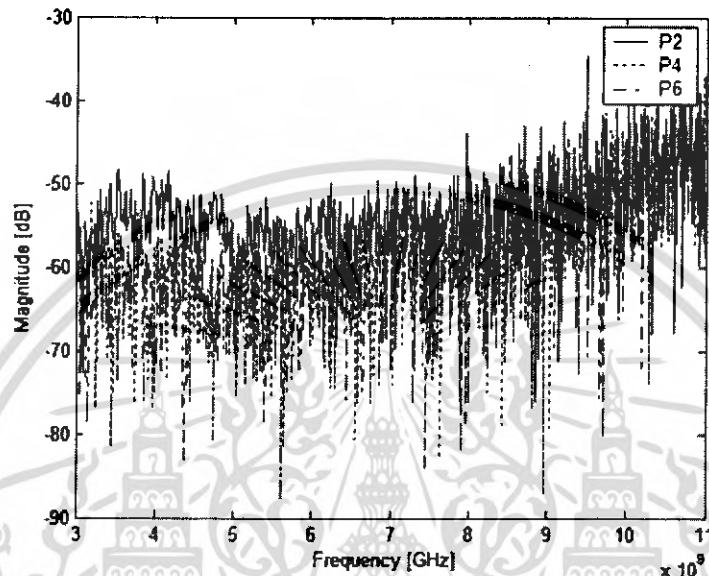
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี(dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	64.0961	1.42
3	68.0990	2.92
4	73.2716	4.38
5	74.7233	5.88
6	77.6965	7.05
7	76.5479	6.18
8	73.6135	4.00
9	69.9618	3.24
10	66.3016	1.76

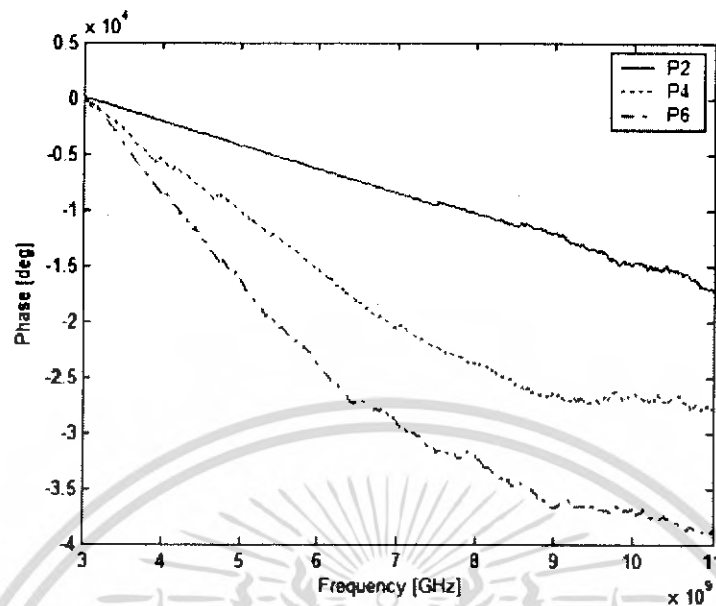
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆโดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็ะยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิณ้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้ กราฟดังนี้



รูปที่ 4.9 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

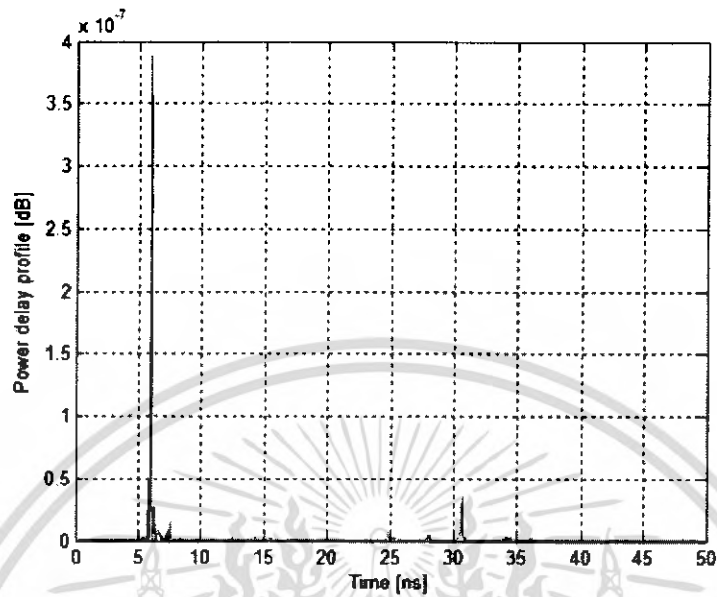
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบแบบไปโคนิคอด ทางด้านรับที่วางในลักษณะแนวนอนและมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่ติดสายอากาศมินิเคอร์ไลน์ทางด้านส่ง ซึ่งให้ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตรซึ่งเราวิเคราะห์ทั้งหมด 9 ตำแหน่ง สามารถอธิบายได้ว่า ในจุดที่มีระยะทางใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมี ค่า แม็กนิจูดเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ



