

การวิเคราะห์ตำแหน่งและระยะทางการเคลื่อนที่ของแต่ละบุคคลแบบเวลาจริง
โดยใช้ RSSI

THE REAL-TIME OF POSITION AND DISTANCE ANALYSIS
ON INDIVIDUALS MOVEMENT BEHAVIOR USING RSSI



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การวิเคราะห์ตำแหน่งและระยะทางการเคลื่อนที่ของแต่ละบุคคลแบบเวลาจริง
โดยใช้ RSSI

THE REAL-TIME OF POSITION AND DISTANCE ANALYSIS
ON INDIVIDUALS MOVEMENT BEHAVIOR USING RSSI



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE REAL-TIME OF POSITION AND DISTANCE ANALYSIS
ON INDIVIDUALS MOVEMENT BEHAVIOR USING RSSI



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การวิเคราะห์ตำแหน่งและระยะทางการเคลื่อนที่ของแต่ละบุคคลแบบเวลาจริงโดยใช้ RSSI

THE REAL-TIME OF POSITION AND DISTANCE ANALYSIS
ON INDIVIDUALS MOVEMENT BEHAVIOR USING RSSI

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายพลฤทธิ สระรักษ์ รหัสประจำตัว 58010846
นายพันธกานต์ เกรือรัตน์ รหัสประจำตัว 58010867

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ตำแหน่งและระยะทางการเคลื่อนที่ของแต่ละบุคคลแบบเวลาจริงโดยใช้ RSSI		
	THE REAL-TIME OF POSITION AND DISTANCE ANALYSIS ON INDIVIDUALS MOVEMENT BEHAVIOR USING RSSI		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพลฤทธิ สระรักษ์	รหัสนักศึกษา	58010846
	นายพันธกานต์ เครือรัตน์	รหัสนักศึกษา	58010867
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศิริรัตน์		
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม	สิทธิ์ธรรมสกุล	
ปีการศึกษา	2561		

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบโปรแกรม และระบบที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ของบุคคลในขณะที่มีการเคลื่อนที่แบบเวลาจริง และนำผลที่ได้จากการตรวจรู้ไปวิเคราะห์เช่น ระยะทางในการเคลื่อนที่ เพื่อเป็นประโยชน์ในอนาคตที่จะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ไปใช้งานต่อ ซึ่งอาศัยหลักการ Received Signal Strength Indicator (RSSI) คือ ระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุที่วัดที่ตัวรับ โดยทำการศึกษาหาระยะทาง โดยใช้ความแรงของคลื่นสัญญาณนี้เพื่อบ่งบอกระยะห่างของตัวส่งและตัวรับสัญญาณ นำเอาที่พุดที่ออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า แล้วส่งค่าไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้มานั้นคำนวณ บันทึกค่าและแสดงผลออกมาทางหน้าจอ โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองเป็นสถานที่เปิดและสถานที่ปิด การวางตำแหน่งของทรานสมิตเตอร์ การติดตั้งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองแล้วหันไปยังทิศทางต่างๆเทียบกับตัวรับสัญญาณในระดับความสูงที่ต่างกัน และใช้ค่าจากอุปกรณ์ตรวจรู้ด้านอุณหภูมิและความชื้นมาคำนวณรวม ซึ่งเงื่อนไขที่เหมาะสมคือสถานที่เปิด การวางตำแหน่งของทรานสมิตเตอร์และปัจจัยภายนอก เช่น ความชื้นไม่มีผลต่อค่าที่วัดได้ แต่การหันหน้าของผู้ติดตั้งทรานสมิตเตอร์ไปยังทิศทางต่าง ๆ มีผลต่อค่าที่วัดได้ เมื่อนำค่าจากเงื่อนไขทั้งหมดไปวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งจะได้ช่วงของค่าความผิดพลาด

Thesis Title	THE REAL-TIME OF POSITION AND DISTANCE ANALYSIS ON INDIVIDUALS' MOVEMENT BEHAVIOR USING RSSI	
Authors	Mr. Ponrit	Sraruk
	Mr. Panthakarn	Kruarat
Thesis Advisors	Assoc. Prof. Dr. Witsarut	Sriratana
	Asst. Prof. Sutham	Satthamsakul
Year	2018	

ABSTRACT

The thesis is intended to design and program the system used for the analysis of the position and distance of movement while on the move in real time. The results of the analysis to detect movement data to be useful further. This principle base on Received Signal Strength Indicator (RSSI) which is the indicator of the strength of the RF measurement receiver. The strength of signal indicate the distance of the transmitter and the receiver. Bring out the output voltage and then sent to the microcontroller. Data was calculated and displays on the screen. The experiments are designed 4 part which are opened and closed conditions, the positions of transmitter are installed in front of the experimenter which turned at different degree and the use of the temperature and humidity value is calculated . The proper condition is external place. Humidity does not affect the measurement. But the face of the different directions affect the measurement. When the value of all the conditions to be analyzed to determine the location and calculate the error value.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นมาจาก ความเมตตากรุณาที่ได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ จาก รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ และ ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลการทำปริญญาานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์และดูแลควบคุมการทำงานอย่างใกล้ชิด ผู้จัดทำมีความรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ และ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและคำสั่งสอนเพื่อนำมาจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณห้องปฏิบัติการเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่ในการศึกษาวิจัย และสนับสนุนอุปกรณ์ในการจัดทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ พร้อมกำลังใจที่มีให้กับตลอดการเรียนและการจัดทำปริญญาานิพนธ์ที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการศึกษาค้นคว้าซึ่งการจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณความดีที่พึงมีจากการจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ บิดา มารดา รวมทั้งคณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 หลักการและเหตุผลของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.6 ปัญหาหรือประโยชน์ที่ได้รับ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การกล่าวนำ.....	3
2.2 ระบบ RFID ย่านความถี่ UHF.....	3
2.2.1 โครงสร้างของระบบ RFID.....	3
2.2.2 ความถี่.....	6
2.2.3 สายอากาศ.....	6
2.3 ผลกระทบของวัตถุที่เป็นของเหลวต่อระบบ RFID.....	7
2.4 การแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation).....	7
2.4.1 การส่งผ่านอากาศว่าง (Freespace Transmission).....	7
2.4.2 การดูดซับ (Absorption).....	8
2.4.3 การสะท้อน (Reflection).....	9
2.5 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ (Fundamental Antenna Parameters).....	9
2.5.1 รูปแบบการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern).....	9
2.5.2 บริเวณสนาม (Field Regions).....	10
2.5.3 ความต้านทานขาเข้า (Input impedance).....	11
2.5.4 ความต้านทานการแผ่คลื่น (Radiation Resistance).....	11
2.5.5 ประสิทธิภาพ (Efficiency).....	12
2.5.6 แบนด์วิดธ์ (Bandwidth).....	12
2.6 วงจรไฟฟ้าสมมูล (Electrical equivalent circuits).....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การแมตช์ (Matching).....	13
2.8 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient).....	14
บทที่ 3 ออกแบบการทดลอง และบล็อกไดอะแกรม.....	15
3.1 องค์ประกอบและการทำงานโดยรวมของระบบ.....	15
3.2 รายละเอียดการออกแบบส่วนต่าง ๆ ของระบบ.....	15
3.2.1 การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์.....	16
3.2.1.1 ส่วนของอุปกรณ์รับและส่งค่าสัญญาณจากการวัด.....	16
3.2.1.2 ส่วนของการประมวลผล.....	16
3.2.1.3 ส่วนของการแสดงผล.....	16
3.2.2 การออกแบบส่วนซอฟต์แวร์.....	17
3.2.2.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงาน.....	17
3.3 การออกแบบการทดลอง.....	18
3.3.1 การทดสอบในเงื่อนไขสถานที่ต่าง ๆ	18
3.3.2 การทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้า.....	21
ที่มุมต่าง ๆ จากขอบสนาม	
3.3.3 ทรานสมิตเตอร์ติดไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุมต่าง ๆ	22
3.3.4 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการทดลอง.....	24
3.3.5 การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมและเครื่องมือในสถานที่จริง.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	25
4.1 การทดสอบตัว Transmitter และ Receiver ในสถานที่ต่าง ๆ.....	25
4.1.1 ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์).....	25
4.1.2 ในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา).....	27
4.1.3 ในสถานที่เปิด (หน้าภาควิศวกรรมการวัดคุม).....	29
4.1.4 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น).....	31
4.2 การทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้า.....	35
4.2.1 ทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น.....	35
4.2.1.1 ทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม.....	36
4.2.1.2 ทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม.....	39
4.2.1.3 ทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม.....	42
4.2.2 ทรานสมิตเตอร์วางความสูง 50 เซนติเมตร จากระดับพื้น.....	45
4.2.2.1 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา.....	45
กับขอบสนาม	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2.2 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา.....	48
กับขอบสนาม	
4.2.2.3 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา.....	51
กับขอบสนาม	
4.2.3 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร จากระดับพื้น.....	54
4.2.3.1 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา.....	54
กับขอบสนาม	
4.2.3.2 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา.....	58
กับขอบสนาม	
4.2.3.3 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา.....	61
กับขอบสนาม	
4.3 ทรานสมิตเตอร์ติดไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุมต่าง ๆ.....	63
4.3.1 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร จากระดับพื้น.....	64
4.3.1.1 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา.....	64
4.3.1.2 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา.....	67
4.3.1.3 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา.....	70
4.3.1.4 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา.....	73
4.3.2 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร จากระดับพื้น.....	76
4.3.2.1 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา.....	76
4.3.2.2 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา.....	80
4.3.2.3 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา.....	83
4.3.2.4 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา.....	86
4.4 ปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบ.....	89
4.4.1 ความชื้น.....	89
4.5 การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมและเครื่องมือในสถานที่จริง.....	92
4.5.1 ทดสอบกับขนาดสนาม 2x2 เมตร.....	92
4.5.2 ทดสอบกับขนาดสนาม 4x4 เมตร.....	93
4.5.3 ทดสอบกับขนาดสนาม 8x8 เมตร.....	94
4.6 สรุปผลการทดลอง.....	94
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	95
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	95
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
บรรณานุกรม.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก A (SPECIFICATION ของอุปกรณ์).....	99
ภาคผนวก B (ANALYSIS PROGRAM).....	102



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....25 ของเครื่องที่ 1 ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)	25
4.2 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....26 ของเครื่องที่ 2 ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)	26
4.3 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....27 ของเครื่องที่ 2 ในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)	27
4.4 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....28 ของเครื่องที่ 2 ในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)	28
4.5 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....29 ของเครื่องที่ 1 ในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)	29
4.6 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....30 ของเครื่องที่ 2 ในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)	30
4.7 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....31 ของเครื่องที่ 1 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)	31
4.8 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....32 ของเครื่องที่ 2 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)	32
4.9 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....33 ของเครื่องที่ 3 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)	33
4.10 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....34 ของเครื่องที่ 4 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)	34
4.11 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....36 ของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม	36
4.12 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....36 ของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม	36
4.13 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....36 ของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม	36
4.14 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....37 ของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม	37
4.15 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....39 ของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม	39
4.16 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....39 ของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม	39
4.17 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....39 ของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม	39

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.69 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....80 ของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา	80
4.70 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....81 ของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา	81
4.71 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....83 ของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา	83
4.72 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....83 ของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา	83
4.73 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....83 ของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา	83
4.74 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....84 ของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา	84
4.75 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....86 ของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา	86
4.76 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....86 ของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา	86
4.77 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....86 ของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา	86
4.78 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....87 ของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา	87
4.79 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....89 ของเครื่องที่ 1 โดยมีปัจจัยจากความชื้น	89
4.80 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....89 ของเครื่องที่ 2 โดยมีปัจจัยจากความชื้น	89
4.81 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....90 ของเครื่องที่ 3 โดยมีปัจจัยจากความชื้น	90
4.82 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้ง.....90 ของเครื่องที่ 4 โดยมีปัจจัยจากความชื้น	90
4.83 แสดงค่าระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่ง และแสดงตำแหน่งในแกนตั้ง.....92 และแกนนอน ในสนามขนาด 2x2 เมตร	92
4.84 แสดงค่าระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่ง และแสดงตำแหน่งในแกนตั้ง.....93 และแกนนอน ในสนามขนาด 4x4 เมตร	93
4.85 แสดงค่าระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่ง และแสดงตำแหน่งในแกนตั้ง.....94 และแกนนอน ในสนามขนาด 8x8 เมตร	94

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงหลักการทำงานของ RFID.....	3
2.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่าน.....	4
2.3 โครงสร้างภายในแท็ก.....	4
2.4 แท็กแบบ Inductive Coupling.....	6
2.5 แท็กแบบ Microwave Coupling.....	7
2.6 คลื่นเสริมและคลื่นหักล้าง.....	9
2.7 รูปแบบการแผ่กำลังงาน.....	10
3.1 การออกแบบการทำงานโดยรวมของระบบ.....	15
3.2 แสดงหลักการส่วนของอุปกรณ์รับและส่งค่าสัญญาณจากการวัด.....	16
3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงาน.....	17
3.4 สถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์).....	19
3.5 สถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา).....	19
3.6 สถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม).....	20
3.7 สถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น).....	20
3.8 ทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าที่มีม 45 องศา.....	21
3.9 ทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าที่มีม 90 องศา.....	21
3.10 ทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าที่มีม 135 องศา.....	22
3.11 ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองซึ่งหันหน้าไปที่มีม 45 องศา.....	22
3.12 ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองซึ่งหันหน้าไปที่มีม 90 องศา.....	23
3.13 ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองซึ่งหันหน้าไปที่มีม 135 องศา.....	23
3.14 ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองซึ่งหันหน้าไปที่มีม 180 องศา.....	24
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับ..... ระยะทาง 8 เมตรในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)	26
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับ..... ระยะทาง 8 เมตรในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)	27
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับ..... ระยะทาง 8 เมตรในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)	28
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับ..... ระยะทาง 8 เมตรในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)	29
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับ..... ระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)	30
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับ..... ระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)	31
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับ..... ระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับ.....87 ระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา	
4.77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับ.....88 ระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา	
4.78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับ.....88 ระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา	
4.79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับ.....90 ระยะทาง 4 เมตรโดยมีปัจจัยจากความชื้น	
4.80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับ.....91 ระยะทาง 4 เมตรโดยมีปัจจัยจากความชื้น	
4.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับ.....91 ระยะทาง 4 เมตรโดยมีปัจจัยจากความชื้น	
4.82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับ.....92 ระยะทาง 4 เมตรโดยมีปัจจัยจากความชื้น	