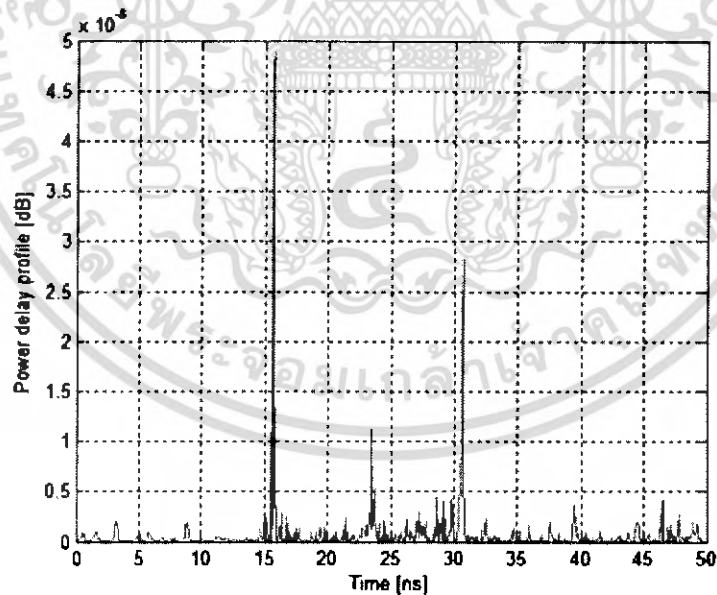
รูปที่ 4.9 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบโคเนคคัล ทางด้านรับที่วางในลักษณะแนวนอนและมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่ติดสายอากาศมีนเตอร์ไลน์ทางด้านส่ง โดยเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตรซึ่งเราวิเคราะห์ทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณสามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

### โมเดล 2 กรณีที่ 2.3

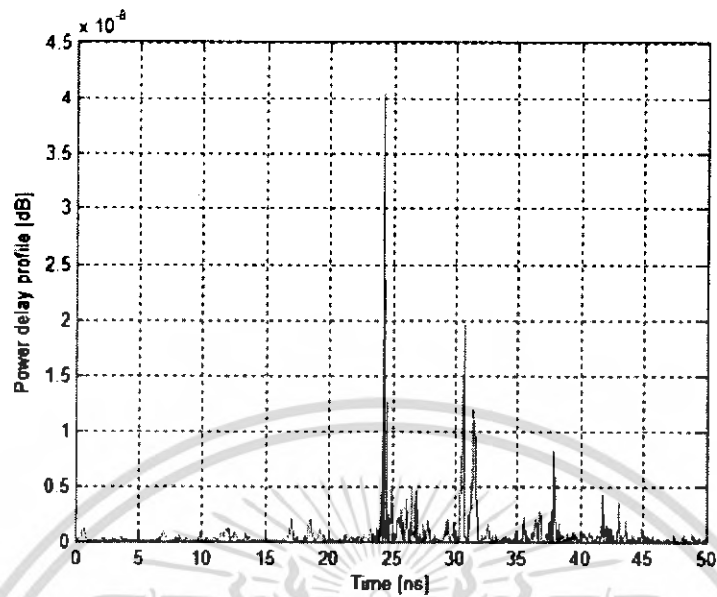


รูปที่ 4.9 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.4 เมตร



รูปที่ 4.9 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.4 เมตร

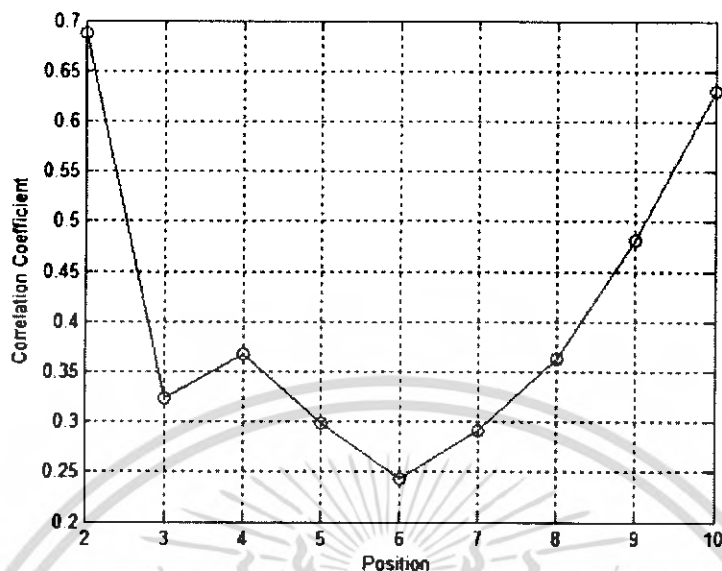
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.05 เมตร

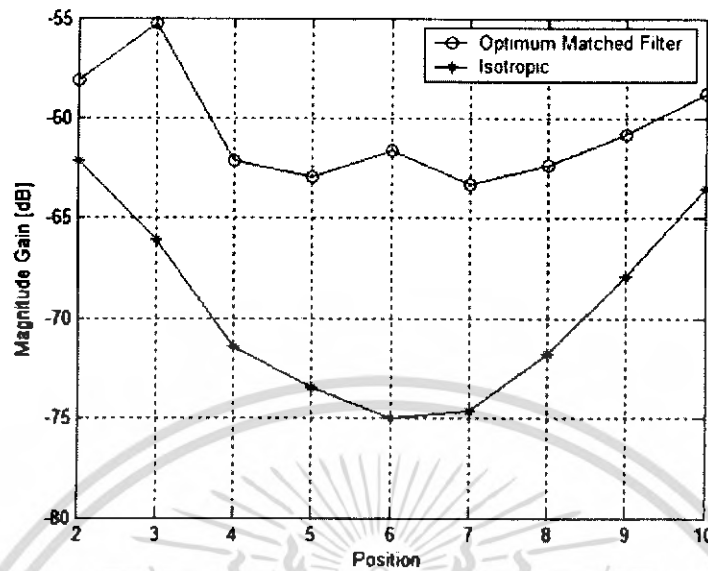
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1.4, 4.4 และ 7.05 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลาที่รับสัญญาณของค่ากำลังงาน



รูปที่ 4.9 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

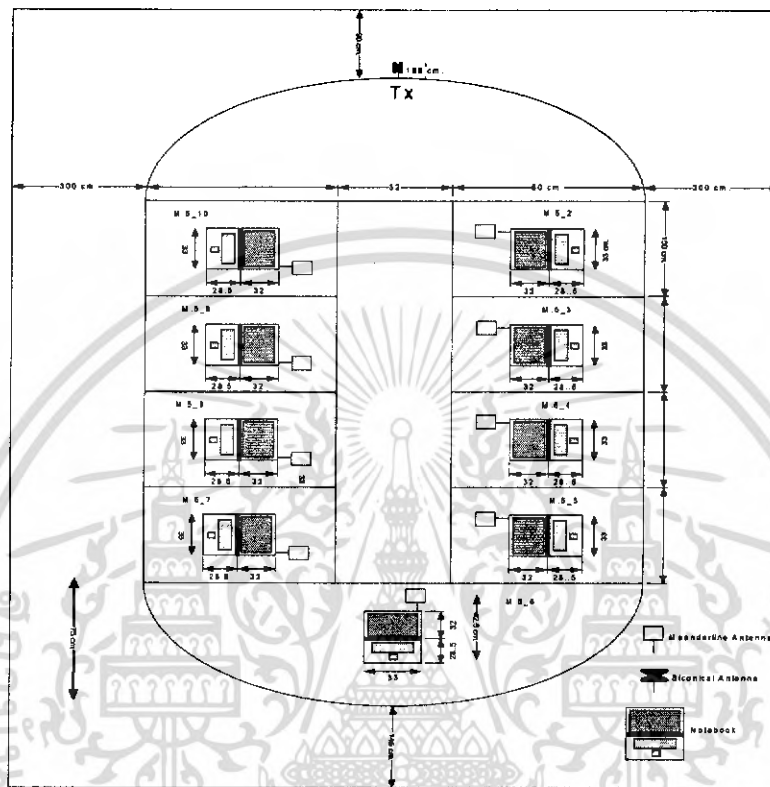
จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าดังกล่าวข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมคือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง



รูปที่ 4.9 (ข) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

กรณีที่ 2.4: เมื่อมีเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอยู่เฉพาะด้านรับ  
 - เมื่อปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทางด้านรับ



รูปที่ 4.10 (ก) โมเดล 2 กรณีที่ 2.4

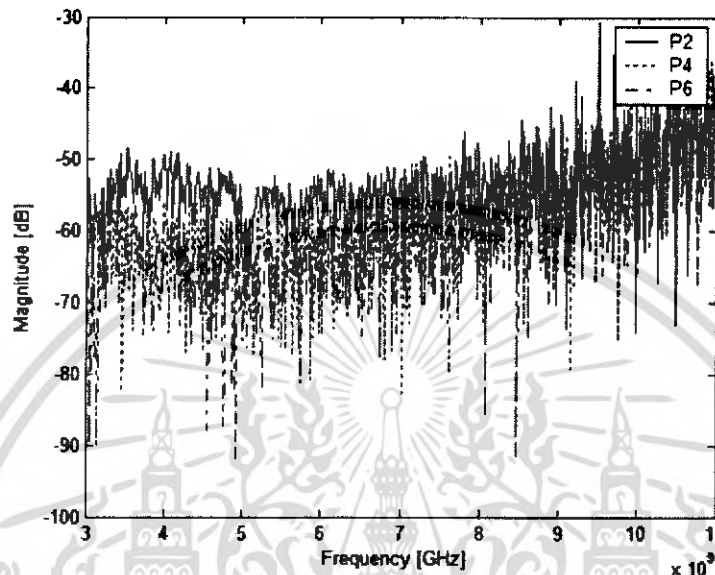
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี(dB)	ระยะทาง(เมตร)
2	64.6809	1.42
3	68.9511	2.92
4	71.5281	4.38
5	74.8859	5.88
6	75.5521	7.05
7	73.8194	6.18
8	73.7949	4.00
9	71.4550	3.24
10	65.9115	1.76