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หากจะพูดถึงการระบุตำแหน่งของบุคคล ในปัจจุบันการที่เราจะมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และระบุตำแหน่งมีอยู่หลายชนิด จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบเครื่องมือสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และระบุตำแหน่งโดยใช้หลักการของ Receiver Signal Strength Indicator (RSSI) เพื่อให้เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการใช้งาน

1.2 หลักการและเหตุผล

จากการศึกษาหลักการ Receiver Signal Strength Indicator (RSSI) เพื่อออกแบบเครื่องมือวิเคราะห์และระบุตำแหน่งแบบเวลาจริง โดย RSSI นั้นอยู่บนพื้นฐานของหลักการความเข้มของสัญญาณ

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบโปรแกรม และระบบที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ของบุคคลในขณะที่มีการเคลื่อนที่แบบเวลาจริง และนำผลที่ได้จากการตรวจรู้ไปวิเคราะห์เช่น ระยะทางในการเคลื่อนที่ เพื่อเป็นประโยชน์ในอันที่จะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ไปประยุกต์ใช้สำหรับงานด้านอื่น ๆ ที่ต้องการตรวจวัดตำแหน่งได้

1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องมือวัดศักยภาพของนักกีฬาจากการศึกษาออกแบบระบบเซ็นเซอร์เพื่อรับและส่งข้อมูลแบบ Real time ประกอบด้วย ระยะทางการเคลื่อนที่ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงศึกษาการออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจรู้

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงการในปริญญานิพนธ์แบบนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาความสามารถของเซ็นเซอร์จากอินเทอร์เน็ตแล้วนำมาออกแบบการทดลอง และการวัดเอาต์พุตที่เป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำค่าเอาต์พุตที่ได้นั้นไปใช้คำนวณในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำค่าไปแสดงผลบนหน้าจอ

1.6 ปัญหาหรือประโยชน์ที่ได้รับ

ปัญหาเกิดเนื่องจากการทดลองเป็นเรื่องยากที่จะกำจัดสัญญาณสะท้อนหรือสัญญาณรบกวนต่าง ๆ จึงไม่ใช่เรื่องง่ายที่จะได้ค่าเอาต์พุตที่มีค่าแม่นยำ

ประโยชน์ที่ได้รับคือ เนื่องจากซอฟต์แวร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมา นั้น นักศึกษาต้องใช้ความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์บนพื้นฐานของภาษาซีชาร์ป ทำให้นักศึกษามีความกระตือรือร้นในการศึกษาเรื่องการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อนำความรู้ไปใช้สำหรับงานด้านอื่นๆ

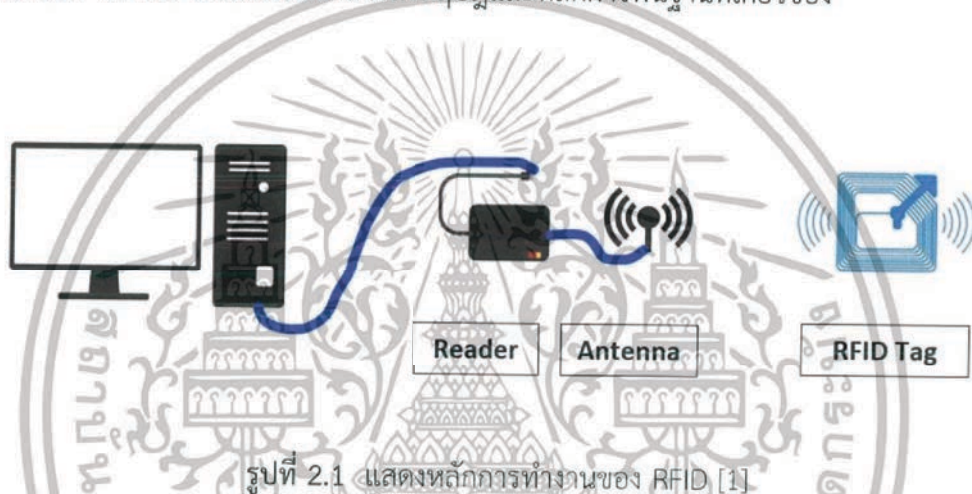


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ระบบ RFID มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย ส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) และส่วนของแท็ก (Tag) โดยเครื่องอ่านจะมีการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัวแท็ก เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับไมโครชิปที่อยู่บนแท็ก แล้วสะท้อนเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับมาผ่านทางสายอากาศบนแท็ก โดยไมโครชิปจะทำการ Modulate signal ที่สะท้อนกลับมาเพื่อให้สามารถระบุถึง ID ของตนเองกลับไป RFID Reader ได้ โดยโครงงานนี้จะออกแบบสายอากาศสำหรับแท็กย่านความถี่ UHF เท่านั้น ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง



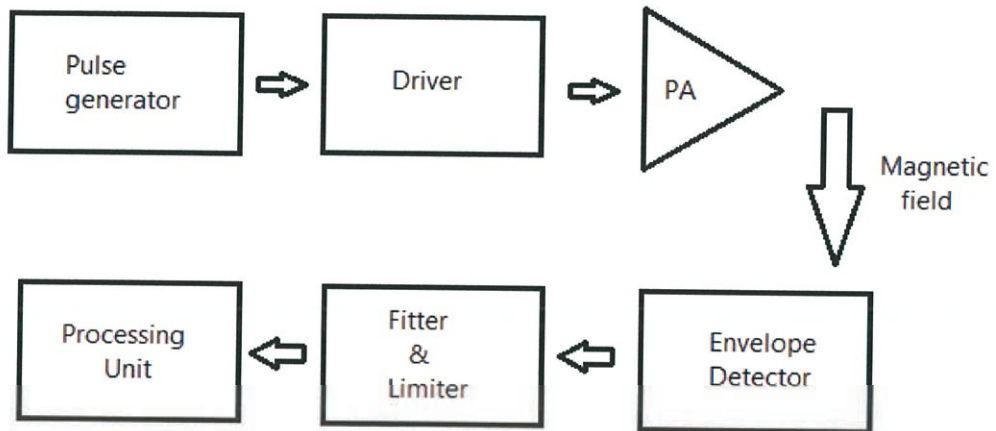
2.2 ระบบ RFID ย่านความถี่ UHF

ระบบ RFID ที่มีย่านความถี่นี้จะอยู่ในช่วง 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 1 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยประกอบด้วยโครงสร้างของระบบ RFID ความถี่ และสายอากาศ

2.2.1 โครงสร้างของระบบ RFID

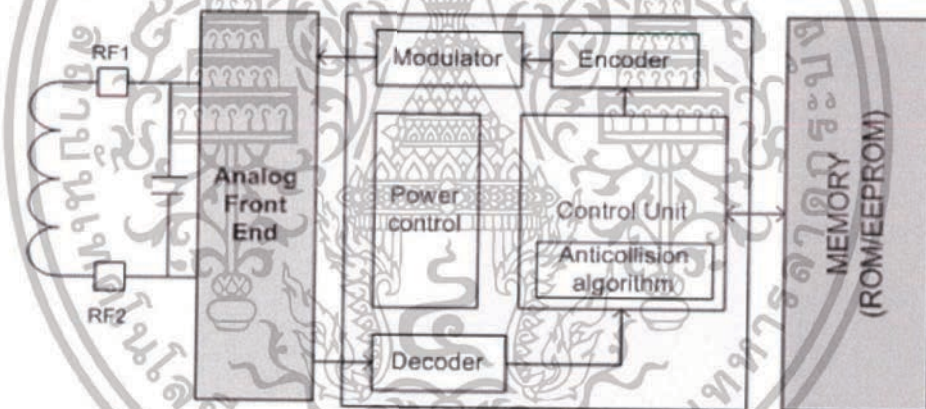
เครื่องอ่าน หน้าที่หลักของเครื่องอ่านคือ การเชื่อมต่อกับทรานส์มิเตอร์เพื่อทำการอ่านหรือ เขียนข้อมูลลงในกับทรานส์มิเตอร์ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- 1) ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ (Transceiver)
- 2) ภาควิทยุพาหะ (Carrier)
- 3) ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna)
- 4) วงจรจูนสัญญาณ (Tuner)
- 5) หน่วยประมวลผลข้อมูล (Processing Unit)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่าน [2]

แท็ก เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับติดกับวัตถุต่าง ๆ โดย จะประกอบด้วย สายอากาศและไมโครชิปที่มีการบันทึกหมายเลข (ID) หรือ ข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในแท็ก [3]

โครงสร้างภายในแท็ก จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ

- 1) ไอซีชิป (IC-Chip) ทำหน้าที่ เก็บข้อมูลของวัตถุในหน่วยความจำ ซึ่งในหน่วยความจำนี้ อาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านและเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะเก็บข้อมูลด้วยความปลอดภัย เช่น สิทธิในการเข้าออกประตู ส่วน RAM ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและเครื่องอ่านทำการติดต่อสื่อสารกัน นอกจาก ROM และ RAM แล้ว ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการสื่อสารระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก
- 2) สายอากาศ คือ ขดลวดขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นเสาอากาศ สำหรับรับและส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้กับไอซีชิป สายอากาศแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมาเพื่อกระตุ้นให้แท็กอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถมีได้หลายขนาดและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่าง เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุที่จะนำแท็กไปติดตั้ง และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการรับและส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ สายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับ Transceiver ให้เป็นอุปกรณ์ติดกัน

ประเภทของแท็ก โดยทั่วไปแท็กอาจจะอยู่ในรูปแบบที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก ที่มีขนาดและรูปร่าง ต่างกันไป แต่ไม่ว่าแท็กจะอยู่ในรูปแบบใดก็ตาม เราสามารถแบ่งประเภทของแท็กได้ 2 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ แบบพาสซีฟ (Passive Tag) และแบบแอ็กทีฟ (Active Tag) โดยแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามรูปแบบการนำไปใช้งานโครงสร้างภายใน และหลักการทำงาน ดังนี้

1) Passive Tag ไม่มีแหล่งพลังงาน หรือแบตเตอรี่ภายในแท็กเพราะการทำงานอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือ ที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver

ข้อดีของ Passive Tag

- (1) น้ำหนักเบา
- (2) แท็กมีขนาดเล็ก
- (3) ราคาถูก
- (4) อายุการใช้งานไม่จำกัด

ข้อเสียของ Passive Tag

- (1) ระยะการรับส่งข้อมูลสั้น (ระยะไกลสุดเพียง 1.5 เมตร)
- (2) หน่วยความจำมีขนาดเล็ก (ประมาณ 32 ถึง 128 บิต)
- (3) เครื่องอ่าน (มีสัญญาณรบกวนเครื่องอ่าน) ต้องมีกำลังส่งที่สูง
- (4) อาจเกิดผิดพลาดหากทำงานในบริเวณที่

โครงสร้างภายในแท็กแบบ Passive Tag ประกอบด้วย

- (1) ส่วนการควบคุมการทำงานของภาครับส่งสัญญาณวิทยุ (Analog front end)
- (2) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital control unit)
- (3) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) อาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM

2) Active Tag จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงาน การที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดจะไม่สามารถนำแท็กมาใช้งานได้อีกแต่สามารถออกแบบวงจรของแท็กให้ใช้กระแสไฟน้อย ๆ ในการทำงาน ก็อาจจะมียุการใช้งานนานนับสิบปีเลย

ข้อดีของ Active Tag

- (1) มีหน่วยความจำขนาดใหญ่ (ประมาณ 1 เมกะไบต์)
- (2) ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (ระยะไกลสุด 6 เมตร)
- (3) ทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของ Active Tag

- (1) ราคาสูง
- (2) แท็กมีขนาดใหญ่

ในปัจจุบันนิยมใช้แท็กแบบ Passive Tag มากกว่า แบบ Active Tag เนื่องจาก Passive Tag ได้เปรียบในเรื่องของราคา และอายุการใช้งาน นอกจากการแบ่งแท็กตามชนิดของแท็กแล้วยังสามารถแบ่งแท็กได้ตามประเภทรูปแบบในการใช้งานได้ 3 แบบ คือ

- (1) แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)
- (2) แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-one, Read-many :WORM)
- (3) แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-only)

2.2.2 ความถี่

ปัจจุบันย่านความถี่สำหรับการใช้งาน RFID ทั่วโลกจะอยู่ในย่านความถี่ ISM Band (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่หลายประเทศกำหนดไว้สอดคล้องกันในการอนุญาตให้ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์ และการแพทย์ มี 4 ย่านความถี่ และสำหรับย่านความถี่ใน ISM Band ที่กำหนดให้ใช้สำหรับ RFID ทั้ง 4 ย่านความถี่มีดังนี้