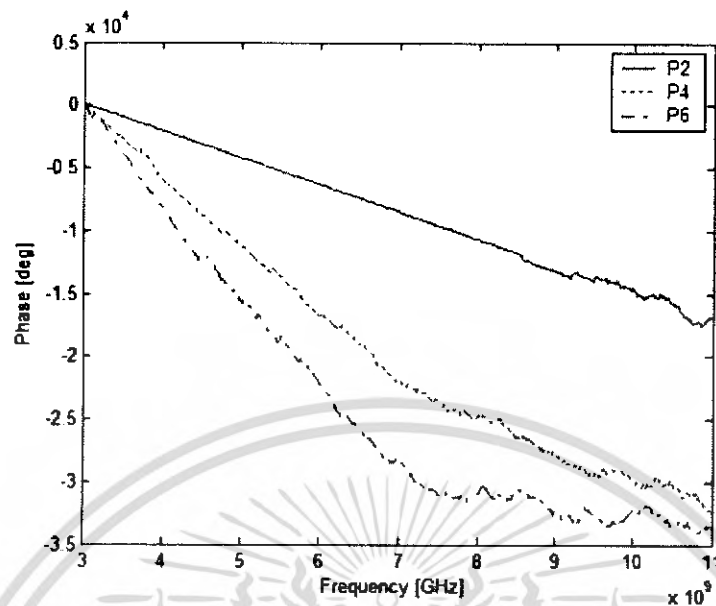
จากตารางเป็นการแสดงค่า การสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่ายิ่งระยะทางไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถี ก็ยิ่งมากขึ้น นั่นก็แสดงถึงว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตัวรับสัญญาณที่อยู่ในตำแหน่งระยะทางที่ไกลออกไปจากตัวส่งสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี แปรผันตามระยะทางคือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากนั้นแสดงถึงว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิณ้อยๆ

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยเข้าทางโปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ แม็กนิจูด กับ ความถี่ โดยเลือกตำแหน่งที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.10 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่

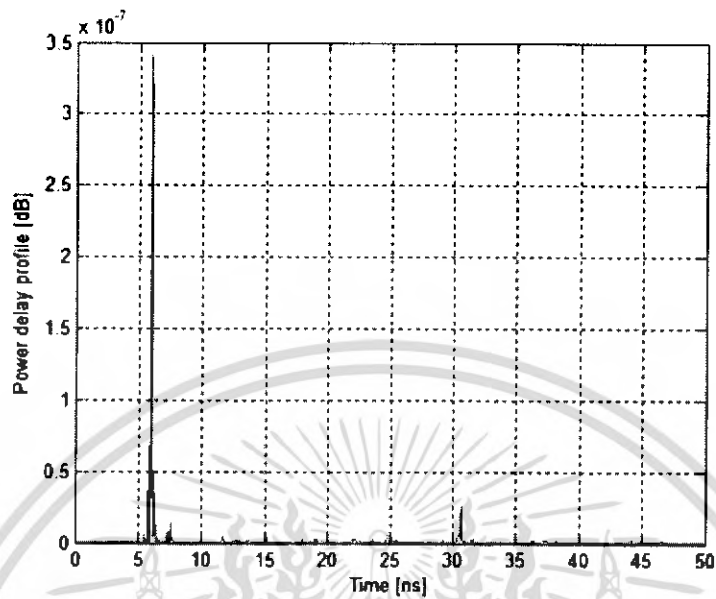
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง แม็กนิจูด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคเนคคอล ทางด้านส่งสัญญาณที่วางในลักษณะแนวนอนและด้านส่งใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ ที่ติดกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โดยเครื่องรับสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในระยะทางช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยเราจะพิจารณาทั้งหมด 9 ตำแหน่ง สามารถอธิบายได้ว่า ในจุดที่มีระยะทางใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมี ค่า แม็กนิจูดเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณ ได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ



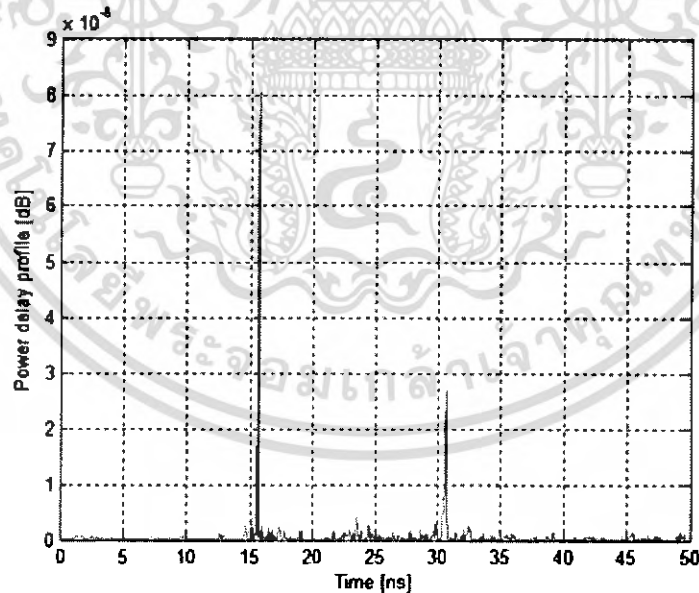
รูปที่ 4.10 (ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศ แบบไบโคเนคคอต ทางด้านส่งสัญญาณที่วางในลักษณะแนวนอนและด้านส่งใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ ที่ติดกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โดยเครื่องรับสัญญาณกับตัวรับสัญญาณอยู่ห่างกันในระยะทางช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยเราจะพิจารณาทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ สามารถอธิบายได้ว่า เฟสในแต่ละจุดจะมีค่าลดลงตามระยะทาง เมื่อเฟสลดลงการส่งสัญญาณก็จะลดลงด้วยเช่นกันซึ่งค่าของเฟสนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ

### โมเดล 2 กรณีที่ 2.2

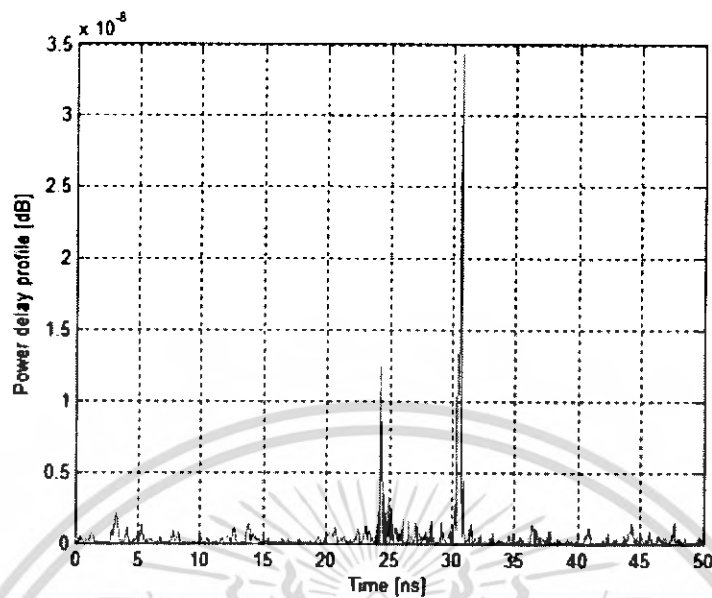


รูปที่ 4.10 (ง) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 1.4 เมตร



รูปที่ 4.10 (จ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 4.4 เมตร

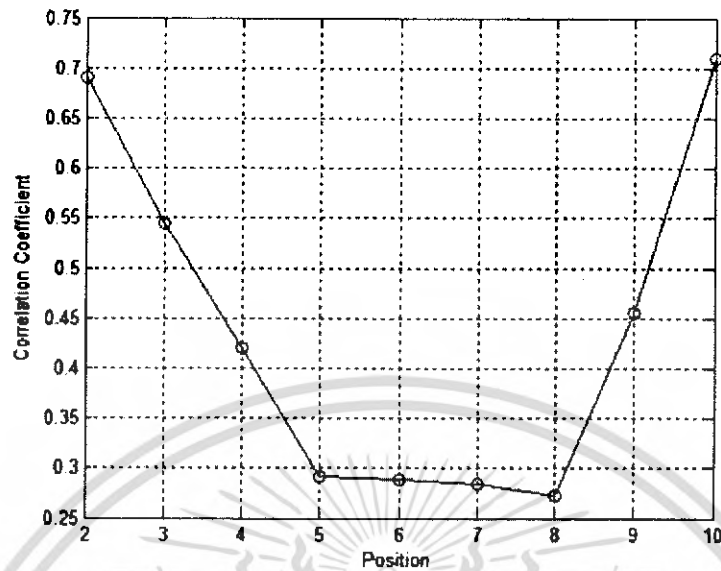
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 (ฉ) ค่าของกำลังงานที่รับสัญญาณได้ในเวลาต่างๆ ขณะที่ระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับห่างกัน 7.05 เมตร

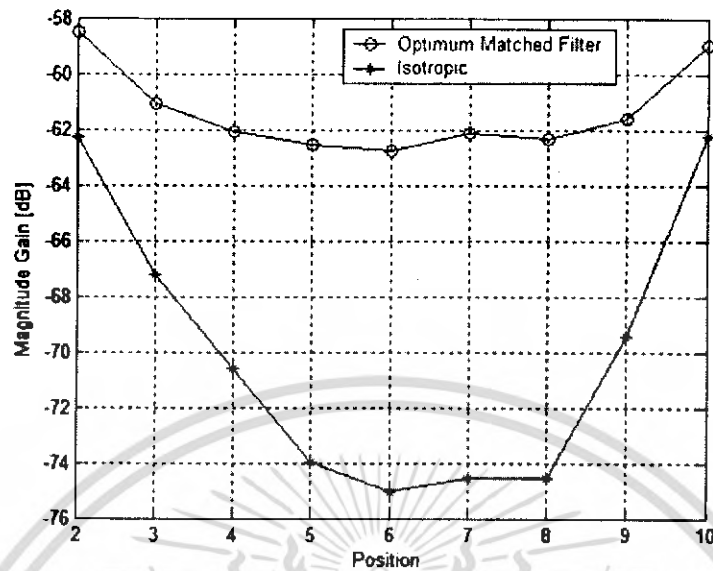
#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟโดยเราตั้งระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะอยู่ห่างกันในช่วง 1-7 เมตร ซึ่งเรานำมาเสนอในระยะ 1.4, 4.4 และ 7.05 เมตร ซึ่งจากการพล็อตกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงภาครับใช้เวลามากขึ้นตาม คือเมื่อระยะทางไกลออกไปมากขึ้นจะทำให้เวลาในการรับสัญญาณจะมากขึ้น หรือจะกล่าวได้ว่าระยะทางแปรผันตามเวลาที่รับสัญญาณของค่ากำลังงาน



รูปที่ 4.10 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในตำแหน่งที่จุดต่างๆ โดยที่ตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร โดยในช่วงนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 9 ตำแหน่งแล้วนำมาพล็อตค่าดังกราฟข้างบน จะเห็นได้ว่า ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม คือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมลดลง ซึ่งค่าอีกนัยหนึ่งก็คือระยะทางแปรผกผันกับระยะทาง