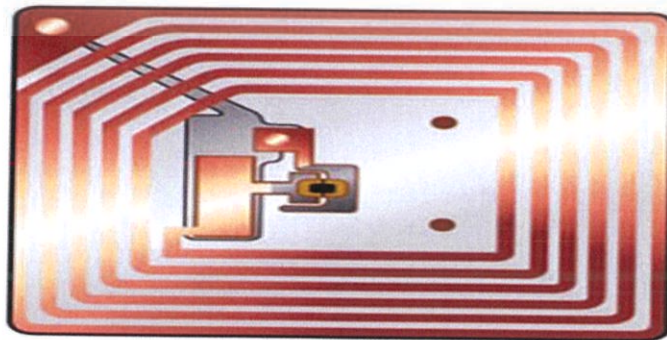
- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 กิโลเฮิร์ตซ์
- ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56/27.125 เมกะเฮิร์ตซ์
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) 433/868/915 เมกะเฮิร์ตซ์
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) 2.45/5.8 กิกะเฮิร์ตซ์

2.2.3 สายอากาศ

การออกแบบสายอากาศสำหรับ RFID แบ่งได้ 2 แบบ คือ Inductive Coupling และ Microwave Coupling ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

1) Inductive Coupling (125 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 15 เมกะเฮิร์ตซ์)

- สายอากาศมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับ λ
- Coupling เฉพาะสนามแม่เหล็ก
- เป็นแท็กชนิดขดลวดระนาบ

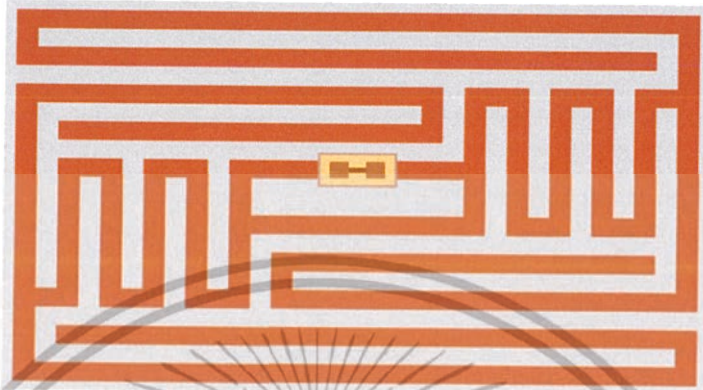


รูปที่ 2.4 แท็กแบบ Inductive Coupling [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Microwave Coupling (868 เมกะเฮิรต์ซ์ ถึง 5.8 กิกะเฮิรต์ซ์)

- เป็นสายอากาศไดโพลแบบปกติ
- ระบบแมตซิงทำให้ขนาดของสายอากาศเล็ก



รูปที่ 2.5 แท็กแบบ Microwave Coupling [5]

2.3 ผลกระทบของวัตถุที่เป็นของเหลวต่อระบบ RFID

โดยปกติแล้วเมื่อนำ RFID Tag ไปใช้งานกับวัตถุที่เป็นของเหลว (Liquid) พบว่าของเหลวส่งผลให้ RFID Tag มีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เนื่องจากระบบ RFID ใช้หลักการการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัวแท็ก เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับไมโครชิปที่อยู่บนแท็กและสะท้อนเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับมาผ่านทางสายอากาศบนแท็กโดยไมโครชิปจะทำการ Modulation signal ที่สะท้อนกลับมาเพื่อให้สามารถระบุถึง ID ของตนเองกลับไปที่เครื่องอ่านแต่ของเหลวมีคุณสมบัติซึมซับ (Absorb) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้การติดต่อสื่อสารกันระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านมีประสิทธิภาพลดน้อยลง

2.4 การแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation)

คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น จะมีการแพร่กระจายออกไปทุกทิศทาง คลื่นวิทยุเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สามารถเดินทางไปด้วยความเร็วเท่ากับแสง แต่คลื่นวิทยุที่มีความถี่ไม่เท่ากัน คุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นจะไม่เหมือนกัน ในพื้นที่ไกลออกไปสัญญาณที่เครื่องรับจะอ่อนลงไป โดยประกอบด้วย การส่งผ่านอากาศว่าง การดูดซับ และการสะท้อน

2.4.1 การส่งผ่านอากาศว่าง (Freespace Transmission)

ระบบการส่งผ่านอากาศว่างโดยทั่วไปประกอบด้วย สายอากาศภาคส่ง ส่วนสายส่ง และสายอากาศภาครับ โดยพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาได้แก่ กำลังส่ง พารามิเตอร์ของสายอากาศ (อัตราขยาย โพลาริซ และ สัมประสิทธิ์การสะท้อน) ความยาวคลื่น และระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จะพิจารณาตามหลักของ Friis Transmission Equation ดังสมการที่ (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_R = P_T \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_T G_R \quad (2.1)$$

เมื่อ P_R คือ กำลังงานส่ง (Transmitted power)

P_T คือ กำลังงานรับ (Received power)

R คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ

λ คือ ความยาวคลื่น (Wavelength)

G_T คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (Gain of the transmitting antenna)

G_R คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (Gain of the receiving antenna)

G คือ วัดจากความสัมพันธ์ของสายอากาศแบบไอโซโทรปิก [dBi]

2.4.2 การดูดซับ (Absorption)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่เกิดการดูดซับพลังงานเฉพาะการส่งผ่านสูญญากาศเท่านั้นถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดการสูญเสียกำลังงาน และกำลังงานเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบอื่น กระบวนการนี้เรียกว่า การลดทอน (Attenuation) การดูดซับกำหนดโดยส่วนจินตภาพของ Refractive index $n = \sqrt{\epsilon_r}$ ค่าสัมบูรณ์ของความเข้มสนามจะลดลงตามส่วนของการเดินทาง ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ๆ ขึ้นอยู่กับสองพารามิเตอร์ คือ ระยะทางใด ๆ จากแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ และคุณสมบัติของสื่อที่ใช้ในการส่งคลื่น การลดทอนของคลื่นสามารถคำนวณโดยอ้างอิงจากอัตราส่วนระหว่าง ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดกับความเข้มสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ๆ ที่เราสนใจ หลังจากทีคลื่นได้ถูกส่งผ่านทางสื่อการส่งแล้ว การลดทอนของคลื่นที่ขึ้นอยู่กับระยะทางกำหนดดังสมการที่ (2.2)

$$A[dB] = 20 \log \left[\frac{E(0)}{E(x)} \right] \quad (2.2)$$

การสูญเสียในอากาศว่างที่ระยะ d ไต ๆ ดังสมการที่ (2.3)

$$a_0[dB] = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda} \quad (2.3)$$

วัสดุที่เป็นสารไดอิเล็กตริก (Dielectric) อย่างเช่น กระจกแข็ง กระจกใส ไม้แห้ง พลาสติกแบบ Nonconductive จะไม่เกิดการดูดซับและจะมีค่า Refractive indices $\epsilon_r \approx 2$ ถึง 4 ในย่านความถี่ 900 MHz

ส่วนโลหะ คลื่นจะสะท้อนกลับเมื่อตกกระทบผิวโลหะ ส่วนน้ำที่มี Dielectric constant ประมาณ 80 จะสะท้อนคลื่นเกือบทั้งหมด สารไดอิเล็กตริกนั้นมักจะมีผลกระทบในย่านความถี่ UHF RFID และการส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นที่ระยะ Far field ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า D ขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้า E และสภาพยอมการดูดซับไฟฟ้าของสื่อที่ใช้ส่ง (ϵ) ดังสมการที่ (2.4)

$$D = \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon_R E \quad (2.4)$$

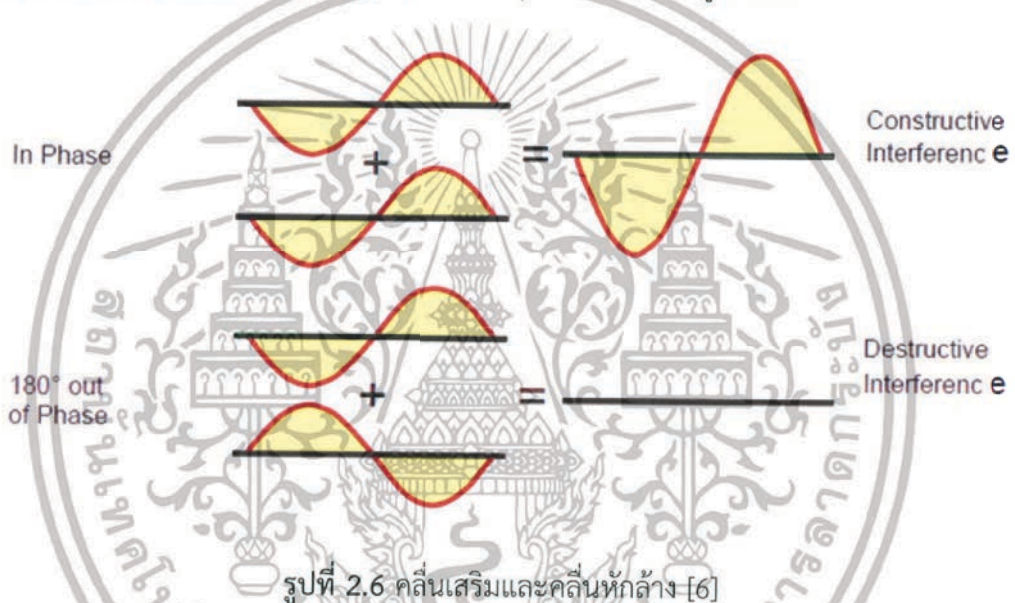
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ϵ_0 คือ สภาพยอมของสุญญากาศ

ϵ_R คือ สภาพยอมของสื่อในการส่ง Label antenna สามารถประยุกต์ ใช้กับวัสดุที่มีค่าไดอิเล็กทริกสูง ๆ เพื่อที่จะจัดการกับสองผลกระทบคือคลื่นตกกระทบและการดูดซับ เพื่อที่จะให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

2.4.3 การสะท้อน (Reflection)

การสะท้อนแบบสมบูรณ์เมื่อคลื่นเดินทางจะเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน และท่อนำคลื่น ถือเป็นตัวอย่างของอุปกรณ์ที่เกิดการสะท้อนแบบสมบูรณ์โดยคลื่นหลาย ๆ เส้นทางจะเกิดการรวมกันหรือการหักล้างกัน ซึ่งเหตุการณ์นี้เราไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในการออกแบบ RFID ในย่าน UHF การสะท้อนคลื่นเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือการสะท้อนโดยตรงจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวปกติ และการสะท้อนแบบกระจายของคลื่นจะเกิดบริเวณพื้นผิวขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 คลื่นเสริมและคลื่นหักล้าง [6]

2.5 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ (Fundamental Antenna Parameters)

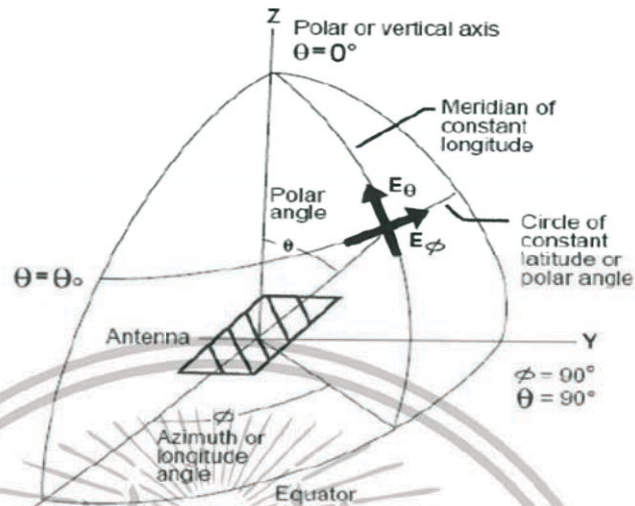
พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ ประกอบด้วย รูปแบบการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) บริเวณสนาม (Field Regions) ความต้านทานขาเข้า (Input impedance) ความต้านทานการแผ่คลื่น (Radiation Resistance) ประสิทธิภาพ (Efficiency) และแบนด์วิดท์ (Bandwidth)

2.5.1 รูปแบบการแผ่พลังงาน

รูปแบบการคุณลักษณะเอาท์พุทของสายอากาศสามารถอธิบายได้โดยแบบรูปการแผ่พลังงานซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์การกระจายแบบรูปการแผ่พลังงานในฟังก์ชันทิศทางในอากาศ แบบรูปการแผ่พลังงานมักจะมีการแสดงให้เห็นเป็น 3 ระนาบ สองระนาบที่สำคัญคือระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบแผ่พลังงานของสายอากาศกำหนดโดยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ (Mathematical function) ของ การแสดงรูปภาพของคุณสมบัติการแผ่คลื่นของสายอากาศในฟังก์ชันพื้นที่พิกัดสนามแม่เหล็ก (H-plane) ระนาบแรกคือแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสูงสุด ระบายต่อมาคือส่วนที่เป็นสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงสุด และระบายนี้จะเป็นระบายที่เป็นค่าเจาะจงทิศทางสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปแบบการแผ่กำลังงาน [7]

2.5.2 บริเวณสนาม

โดยทั่วไปพื้นที่การแผ่กำลังงานรอบๆสายอากาศ จะถูกแบ่งออกเป็นสามพื้นที่ที่ต่างกัน คือ Reactive near field, Radiating near field (Fresnel) และ Far field (Fraunhofer) ขึ้นอยู่กับ การออกแบบรูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศโดยที่ D คือส่วนที่กว้างที่สุดของสายอากาศ และ R คือระยะทางของบริเวณต่างๆ