รูปที่ 4.10 (ข) ค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาด กับ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วงระหว่าง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่า โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความแตกต่างระดับการขยายขนาด และ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์ แตกต่างกันมากขึ้นและจะแปรผันตามระยะทางคือยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างของค่าความแตกต่างระดับการขยายขนาดและ ไอโซโทปิก แมทฟิวเตอร์มากขึ้นตามเช่นกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วม

#### 4.2.2 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี ขณะที่สายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบไบโคนิคอลล ด้านรับเป็นแบบไบโคนิคอลล และ แบบมินิเคอร์ไลน์

ตารางที่ 4.11 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่ง	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ของ ไบโคนิคอลล(dB)	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ของ มินิเคอร์ไลน์(dB)
2	51.4793	58.3560
3	59.3621	65.8871
4	63.5119	69.3517
5	65.5965	73.1487
6	67.3041	73.8353
7	66.6085	73.6580
8	62.8897	70.5876
9	59.1414	66.2561
10	51.9933	58.3623

จากตารางเป็นการแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่าเมื่อเลื่อนตำแหน่งไปเรื่อยๆแล้วเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี ของสายอากาศทางด้านรับที่เป็นแบบไบโคนิคอลลกับที่เป็นแบบ มินิเคอร์ไลน์จะได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ได้จากการวัดของสายอากาศที่เป็นไบโคนิคอลล จะมีค่าที่น้อยกว่าของสายอากาศที่เป็นมินิเคอร์ไลน์ซึ่งหมายความว่า การรับสัญญาณของสายอากาศแบบไบโคนิคอลล จะรับสัญญาณได้ดีกว่าการใช้สายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์

ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี ระหว่างการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์  
โน้ตบุ๊กขณะที่สายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบใบโคนิคอลลทางด้านรับเป็นแบบมินิเคอร์ไลน์

ตารางที่ 4.12 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่ง	การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อปิดคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก(dB)	การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเปิดคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก(dB)
2	58.7430	58.7274
3	66.7896	67.1746
4	70.2627	71.6948
5	74.1750	72.8774
6	76.0068	75.0276
7	74.2325	73.6896
8	70.0857	70.1757
9	66.7330	67.3832
10	60.2776	60.1837

จากตารางเป็นการแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจาก  
ตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็น  
ได้ว่าเมื่อเราใช้สายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบใบโคนิคอลลและทางด้านรับเป็นแบบมินิเคอร์ไลน์ทำ  
การเปิด-ปิดเครื่องแล้ววัดค่า การสูญเสียเชิงวิถี เปรียบเทียบค่าที่ได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าการสูญเสียเชิง  
วิถี ของทั้งสองกรณีมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก นั่นหมายถึง การเปิด-ปิดเครื่องไม่มีผลต่อการรับสัญญาณ

ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถึ ระหว่างการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊กขณะที่สายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบไบโคนิคอลลซึ่งอยู่สูงจากพื้น 165 เซนติเมตร ทางด้านรับเป็นแบบมินิเคอร์ไลน์

ตารางที่ 4.13 ค่าการสูญเสียเชิงวิถึ

ตำแหน่ง	การสูญเสียเชิงวิถึเมื่อปิดคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก(dB)	การสูญเสียเชิงวิถึเมื่อเปิดคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก(dB)
2	63.9128	63.4589
3	68.8988	69.0971
4	72.0353	72.1656
5	73.7100	73.4175
6	75.1437	74.6097
7	75.0121	73.7196
8	71.4857	72.6881
9	68.8971	69.0845
10	65.5336	65.5354

จากตารางเป็นการแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถึที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับสัญญาณอยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณในระยะช่วง 1-7 เมตร โดยมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ซึ่งพล็อตได้ดังตารางข้างบนจะเห็นได้ว่าเมื่อเราใช้สายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบไบโคนิคอลลและทางด้านรับเป็นแบบมินิเคอร์ไลน์ซึ่งสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่งสูงไม่เท่ากัน ทำการเปิด-ปิดเครื่องแล้ววัดค่าการสูญเสียเชิงวิถึเปรียบเทียบค่าที่ได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าการสูญเสียเชิงวิถึของทั้งสองกรณีมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก นั่นหมายถึง การเปิด-ปิดเครื่องไม่มีผลต่อการรับสัญญาณ

แม้ว่าสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่งจะสูงไม่เท่ากัน ก็ได้ผลเช่นเดียวกับสายอากาศทางด้านรับสูงเท่ากับทางด้านส่ง

## บทที่ 5

### บทสรุปและแนวทางวิจัยในอนาคต

#### 5.1 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ

1. ในการเลื่อนตำแหน่งในการวัดอาจเกิดความคลาดเคลื่อน จึงทำให้ค่าที่ได้จากการวัดอาจเกิดความผิดพลาดไปบ้าง
2. เนื่องจากมีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่อยู่ในห้องที่ใช้ทดลอง คือ อุณหภูมิ คลื่นรบกวน และการสะท้อนของคลื่น

#### 5.2 แนวทางในการแก้ปัญหา

1. ในการวัดควรที่จะวัดอย่างน้อยสองครั้งเพื่อที่จะนำค่าที่ได้จากการวัดมาหาค่าเฉลี่ยและเป็นการลดความผิดพลาดที่ได้จากการวัด
2. ในการวัดค่าต่างๆ ต้องอาศัยความรอบคอบให้มากที่สุดเพราะจะมีผลต่อผลการทดลอง