1) สนามระยะใกล้รีแอกทีฟ (Reactive Near Field Region) บริเวณนี้จะเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้และอยู่รอบสายอากาศมากที่สุด โดยสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะเป็นสนามรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่ โดยไม่ว่าจะเป็นสายอากาศแบบใดก็ตาม เราจะสมมติให้บริเวณที่อยู่ล้อมรอบสายอากาศนั้นๆ มีรูปร่างเป็นวงกลมโดยมีสายอากาศเป็นจุดศูนย์กลาง ซึ่งรัศมีของบริเวณสนามระยะใกล้รีแอกทีฟ (Reactive Near Field Region) กำหนดให้มีค่าดังสมการที่ (2.5)

$$R_1 \leq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.5)$$

2) สนามระยะใกล้เฟรสเนล (Radiating near field region หรือ Fresnel) บริเวณสนามระยะใกล้ที่มีการแผ่กระจายจะเป็นบริเวณที่อยู่ตรงกลางระหว่างบริเวณสนามระยะใกล้ รีแอกทีฟและบริเวณสนามระยะไกล บางครั้งอาจเรียกว่าบริเวณเฟรสเนล (Fresnel region) โดยสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีการแผ่กระจายกำลังงานที่เป็นส่วนของจำนวนจริงเป็นส่วนใหญ่ แต่การแผ่กระจายของสนามเชิงมุม (Angular field) ยังคงขึ้นอยู่กับระยะทางที่ห่างออกไปจากสายอากาศด้วย ในการกำหนดพื้นที่บริเวณนี้จะกำหนดให้ระยะทางดังกล่าวเท่ากับหรือมากกว่าหนึ่ง ($kr \geq 1$) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศทุกชนิดจะถูกสมมติให้มีบริเวณ เฟรสเนลเป็นพื้นที่ที่อยู่ระหว่างวงกลมสองวงที่มีรัศมีหรือระยะทางต่างกันคำนวณโดยใช้สมการที่ (2.6)

$$0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R_2 \leq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.6)$$

3) สนามระยะไกล (Far field region) สำหรับบริเวณสนามระยะไกลนั้นจะเป็นบริเวณที่อยู่ในพื้นที่วงกลมวงนอกสุดที่ถัดออกไปจากบริเวณเฟรสเนล บางครั้งเรียกว่าบริเวณฟรานโฮเฟอร์ (Fraunhofer Region) การพิจารณาสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะกำหนดให้เทอมของระยะทาง ($1/r$) มีค่ามากกว่าหนึ่งมากๆ ($br \gg 1$) ค่าตอบของสนามที่ได้จะไม่มืองค์ประกอบของสนามเชิงมุมเนื่องจากในเงื่อนไขของสนามระยะไกลนี้องค์ประกอบของสนามเชิงมุมดังกล่าวจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสายอากาศไปยังจุดสังเกตใดๆทั้งสิ้น องค์ประกอบของสนามที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นตัดขวางกับทิศทางการเดินทาง (Transverse Electromagnetic Wave; TEM Wave) ทำให้สามารถนำมาพล็อตเพื่อหาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ที่เกิดขึ้นจริงจากสายอากาศใด ๆ ที่ต้องการได้ โดยระยะของสนามระยะไกลของสายอากาศทุกชนิดจะถูกกำหนดดังสมการที่ (2.7)

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.7)$$

2.5.3 ความต้านทานขาเข้า

ความต้านทานขาเข้าคือพารามิเตอร์ที่อธิบายถึงพฤติกรรมในส่วนของวงจร โดยปกติแล้วในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำคัญมากที่ทำการแมตซ์ความต้านทานขาเข้า ($Z_{antenna}$) เพื่อที่จะให้แก่วงจรความต้านทานแหล่งจ่าย ในส่วนของคุณสมบัติของ RFID โดยปกติแล้วความต้านทานของชิป (Z_{chip}) ที่จะส่งกำลังงานสูงสุดจากแหล่งจ่ายไปยังสายอากาศจะต้องเป็นสังยุคของจำนวนเชิงซ้อนของชิป

ในทางปฏิบัติแล้ว การแมตซ์ที่ดีกำลังงานที่สะท้อนกลับต้องมีค่าน้อยๆ ในการเชื่อมต่อระหว่างชิปกับสายอากาศ การสะท้อนกลับจะมีผลอย่างมากในการถ่ายโอนกำลังงานสูงสุด ในการใช้ UHF RFID IC จะมีกำลังงานที่น้อยมากในการออกแบบ ดังนั้นการแมตซ์จึงมีความสำคัญอย่างมากในการที่จะทำให้ชิปมีระยะการอ่านที่ดี

2.5.4 ความต้านทานการแผ่คลื่น

ความต้านทานการแผ่คลื่นของสายอากาศจะเท่ากับความต้านทานที่หายไป เหมือนกับผลรวมของกำลังงานการแผ่คลื่น เมื่อกระแสของความต้านทานนี้เท่ากับกระแสที่เข้ามาในสายอากาศ

ความต้านทานรวมของสายอากาศ ($R_{antenna}$) สามารถแยกออกเป็นวงจรสองส่วนที่อนุกรมกันในความต้านทานที่แตกต่างกันดังสมการที่ (2.8)

$$R_{antenna} = R_{rad} + R_{loss} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R_{rad} คือ ความต้านทานการแผ่คลื่น

R_{loss} คือ ความต้านทานที่สูญเสียไปเนื่องจาก Non perfect conductors และ วัสดุที่ใช้ทำ Substrate

2.5.5 ประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพของสายอากาศคำนึงถึงผลกระทบของการสูญเสียเพิ่มเติม ซึ่งการเกิดขึ้นของการสูญเสียที่ทางด้านขาเข้าหรือภายในโครงสร้างของสายอากาศ

ประสิทธิภาพ คือ อัตราร้อยละของกำลังงานที่ถูกส่งไปในสายอากาศ ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการดูดซับหรือการสะท้อน

สำหรับสายอากาศในอุดมคติ คือสายอากาศที่ไม่เกิดการสูญเสีย อัตราขยายจะเท่ากับกำลังงานที่ถูกส่งมาหลักการนี้สามารถกำหนดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ (การไม่แมตช์ระหว่างไอซีซีกับสายอากาศ) การเหนี่ยวนำหรือการสูญเสียไดอิเล็กตริก

2.5.6 แบนด์วิดท์ และค่า Q

แบนด์วิดท์สามารถกำหนดความกว้างของความถี่ ทั้งสองข้างจากความถี่กลาง (ตัวอย่างเช่น ความถี่ Resonance ของสายอากาศไดโพล) ที่ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศ เช่น ความต้านทานขาเข้า, แบบรูปการแผ่กำลังงาน, ความกว้างลำคลื่น (Beam width) โพลาริเซชัน (Polarization) ระดับโพลบข้าง (Side lobe level) ทิศทางลำคลื่น (Beam direction) ประสิทธิภาพการแผ่คลื่น (Radiation efficiency) ภายในสามารถยอมรับได้ที่ความถี่กลางสายอากาศจะทำหน้าที่เก็บพลังงาน (ความจุไฟฟ้า) แล้วเปลี่ยนเป็นกระแส (ด้วยการเหนี่ยวนำ หรือ Inductance) และแผ่กำลังงานออกไปในอากาศเป็นตัวต้านทาน (Resistance) ดังนั้นเราจะเขียนวงจร RLC โดยการกำหนดวงจรซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายอากาศสำหรับสายอากาศไดโพลที่สั้นเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นจะเป็นเหมือนการรวมแบบอนุกรมของ ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุกับค่าความต้านทานบางตัว โดยทั่วไปแล้วค่าความเหนี่ยวนำและความจุจะขึ้นกับความยาวไดโพล และแบนด์วิดท์จะเป็นส่วนกลับของ Q factor ซึ่งสามารถหาอัตราส่วนของผลรวมรีแอกแตนซ์กับตัวต้านทาน สำหรับวงจรอนุกรมทั่ว ๆ ไป Q มีค่าประมาณสองเท่าของการขยายแรงดัน ดังนั้นการขยายแรงดันจะต้องมีการแลกเปลี่ยนกับค่าของแบนด์วิดท์สำหรับสายอากาศที่มีความต้านทานมาก ๆ (นั่นคือ ค่าของการเหนี่ยวนำมาก และ ค่าของตัวเก็บประจุน้อย ๆ) และค่าความต้านทานน้อย ๆ สามารถปรับให้แมตช์กับความถี่ของแท็กได้ด้วยการถ่ายโอนกำลังงานสูงสุด และการเพิ่มแรงดันแต่คุณสมบัติจะลดลงเมื่อใช้กับความถี่อื่น ๆ สายอากาศที่มีความต้านทานน้อย ๆ จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าในความถี่นั้น ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์และ Q หาได้จากสมการที่ (2.9)

$$BW \approx \frac{1}{Q} \quad (2.9)$$

2.6 วงจรไฟฟ้าสมมูล (Electrical equivalent circuits)

สำหรับการออกแบบสายอากาศ UHF เป็นสิ่งที่จำเป็นในการตรวจสอบความต้านทานส่วนต่าง ๆ ของระบบ หมายถึงการประกอบกันระหว่างไอซีซีและแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การแมตช์ (Matching)

ความต้านทานขาเข้าคือพารามิเตอร์ที่อธิบายถึงพฤติกรรมในส่วนของวงจร โดยปกติแล้วในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำคัญมากที่ทำการแมตช์ความต้านทานขาเข้า ($Z_{antenna}$) เพื่อที่จะให้แก่วงจรแหล่งจ่าย ในส่วนของคุณสมบัติของ RFID โดยปกติแล้วความต้านทานของไอซีชิป (Z_{chip}) ที่จะส่งกำลังงานสูงสุดจากแหล่งจ่ายไปยังสายอากาศจะต้องเป็นสังยุคของจำนวนเชิงซ้อนของไอซีชิปดังสมการที่ (2.10)

$$Z_{antenna} = Z_{chip}^* \quad (2.10)$$

ในส่วนของความต้านทานส่วนจริงจะเป็นดังสมการที่ (2.11) และ (2.12)

$$R_{antenna} = R_{chip} \quad (2.11)$$

$$X_{antenna} = -X_{chip} \quad (2.12)$$

สำหรับการออกแบบสายอากาศที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำการแมตช์ส่วนจริงและการสังยุคส่วนจินตภาพในส่วนของความต้านทานแหล่งกำเนิด หลักการนี้คำนึงถึงความต้านทานของไอซีชิปและความต้านทานรวมของแท็ก ถ้าเราสมมติว่าความต้านทานตัวประกอบสังยุคระหว่างสายอากาศกับชิปสายอากาศได้รับกำลังงานสูงสุดดังสมการที่ (2.13)

$$P_{antenna,max} = \frac{V_{antenna}^2}{4R_{antenna}} \quad (2.13)$$

เมื่อ $V_{antenna}$ คือ แรงดันที่กำเนิดโดยแท็กที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ
 $R_{antenna}$ คือ ความต้านทานของแท็ก

การที่จะหากำลังงานของแท็กที่จุดใด ๆ ได้ดังสมการที่ (2.14) ถึง (2.16)

$$P_{tag} = A_{tag}S \quad (2.14)$$

เมื่อ A_{tag} คือ พื้นที่ที่รับได้ของสายอากาศตามสเปกของเครื่องอ่าน
 S คือ ความหนาแน่นกำลังงาน

$$A_{tag} = \frac{\lambda_0^2}{4\pi} \cdot G_{tag} \quad (2.15)$$

เมื่อ λ_0 คือ ความยาวคลื่น
 G_{tag} คือ อัตราขยายของแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \frac{P_{reader} \cdot G_{reader}}{4\pi D^2} \quad (2.16)$$

เมื่อ P_{reader} คือ กำลังงานของเครื่องอ่าน
 G_{reader} คือ อัตราขยายสายอากาศของเครื่องอ่าน
 D คือ ระยะทางสูงสุดระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน

การหากำลังงานรวมที่แท็กได้รับประกอบด้วยสามส่วน ดังสมการที่ (2.17)

$$P_{Tot} = P_{chip} + P_{loss} + P_{antenna} \quad (2.17)$$

ประสิทธิภาพของไอซีชิปหาได้จากสมการ (2.18)

$$\eta_{chip} = \frac{P_{chip}}{P_{Tot}} = \frac{P_{chip}}{P_{chip} + P_{loss} + P_{antenna}} \quad (2.18)$$

2.8 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient)

การเกิดสัมประสิทธิ์การสะท้อนโดยเฉพะในความถี่สูงๆอย่างเช่นความถี่ย่าน UHF การไม่แมตช์ ระหว่างแหล่งกำเนิดกับโหลดถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) พื้นฐานของทฤษฎีสายนำสัญญาณสัมประสิทธิ์การสะท้อนกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่างคลื่นสะท้อนกับคลื่นตกกระทบ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นตัวที่จะใช้วัดคุณภาพการแมตช์ระหว่างแหล่งกำเนิดกับความต้านทานของโหลดดังสมการที่ (2.19)

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (2.19)$$

เมื่อ Z คือ ความต้านทานที่ได้จากการวัด
 Z_0 คือ Normalizing impedance

โดยส่วนมากส่วนจินตภาพของ Z_0 มักจะมีค่าเป็นศูนย์ และส่วนจริงจะถูกกำหนดไว้ดังสมการ (2.20)

$$\Gamma = \frac{Z - R_0}{Z + R_0} \quad (2.20)$$

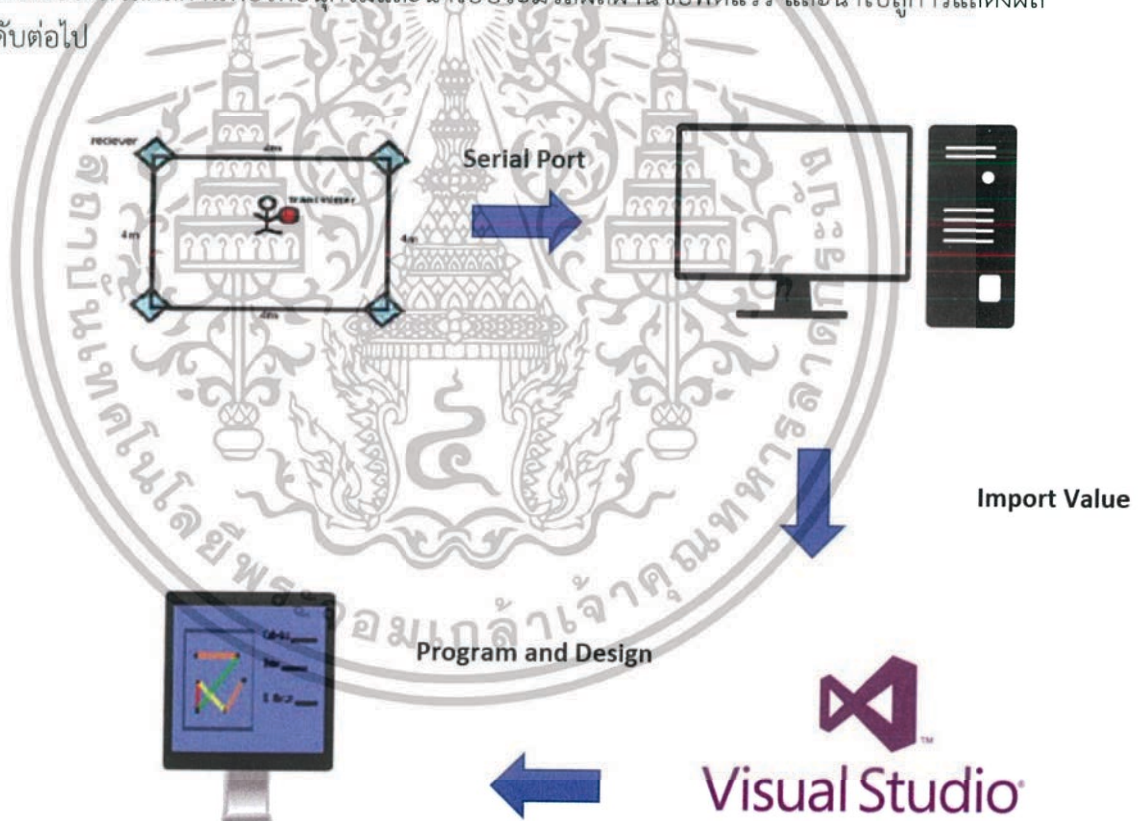
บทที่ 3

ออกแบบการทดลอง และบล็อกไดอะแกรม

ในบทที่จะกล่าวถึง การออกแบบอุปกรณ์การวัดในการระบุตำแหน่ง การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำเครื่องมือวัดนี้ รวมไปถึงการดำเนินงานในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านการวัด การประมวลผลของซอฟต์แวร์และการแสดงผล ซึ่งได้มีการจัดทำแผนภูมิแสดงการทำงาน (Flow chart) เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงานในการแสดงผลของโปรแกรมในคอมพิวเตอร์อีกด้วย

3.1 องค์ประกอบ และการทำงานโดยรวมของระบบ

จากภาพการออกแบบโดยรวมของระบบดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าสามารถแยกออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ คือ อุปกรณ์สำหรับการวัด ส่วนอุปกรณ์ประมวลผล ซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผล และหน้าจอแสดงผล โดยการทำงานรวมของระบบ คือ อุปกรณ์สำหรับการวัดจะส่งค่าไปยังอุปกรณ์ประมวลผลผ่านพอร์ตอนุกรมและนำไปประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ และนำไปสู่การแสดงผลในลำดับต่อไป



รูปที่ 3.1 การออกแบบการทำงานโดยรวมของระบบ

3.2 รายละเอียดการออกแบบส่วนต่าง ๆ ของระบบ

ในส่วนของรายละเอียดในการออกแบบ จะสามารถแบ่งออกได้ทั้งหมด 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ และส่วนของซอฟต์แวร์

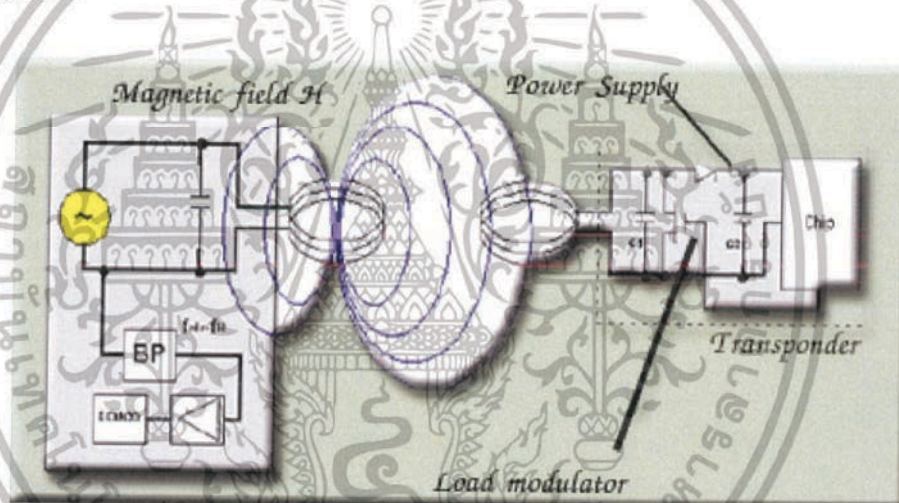
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์นั้น สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนของอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณจากการวัด ส่วนของการประมวลผลและส่วนแสดงผล

3.2.1.1 ส่วนของอุปกรณ์รับและส่งค่าสัญญาณจากการวัด

สำหรับอุปกรณ์รับค่าสัญญาณจากการวัดจะถูกติดตั้งไว้ที่มุมของสนามที่จะใช้งานทั้ง 4 มุม และตัวส่งสัญญาณจะถูกติดตั้งไว้ที่ข้อมือของผู้ใช้งาน โดยการหลักการทำงาน คือ ทำการส่งข้อมูลก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่าน และเครื่องบอกตำแหน่งหรือเบคอน (Beacon) ซึ่งสัญญาณจะถูกปล่อยออกมาเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลา เมื่อมีตัวส่งสัญญาณเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวส่งสัญญาณจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ ตัวส่งสัญญาณเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในตัวส่งสัญญาณ ตัวรับสัญญาณจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงหลักการส่วนของอุปกรณ์รับและส่งค่าสัญญาณจากการวัด [8]

3.2.1.2 ส่วนของการประมวลผล

ในส่วนของการประมวลผลนี้ จะนำผลที่ได้จากชุดอุปกรณ์การวัดสัญญาณเข้าส่วนประมวลผล โดยนำค่าที่ออกจากตัวรับสัญญาณมาเข้าช่องเชื่อมต่อแบบอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ส่วนตัวที่ไดลงไดร์เวอร์ CP210x_Universal_Windows_Driver และทำการวัดค่าสัญญาณ เพื่อนำไปแสดงค่าตามตารางผลการทดลองในบทถัดไป

3.2.1.3 ส่วนของการแสดงผล

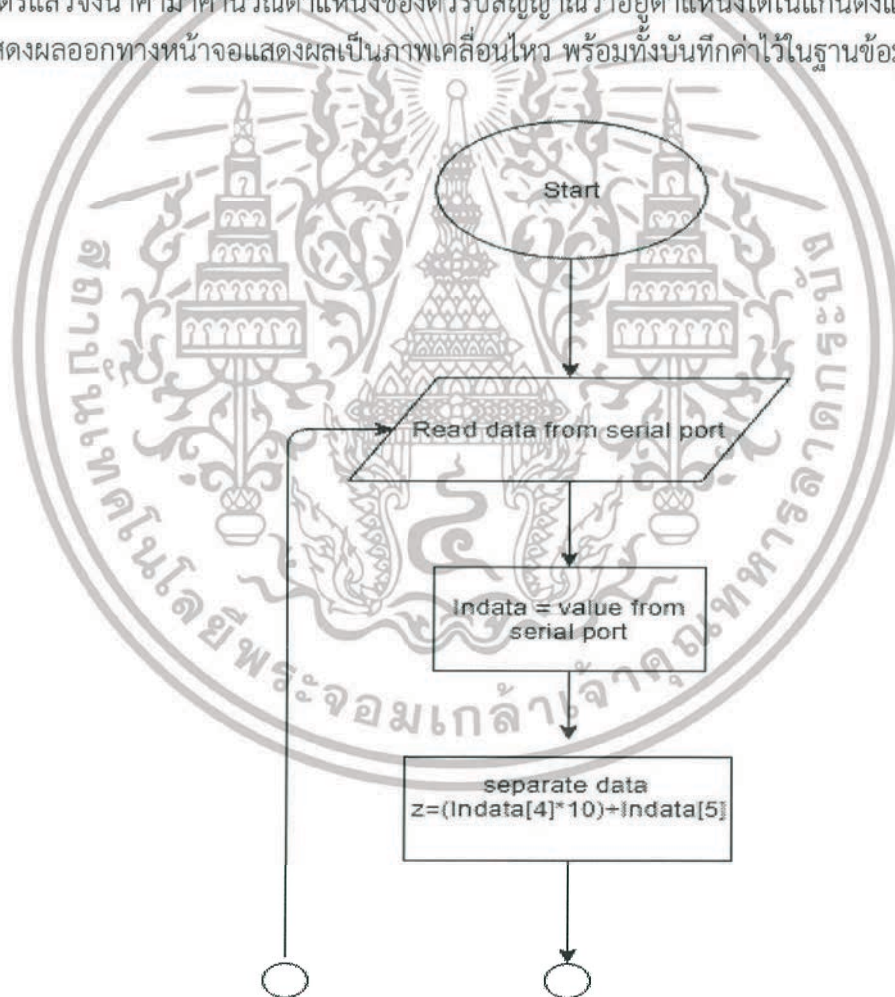
ในส่วนของการแสดงผล จะนำผลที่ได้จากการประมวลผลของระยะห่างของเครื่องรับและส่งสัญญาณและคำนวณหาตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณไปแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.2.2 การออกแบบส่วนซอฟต์แวร์

ส่วนซอฟต์แวร์นั้นจะเกี่ยวข้องกับชุดคำสั่งของระบบ ซึ่งเป็นส่วนของการรับข้อมูลมาจากชุดอุปกรณ์รับและส่งคำสั่งสัญญาณจากการวัดเพื่อนำไปแสดงผลต่อไป

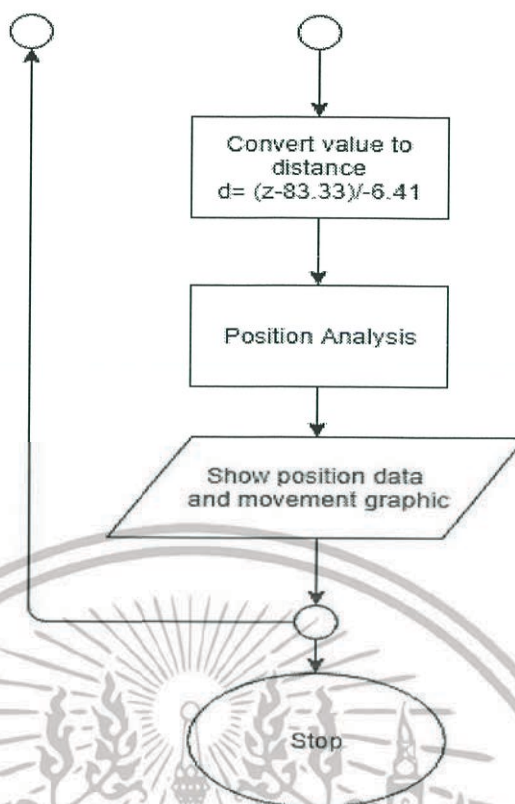
3.2.2.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงาน

จากรูปที่ 3.3 เป็นแผนภูมิแสดงการรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์การวัดเข้าสู่หน่วยประมวลผลหรือคอมพิวเตอร์ และทำการแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผล เริ่มต้นด้วยการรับค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวรับสัญญาณทุก ๆ 3 วินาทีมาเก็บค่าในตัวแปรหนึ่ง แล้วทำการแปลงข้อมูลจากชนิด Character มาเป็น Integer เฉพาะหลักที่ 5 และ 6 นั่นคือค่าสัญญาณที่เป็นตัวเลขแสดงความเข้มสัญญาณระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณ แล้วจึงทำการแปลงค่าสัญญาณเป็นระยะห่างระหว่างตัวรับและส่งสัญญาณในหน่วยเมตร หลังจากได้ระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณที่มีหน่วยเป็นเมตรแล้วจึงนำค่ามาคำนวณตำแหน่งของตัวรับสัญญาณว่าอยู่ตำแหน่งใดในแกนตั้งและแกนนอน และแสดงผลออกทางหน้าจอแสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหว พร้อมทั้งบันทึกค่าไว้ในฐานข้อมูล



รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 (ต่อ)

3.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของการใช้งาน โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 5 เงื่อนไข คือ การทดสอบในเงื่อนไขสถานที่ต่าง ๆ การทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้าที่มุมต่าง ๆ จากขอบสนาม ทรานสมิตเตอร์ติดไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุมต่าง ๆ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการทดลอง การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมและเครื่องมือในสถานที่จริง