#### 5.3 สรุปผล

จากผลของงานวิจัยจะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบไบโคเนคคอล สามารถส่งสัญญาณได้ดีกว่าสายอากาศแบบมินิเดอริไลน์ซึ่งเป็นผลมาจากคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่แตกต่างกัน โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบไบโคเนคคอล จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบมินิเดอริไลน์ และจะเห็นได้ว่าระยะทางมีผลต่อค่าการสูญเสียเชิงวิถี รวมถึงกำลังงานที่สายอากาศทางด้านรับสามารถรับได้โดย ระยะทางจะแปรผันตามค่าการสูญเสียเชิงวิถี และแปรผกผันตามกำลังงานที่สายอากาศทางด้านรับสามารถรับได้ กล่าวคือ เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้นตาม และกำลังงานที่ด้านรับก็จะมีค่าลดลง รวมถึงระยะเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับก็จะใช้เวลามากขึ้นด้วยเช่นกัน

ในกรณีของการ เปิด-ปิด เครื่องไม้นี้ก็จะเห็นได้ว่าการรับสัญญาณของสายอากาศจะมีค่าแตกต่างกันไม่มากเนื่องจาก สายอากาศถูกติดตั้งไว้ที่ฝาเครื่องซึ่งไม่ได้อยู่ในพื้นที่ส่วนที่ถูกบดบัง และการติดตั้งสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบ แนวตั้งและแนวนอนจะส่งผลให้ความสามารถในการรับสัญญาณของสายอากาศทางด้านรับมีความแตกต่างกันคือ การตั้งสายอากาศทางด้านส่งแบบแนวตั้งจะทำให้สายอากาศทางด้านรับ รับสัญญาณได้ดีกว่าการตั้งสายอากาศแบบแนวนอน เนื่องจากลักษณะการแพร่กระจายคลื่นที่ต่างกัน โดยการตั้งสายอากาศแบบแนวตั้งจะมีลักษณะการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ส่วนการตั้งสายอากาศแบบแนวนอนจะมีลักษณะการ  
แพร่กระจายคลื่นแบบเชิงเส้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

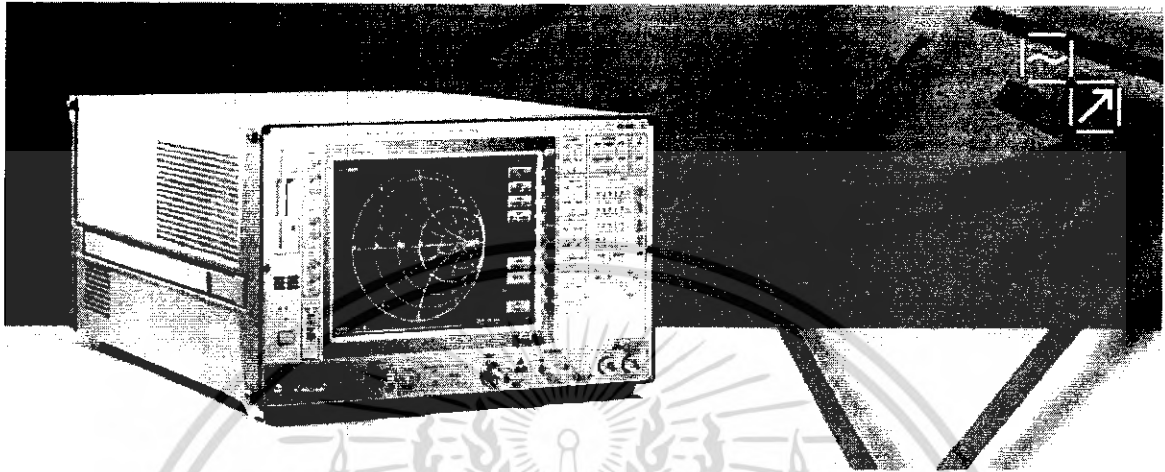
- [1] Theodore S. Rappaport .Wireless Communications Principles and Practice. Prentice-Hall, Inc. 1996.
- [2] Ian Oppermann, Matti Hamalainen and Jari Iinatti. UWB Theory and Applications. John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] Simon R. Saunders. Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems. John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] David Parsons. The Mobile Radio Propagation channel. John Wiley & Sons, Ltd.
- [5] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering.
- [6] ลัญจนกร วุฒิสีทธิกุลกิจ. หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [7] ณพิเชฐ วัฒนกิจ.สายอากาศ UWB สำหรับโครงข่ายส่วนบุคคล (UWB Antenna for Personal Area Network).ปริญญาานิพนธ์ (วศ.บ.(วิศวกรรมสารสนเทศ)) -- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Network Analyzers ZVM and ZVK



Versatile test set for LUTVERSUM

ZVM and ZVK are compact instruments with integrated generator, two reference and two receiver channels and a bidirectional test set. This can be extended by attenuators with integrated switches in the generator and receiver paths. With this configuration, ZVM and ZVK offer direct access to all reference and receiver channels. This concept makes ZVM and ZVK well equipped for complex test setups, for example for bidirectional measurements on power amplifiers.

For the units up to 4 GHz (ZVRL, ZVRE, ZVR) and 8 GHz (ZVCE, ZVC), a separate data sheet (PD757.1802) is available. In addition, a free-of-charge CD-ROM (Order No. 1007.9074.14-03) contains extensive information on the network analyzers including manuals, application notes startup information. Additional information can also be found on the Rohde & Schwarz web site ([www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)).

Two independent synthesizers

ZVM and ZVK have two independent synthesizers for the generator and the receiver. In the receiver sections, fundamental mixing is used up to high frequencies to provide the excellent dynamic range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and outstanding selectivity, enabling straightforward measurements on frequency-converting DUTs or DUTs with extremely high selectivity.

Powerful and highly precise

**Special calibration techniques** ZVM and ZVK feature modern calibration techniques patented by Rohde&Schwarz that allow full two-port calibration using fewer or only partially known standards. This simplifies the design of calibration standards used for example in test fixtures or on wafers. Thus calibration in non-coaxial systems can be performed with a minimum of effort at maximum accuracy and dynamic range.

**Embedding and de-embedding of virtual networks, CAE software** The *Virtual Embedding Networks* option enables virtual embedding of arbitrary linear two-port networks into the test setup. The required data (\*.S1P, \*.S2P, \*.S4P, \*.flp) are obtained from a measurement of the existing network or generated by CAE tools from the theoretical model. In tests of components that have to be matched to a given impedance, the matching network can thus be taken into account through mathematical algorithms of ZVM and ZVK instead of using the physical network. This method guarantees high accuracy, ideal reproducibility and maximum reliability without any loss of speed – great advantages especially in production. Conversely, by de-embedding, the influence of a known network can be eliminated. The S-parameters of a chip can be analyzed, compensating for the effects of its housing and bonding leads through de-embedding.

### **Time-domain measurements**

By transforming measurement data from the frequency to the time domain, discontinuities or impedances along the DUT can be displayed as a function of DUT length. With a maximum number of 2001 points, ZVM and ZVK can measure even very long DUTs with high resolution. Five filters allow the location of a discontinuity and the sidelobe suppression to be determined with optimum resolution. The S-parameters of a given discontinuity can be displayed in the time domain by setting a window (gating). An additional processor module included in the corresponding option accelerates data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### **Designed for the most stringent demands**

processing and the display of results to provide even realtime display – a valuable aid, for example in the tuning of bandpass filters with time domain transformation. **Internal PC and Ethernet** ZVM and ZVK are based on Windows NT. The user has complete access to the hard disk, the floppy disk drive and all interfaces of the internal PC. This allows, for example, the connection of an external monitor, the installation of any type of printer, or the use of software tools on ZVM or ZVK for result processing or control of the network analyzers via the IEC/ IEEE bus or an internal RSIB\*) data bus. ZVM and ZVK can thus act as controllers of their own or for a complete test or production system. Moreover, the internal PC enables control and data exchange via Ethernet.

### **Decoupled 4-channel display**

In the decoupled mode, the frequency grid, measurement bandwidth, calibration technique and measurement mode can be configured independently for each of the four display channels. In amplifier measurements, this allows the simultaneous measurement and display of important parameters in quasi-realtime, such as gain, compression point (power highlights in brief)

### **Test set and system configuration**

ZVM and ZVK are four-channel instruments with two measurement and two reference channels. The test sets are of fully symmetrical design in the forward and the reverse direction. During a bidirectional sweep, the electronic RF switch applies the signal to the DUT at every frequency point in the forward and the reverse direction: ZVM and ZVK thus indicate the fully corrected measured values during the sweep valuable aid in alignments at small measurement bandwidths. Optional step attenuators (ZVM-B21 to -B24, ZVK-B21 to -B24) with attenuation from 0 dB to 70 dB in steps of 10 dB can be inserted into the generator and receiver paths

The attenuators extend the output power range down to  $-90$  dBm and the maximum input power at PORT 1/2 to  $+27$  dBm. If ZVM or ZVK are fitted with an attenuator in a receiver path, an additional test port – INPUT b1 or INPUT b2 – is available on the front panel. An internal switch in the attenuator enables direct access to the respective receiver channel, bypassing the coupler. Sensitivity and dynamic range are thus increased by typically 10 dB. The two reference channels can be accessed directly too, since the associated paths are routed via the front panel as standard (R1 CHANNEL IN/OUT, R2 CHANNEL IN/OUT, Fig. 8). In the case of ZVM, the PORT 1, PORT 2, INPUT b1 and INPUT b2 test ports are PC3.5 male connectors, the inputs and outputs of the reference channels are SMA female connectors. In the case of ZVK, all ports are 2.92 mm male connectors, the inputs and outputs of the reference channels are 2.92 mm female connectors.

A network analyzer equipped with receiver step attenuators not only offers sensitivity and dynamic range increased by 10 dB, but also the functionality of an instrument without a test set ("Delete Testset"), i.e. direct access to the reference and measurement channels. Active DUTs can be powered and driven via the inner conductors of PORT 1 and PORT 2 with DC voltage of up to 30 V or 200 mA. The required DC power is applied via rear-panel BNC connectors.

The flexible concept of the network analyzers allows the configuration of complex external test sets for special measurement tasks such as:

- group delay of mixers with the aid of a reference mixer
- high-power measurements on power amplifiers using a test set with preamplifiers (Fig. 9)
- S22 measurement on power amplifier during operation