3.3.1 การทดสอบในเงื่อนไขสถานที่ต่างๆ

การทดสอบเครื่องมือได้มีการออกแบบประกอบด้วย 4 สถานที่ โดยแบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขได้แก่ 1. สถานที่ปิด คือ โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์ และห้องกิจกรรมนักศึกษา 2. สถานที่เปิด คือ หน้าภาควิศวกรรมการวัดคุม และลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น การทดสอบเครื่องมือได้มีการออกแบบประกอบด้วย 4 สถานที่ โดยแบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขได้แก่ 1. สถานที่ปิด คือ โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นสถานที่ที่ล้อมรอบด้วยกำแพงทั้งสี่ด้าน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ความกว้าง 30 เมตร ความยาว 50 เมตร ความสูง 4 เมตร และ ห้องกิจกรรมนักศึกษา เป็นสถานที่ที่ล้อมรอบด้วยกำแพงทั้งสี่ด้าน และมีสิ่งกีดขวาง ความกว้าง 10 เมตร ความยาว 20 เมตร สูง 3 เมตร 2. สถานที่เปิด คือ หน้าภาควิศวกรรมการวัดคุม เป็นสถานที่เปิดโล่ง มีสิ่งกีดขวาง ความกว้าง 15 เมตร ความยาว 40 เมตร และ ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น เป็นสถานที่เปิดโล่ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ความกว้าง 25 เมตร ความยาว 50 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ถึง 3.7 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 สถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)



รูปที่ 3.5 สถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 สถานที่เปิด (หน้าภาควิชาวิศวกรรมวัดคุม)



รูปที่ 3.7 สถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้าที่มุมต่างๆจากขอบสนาม

ทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้า ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับได้แก่ ระดับพื้น ระดับสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร และระดับสูงจากพื้น 100 เซนติเมตร แต่ละระดับความสูงแบ่งออกเป็น 3 มุม คือ 45 องศา 90 องศา และ 135 องศา ดังรูปที่ 3.8 ถึง 3.10 ตามลำดับ

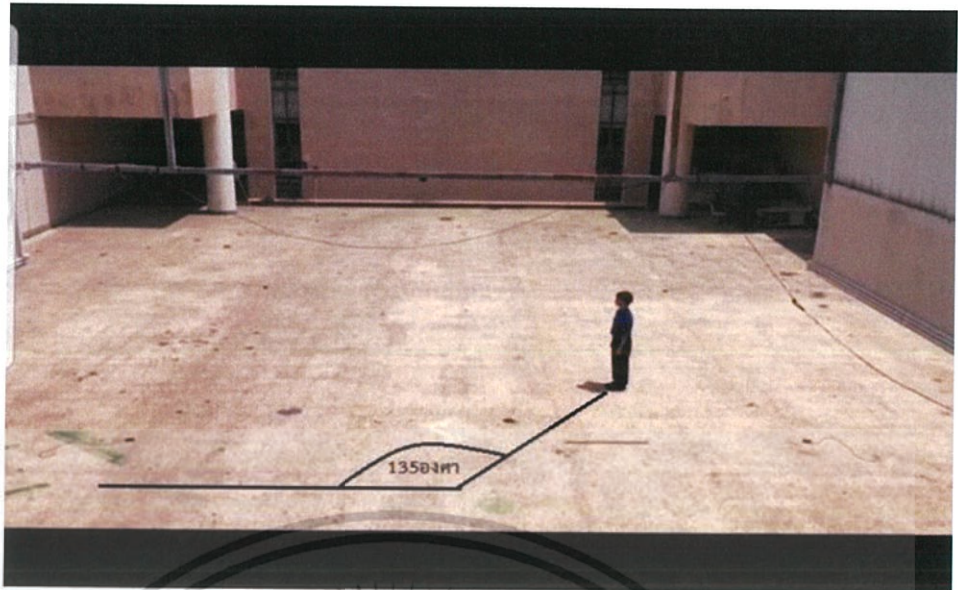


รูปที่ 3.8 ทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้าที่มุม 45 องศา



รูปที่ 3.9 ทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้าที่มุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้าที่มีมุม 135 องศา

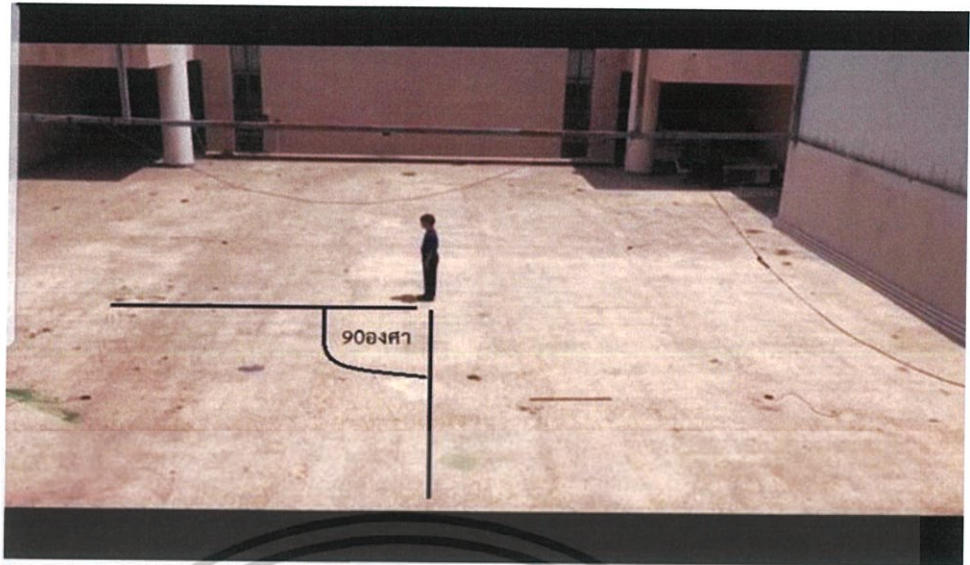
3.3.3 ทรานสมิตเตอร์ติดไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุมต่างๆ

ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองแล้วให้ผู้ทำการทดลองหันหน้าไปที่มีมุมต่างๆที่ความสูงต่างกัน 2 ความสูงได้แก่ ระดับสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร และระดับสูงจากพื้น 100 เซนติเมตร แต่ละความสูงแบ่งออกเป็น 4 มุม คือ 45 องศา 90 องศา 135 องศา และ 180 องศา ดังรูปที่ 3.11 ถึง 3.14 ตามลำดับ

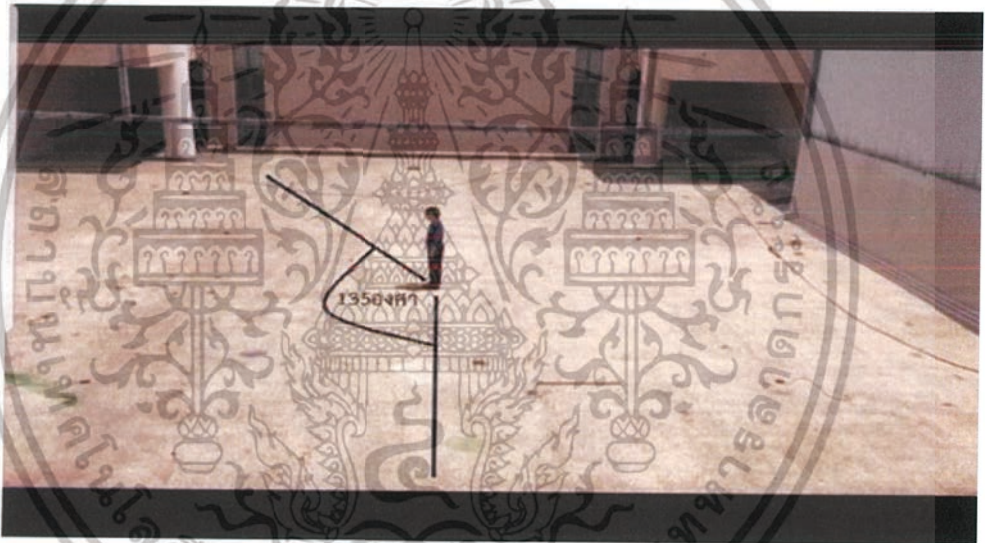


รูปที่ 3.11 ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองซึ่งหันหน้าไปที่มีมุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

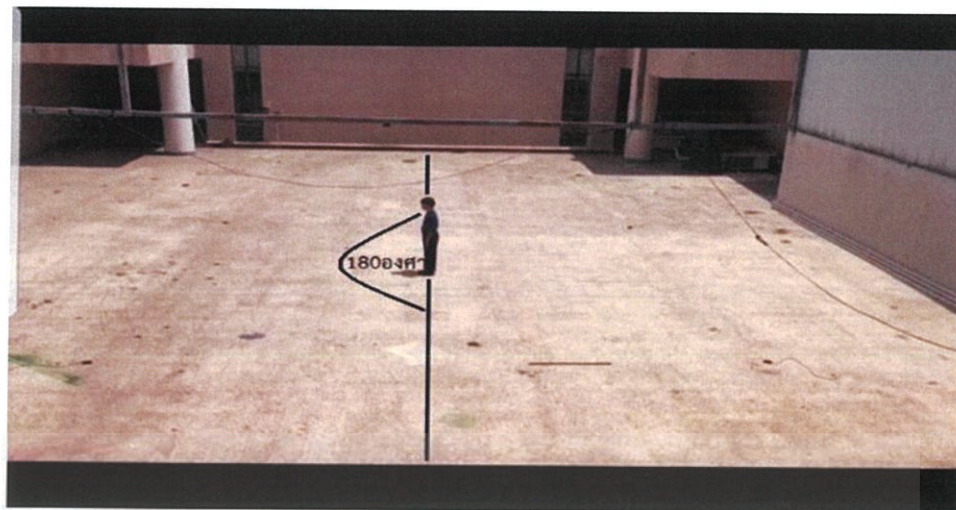


รูปที่ 3.12 ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองซึ่งหันหน้าไปที่มุม 90 องศา



รูปที่ 3.13 ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองซึ่งหันหน้าไปที่มุม 135 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ทดสอบโดยติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าของผู้ทดลองซึ่งหันหน้าไปมุม 180 องศา

3.3.4 ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการทดลอง

การทดสอบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลการทดลองในที่นี้จะกำหนดเป็นเงื่อนไขที่มีความซับซ้อนว่ามีผลกระทบต่อความเข้มข้นสัญญาณหรือไม่

3.3.5 การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมและเครื่องมือในสถานที่จริง

การทดสอบโปรแกรมที่แสดงระยะห่างระหว่างตัวรับและส่งสัญญาณ พร้อมทั้งการระบุตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณตามแนวแกนตั้งและแกนนอน ภายใต้เงื่อนไขขนาดของสนามที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1. ความยาว 2 เมตร และความกว้าง 2 เมตร, 2. ความยาว 4 เมตร และความกว้าง 4 เมตร และ 3. ความยาว 8 เมตร และความกว้าง 8 เมตร

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทความนี้กล่าวถึงผลของการตรวจวัดค่าความแม่นยำของเครื่องมือได้แก่ Transmitter และ Receiver ในสถานที่ต่างๆ เงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง ปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องมือ และการนำเครื่องมือและโปรแกรมไปทดลองในสถานที่จริง

4.1 การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และ รีซีฟเวอร์ในสถานที่ต่างๆ

การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และ รีซีฟเวอร์ในสถานที่ต่างๆแบ่งเป็น 4 สถานที่ โดยแบ่งเป็น 2 เงื่อนไขคือ สถานที่ปิด ได้แก่ โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องกิจกรรมนักศึกษา และสถานที่เปิด ได้แก่ อาคารวิศวกรรมการวัดคุมและลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น โดยมีการวัดค่าความเข้มระยะทาง 8 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบ

4.1.1 ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)

ลักษณะสถานที่เป็นที่สถานที่ปิด ไม่มีสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.8	78	76.4	76.8	76.8	77.36
2	71.2	71.2	71	69.6	70.6	70.72
3	72.8	71	70.8	68.8	69.2	70.52
4	64.2	65.4	65.8	65.8	63	64.84
5	63.8	56.6	66	55	66.2	61.52
6	63.6	64.8	64	63.8	66.4	64.52
7	67.8	64.2	68	65.4	65.8	66.24
8	68	67.6	66.2	64.8	67.6	66.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

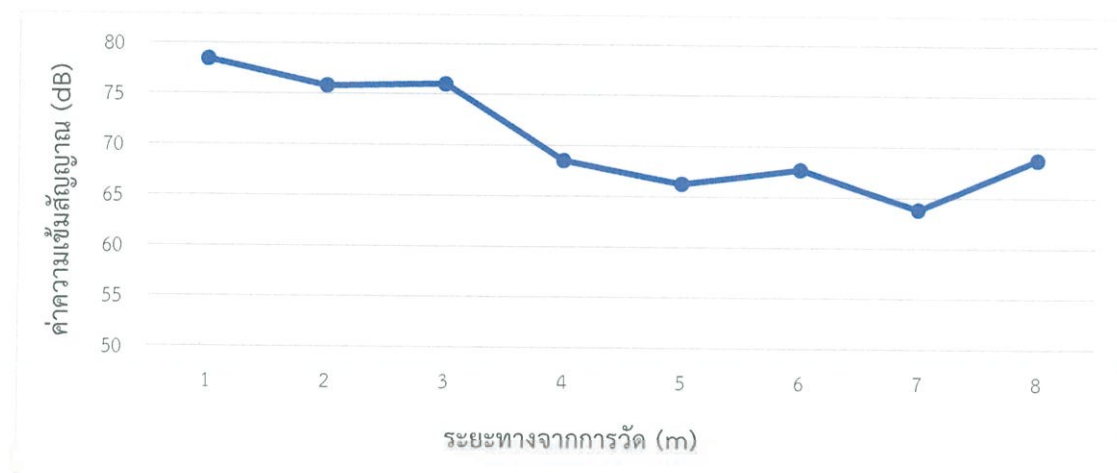
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	79	79	76.4	78.8	79	78.44
2	78	76.8	71	76	77.4	75.84
3	78	77	70.8	78.2	76.2	76.04
4	71	70	65.8	67.4	68.4	68.52
5	68.8	64.4	66	64.6	67.6	66.28
6	68	67.4	64	71.2	68	67.72
7	60	59.8	68	68.8	62.6	63.84
8	68.2	68.4	66.2	72.2	68.8	68.76



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 8 เมตรในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากเครื่องวัดของเครื่องที่ 1 เป็นค่าการวัดที่ระยะทางเส้นตรง 8 เมตร ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์) จะเห็นได้ว่าค่าไม่มีความเป็นเชิงเส้น และมีลักษณะเป็นพาราโบลา จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานต่อ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 8 เมตร ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์)

จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 เป็นค่าการวัดที่ระยะทางเส้นตรง 8 เมตร ในสถานที่ปิด (โรงยิมคณะวิศวกรรมศาสตร์) จะเห็นได้ว่าค่าไม่มีความเป็นเชิงเส้น และมีลักษณะเป็นพาราโบลา จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานต่อ

4.1.2 ในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)

ลักษณะสถานที่เป็นที่สถานที่ปิด มีสิ่งกีดขวางได้แก่ โต๊ะหนังสือ เก้าอี้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 ในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	77	75.6	76.6	76	76.64
2	75.8	76.6	72.2	66	73.2	72.76
3	72.6	72.6	67.8	72.6	72.8	71.68
4	69.4	66.2	61.4	63.2	64.8	65
5	66.4	59.8	60	58	63.2	61.48
6	62.2	66.8	64.6	67	63.8	64.88
7	64.6	64.8	67	65.2	59.4	64.2
8	65.2	60.8	63.8	61.8	58.6	62.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 ในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)

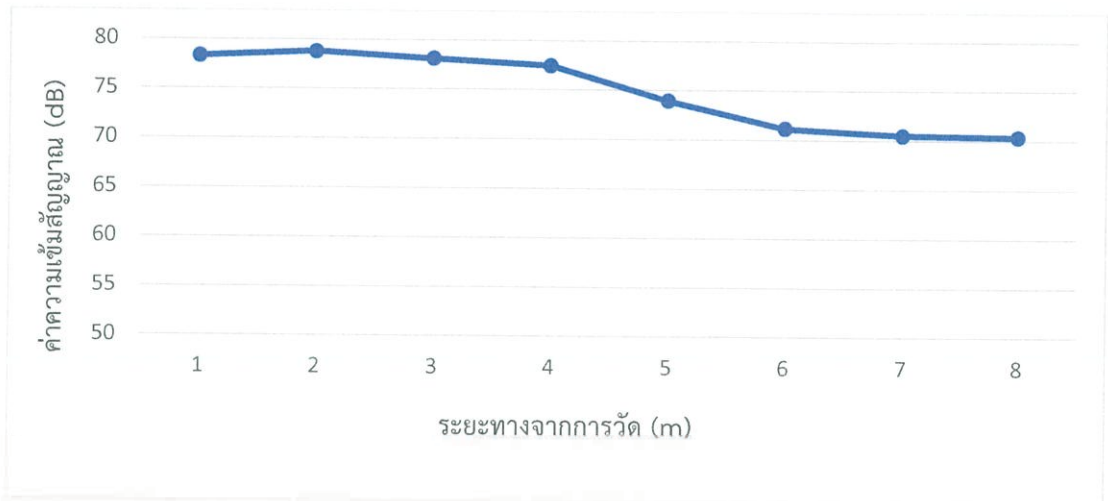
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	80.8	79.2	80	76.8	79.8	79.32
2	70.2	74.4	73.2	75	73.2	73.2
3	64.8	69.4	70.8	73.8	72.6	70.28
4	67.8	68.8	63.6	64.4	60.2	64.96
5	59.6	57.6	56	61.2	58.8	58.64
6	63.4	61.2	61	62.6	54.6	60.56
7	60.4	65	64.4	59.6	65.2	62.92
8	59	59.8	60.4	62	56.2	59.48



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 8 เมตร ในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)

จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากเครื่องวัดของเครื่องที่ 1 เป็นค่าการวัดที่ระยะทางเส้นตรง 8 เมตร ในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา) จะเห็นได้ว่าค่ามีความเป็นเชิงเส้น แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของแต่ละจุดของการวัดมีค่าน้อยมาก จึงไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 8 เมตรในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา)

จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 เป็นค่าการวัดที่ระยะทางเส้นตรง 8 เมตรในสถานที่ปิด (ห้องกิจกรรมนักศึกษา) จะเห็นได้ว่าค่ามีความเป็นเชิงเส้น แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของแต่ละจุดของการวัดมีค่าน้อยมาก จึงไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานต่อ

4.1.3 ในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)

ลักษณะสถานที่เป็นที่สวางที่เปิด มีสิ่งกีดขวางได้แก่ รถยนต์ โต๊ะหินอ่อน

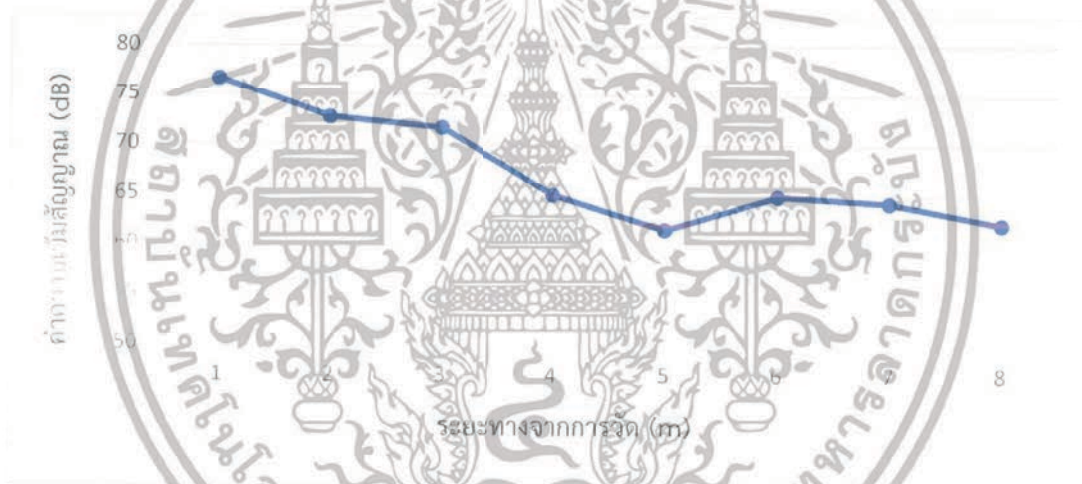
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 ในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.8	77.4	78.2	77.8	77	77.64
2	73.8	74.2	73.6	73.4	74	73.8
3	71.2	71	71.2	70.8	72	71.24
4	68.2	68.6	69	67.2	67.6	68.12
5	66	63.8	63.8	57.6	58.6	61.96
6	66.8	67.2	66	65.6	64.8	66.08
7	64.4	64.2	59.8	65.4	62.8	63.32
8	60.2	59.6	62	62.8	52.6	59.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 ในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)

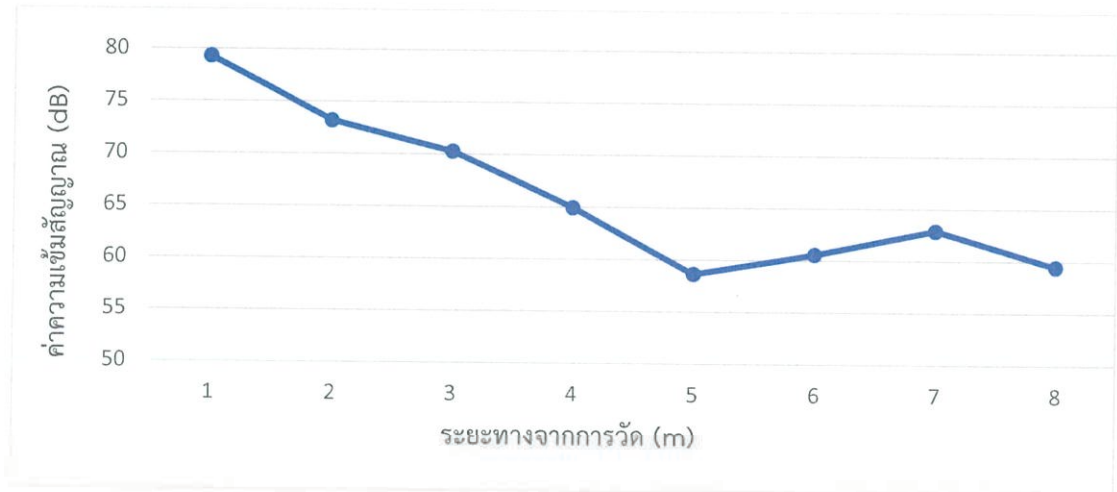
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.8	77	78	76.4	76.8	77.2
2	73.8	74	73.8	74	73	73.72
3	70.6	71	71.2	72	71.6	71.28
4	67.8	68.2	68	68	67.6	67.92
5	59.6	56.4	54.6	60	60.6	58.24
6	57	55	56.2	60.8	53	56.4
7	59.6	53.6	57.6	59	54.6	56.88
8	57	48.4	53.6	54.8	49	52.56



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)

จากรูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากเครื่องวัดของเครื่องที่ 1 เป็นค่าการวัดที่ระยะทางเส้นตรง 8 เมตรในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม) จะเห็นได้ว่าค่ามีความเป็นเชิงเส้นที่เครื่องที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม)

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 เป็นค่าการวัดที่ระยะทางเส้นตรง 8 เมตรในสถานที่เปิด (อาคารวิศวกรรมการวัดคุม) จะเห็นว่าเครื่องที่ 2 นั้นค่ามีความเป็นเชิงเส้น แต่อัตราการเปลี่ยนของแต่ละจุดของการวัดมีค่าต่างกัน จึงไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานต่อ

4.1.4 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

ลักษณะสถานที่เป็นที่สถานที่เปิด ไม่มีสิ่งกีดขวาง

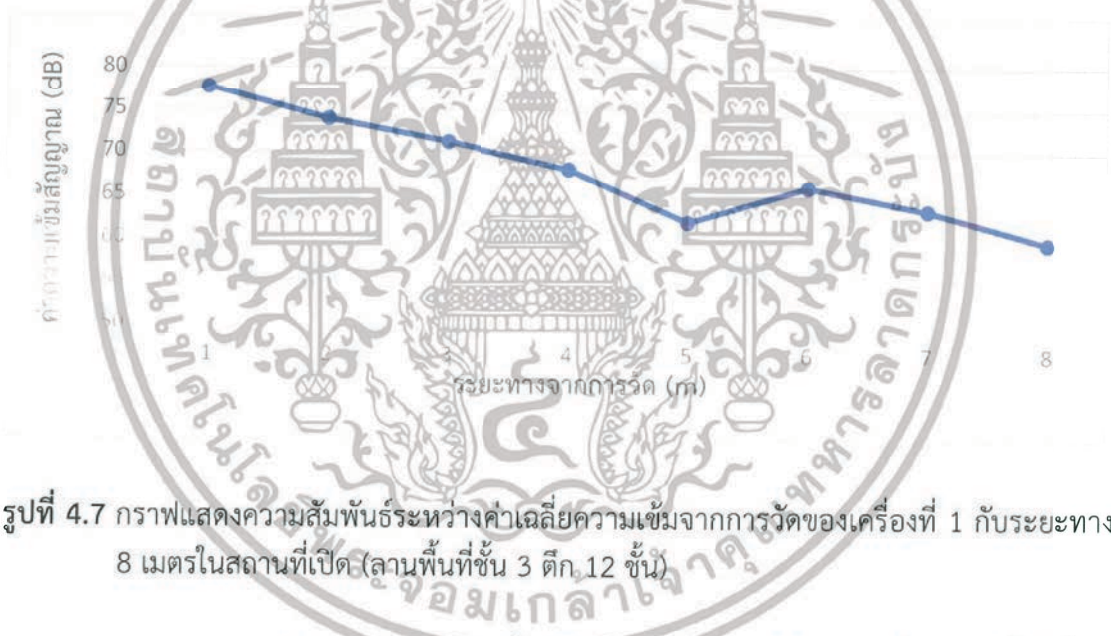
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	79.8	78.2	78.8	78.8	78	78.72
2	78.8	78.4	78.6	77.8	77.8	78.28
3	78.4	77.8	78.8	78	78.4	78.28
4	77.6	71.2	75	74.2	77.6	75.12
5	78	78.2	75.6	77	76.6	77.08
6	76	76.8	76.2	77	77.6	76.72
7	75	77.8	69.2	75.2	76.6	74.76
8	77	72.6	76.6	72.8	75.4	74.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

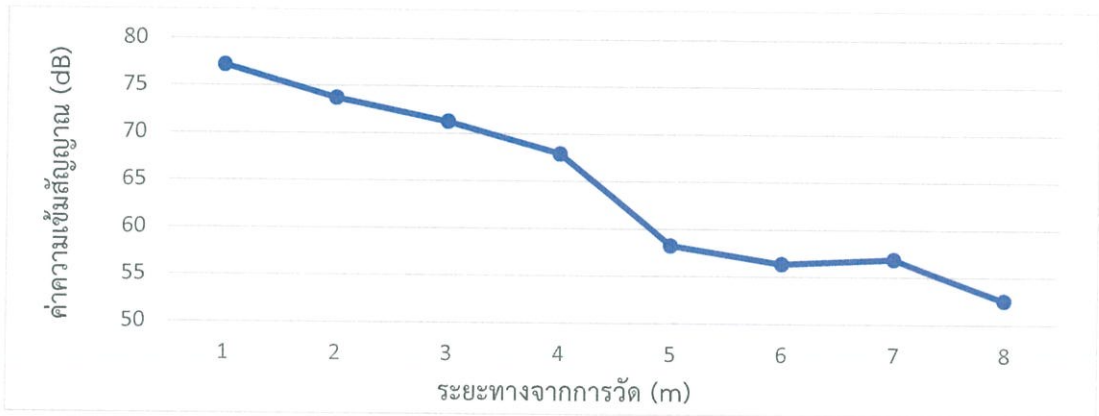
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	79	77.6	77.2	78	79.8	78.32
2	79	78.4	78.6	78.4	79.6	78.8
3	78.6	78	78.2	78.8	77	78.12
4	76.8	77.6	77.2	77.8	77.8	77.44
5	76.8	73	70.6	73.6	75.8	73.96
6	73.8	69	69.4	74.2	69.6	71.2
7	73.6	72.2	68.8	68	70	70.52
8	67.4	70	71.2	73.2	70.2	70.4



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

จากผลการวัดค่าความเข้มของเครื่องมือ สามารถสรุปผลได้ว่าสถานที่เปิดลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้นเหมาะสมที่จะนำมาเป็นสถานที่ทดลองในเงื่อนไขอื่น ๆ เนื่องจากกราฟที่ได้มีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด ดังนั้นจึงได้นำค่าของเครื่องที่ 1 มาใช้ทดสอบในเงื่อนไขต่อไป



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

จากผลการวัดค่าความเข้มของเครื่องมือ สามารถสรุปผลได้ว่าสถานที่เปิดลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้นเหมาะสมที่จะนำมาเป็นสถานที่ทดลองในเงื่อนไขอื่นๆ เนื่องมาจากกราฟที่ได้มีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด ดังนั้นจึงได้นำค่าของเครื่องที่ 2 มาใช้ทดสอบในเงื่อนไขต่อไป

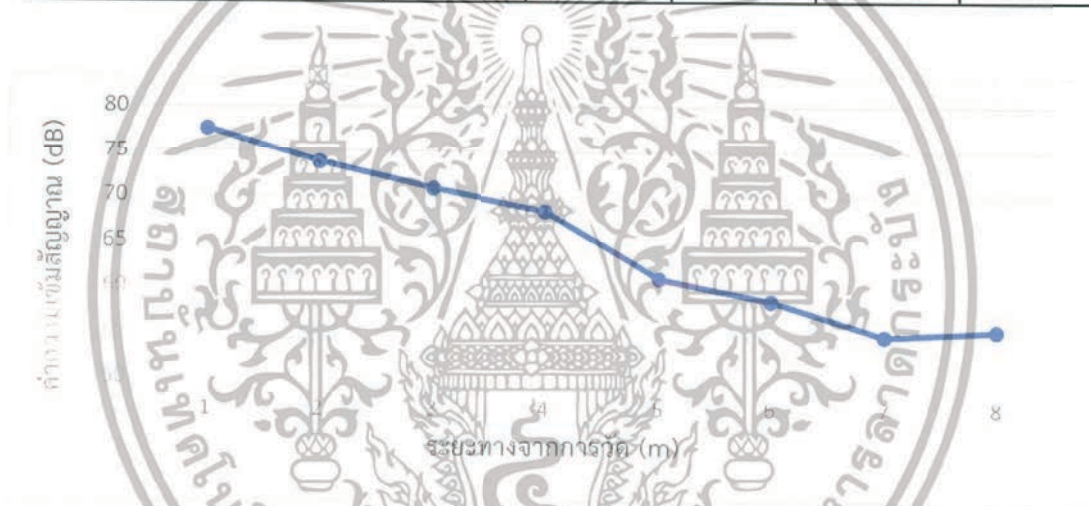
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.6	77.6	78	77.2	77.2	77.52
2	73.4	74	74.2	73.4	74	73.8
3	70.8	70.4	71	71.2	71	70.88
4	68.2	68.4	68.6	68	69	68.44
5	59.6	59	63.2	61.8	61.2	60.96
6	56	58.8	60	60.4	57.4	58.52
7	54	53.8	59.2	55.4	50.6	54.6
8	55	56.2	56.2	55	53.6	55.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

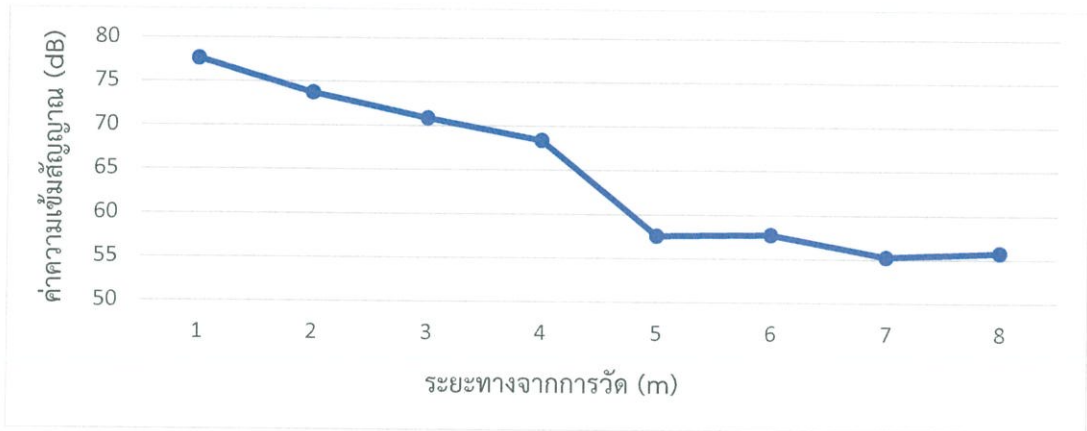
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 8 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 ในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.8	77.6	77.2	78.2	77.4	77.64
2	73.4	74	73.6	73.8	74	73.76
3	70.4	71	70.8	71.2	71.2	70.92
4	68	67.8	69	68.4	68.8	68.4
5	59	58.8	57.8	54.8	57.6	57.6
6	58.8	54.6	57	59.4	59	57.76
7	53.8	55.8	55.8	54	57	55.28
8	56.2	54.6	58	54.4	55.6	55.76



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าการทำการวัดในเงื่อนไขเดียวกับเครื่องวัดที่ 3 เพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องวัดทั้ง 4 เครื่อง ดังการทดลองที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 8 เมตรในสถานที่เปิด (ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น)

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าการทำการวัดในเงื่อนไขเดียวกับเครื่องวัดที่ 4 เพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องวัดทั้ง 4 เครื่อง ดังการทดลองที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

4.2 การทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้า

การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และรีซีฟเวอร์ในเงื่อนไขของการวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าที่ความสูงสามระดับ คือ วางระดับพื้น วางระดับ 50 เซนติเมตร และวางระดับ 100 เซนติเมตร โดยมีการวัดเทียบกับขอบสนามเป็นมุมต่าง ๆ 3 มุม คือ 45 องศา 90 องศา และ 135 องศา ซึ่งมีการวัดค่าความเข้มระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4.2.1 ถึง 4.2.3

4.2.1 ทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น

การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และรีซีฟเวอร์ในเงื่อนไขของการวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าที่ความสูงระดับพื้น โดยมีการวัดเทียบกับขอบสนามเป็นมุมต่าง ๆ 3 มุม คือ 45 องศา 90 องศา และ 135 องศา ซึ่งมีการวัดค่าความเข้มระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4.2.1.1 ถึง 4.2.1.3

4.2.1.1 ทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77	77	77	77	76.6	76.92
2	73.6	75	74.8	74.4	74.4	74.44
3	72	72.2	72	72	72.6	72.16
4	68.8	70.2	68.6	68.2	70.8	69.32

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.4	78.4	77.8	78	78.4	78.2
2	73.8	75	75.2	75	74.6	74.72
3	70.8	71.2	72.2	71.4	72.2	71.56
4	69	69.2	70	69.6	69	69.36

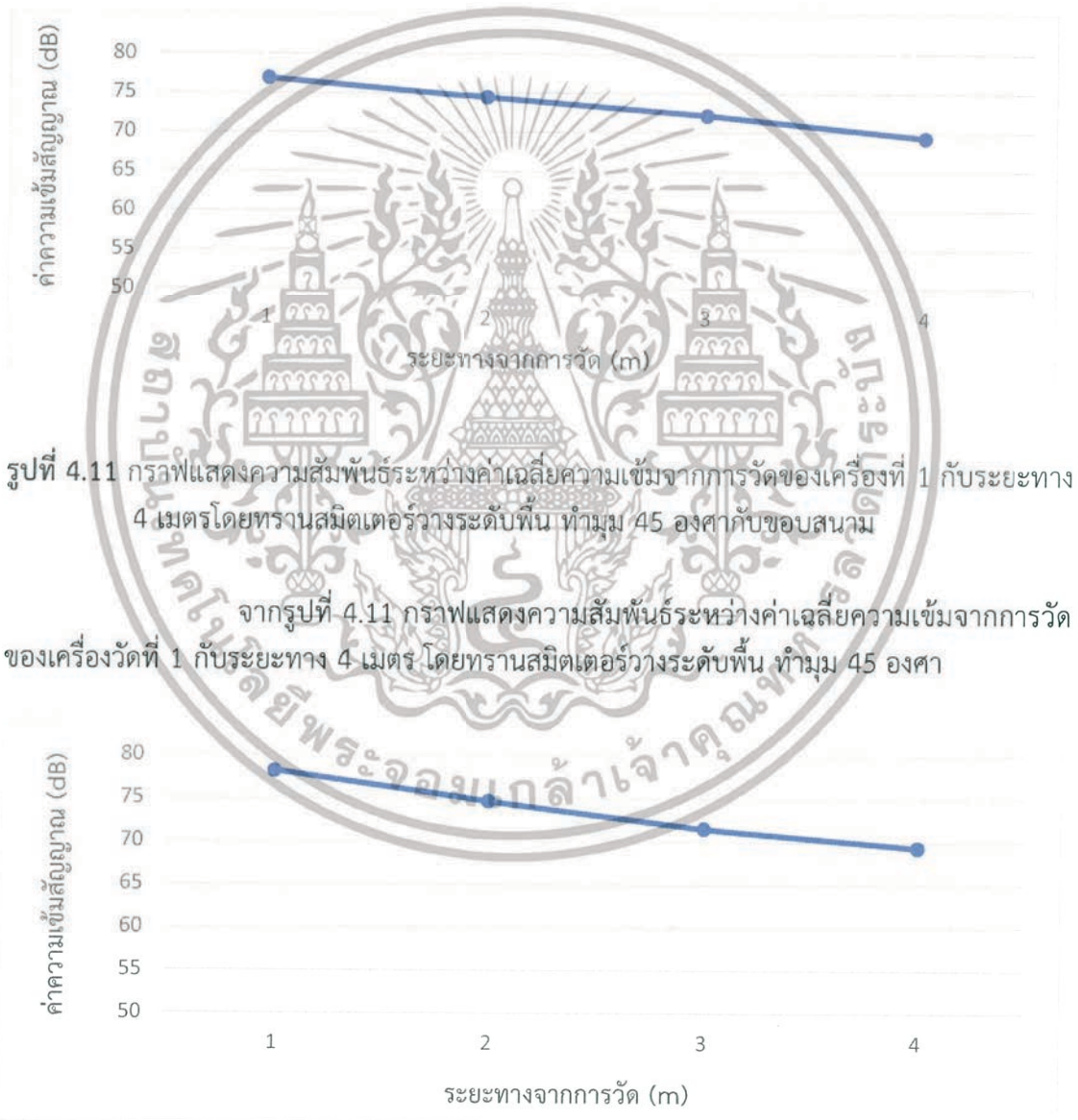
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	79	79	78.8	78.6	75.4	78.16
2	74.2	75.2	75	73.8	76	74.84
3	70	72.2	72.4	71	70.4	71.2
4	68.2	68	69.6	68.8	70.2	68.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

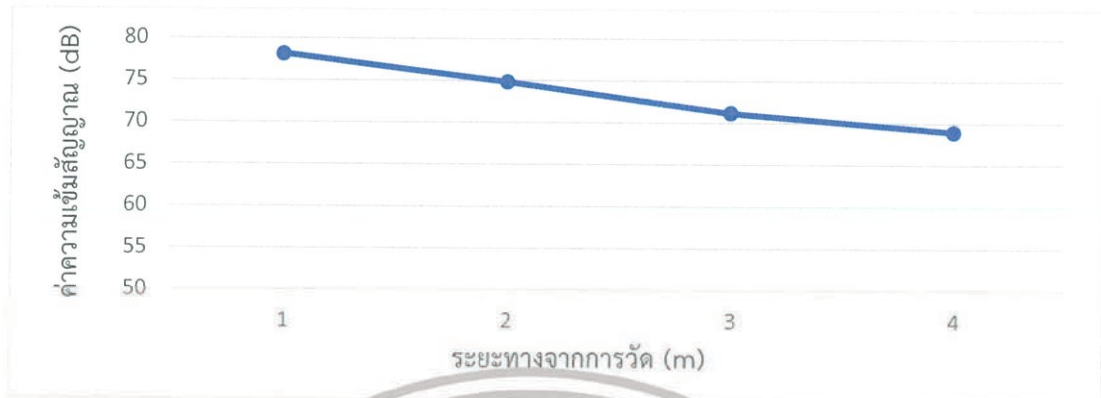
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.2	78	77.6	77	77.2	77.6
2	73.4	73.2	74.2	74.2	75.4	74.08
3	71.2	72.2	71.8	71.6	70.6	71.48
4	69.6	69.6	69	68.4	68	68.92



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 45 องศา

4.2.1.2 ทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	79.8	78.2	78.8	78.8	78	78.72
2	78.8	78.4	78.6	77.8	77.8	78.28
3	78.4	77.8	78.8	78	78.4	78.28
4	77.6	71.2	75	74.2	77.6	75.12

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	79	77.6	77.2	78	79.8	78.32
2	79	78.4	78.6	78.4	79.6	78.8
3	78.6	78	78.2	78.8	77	78.12
4	76.8	77.6	77.2	77.8	77.8	77.44

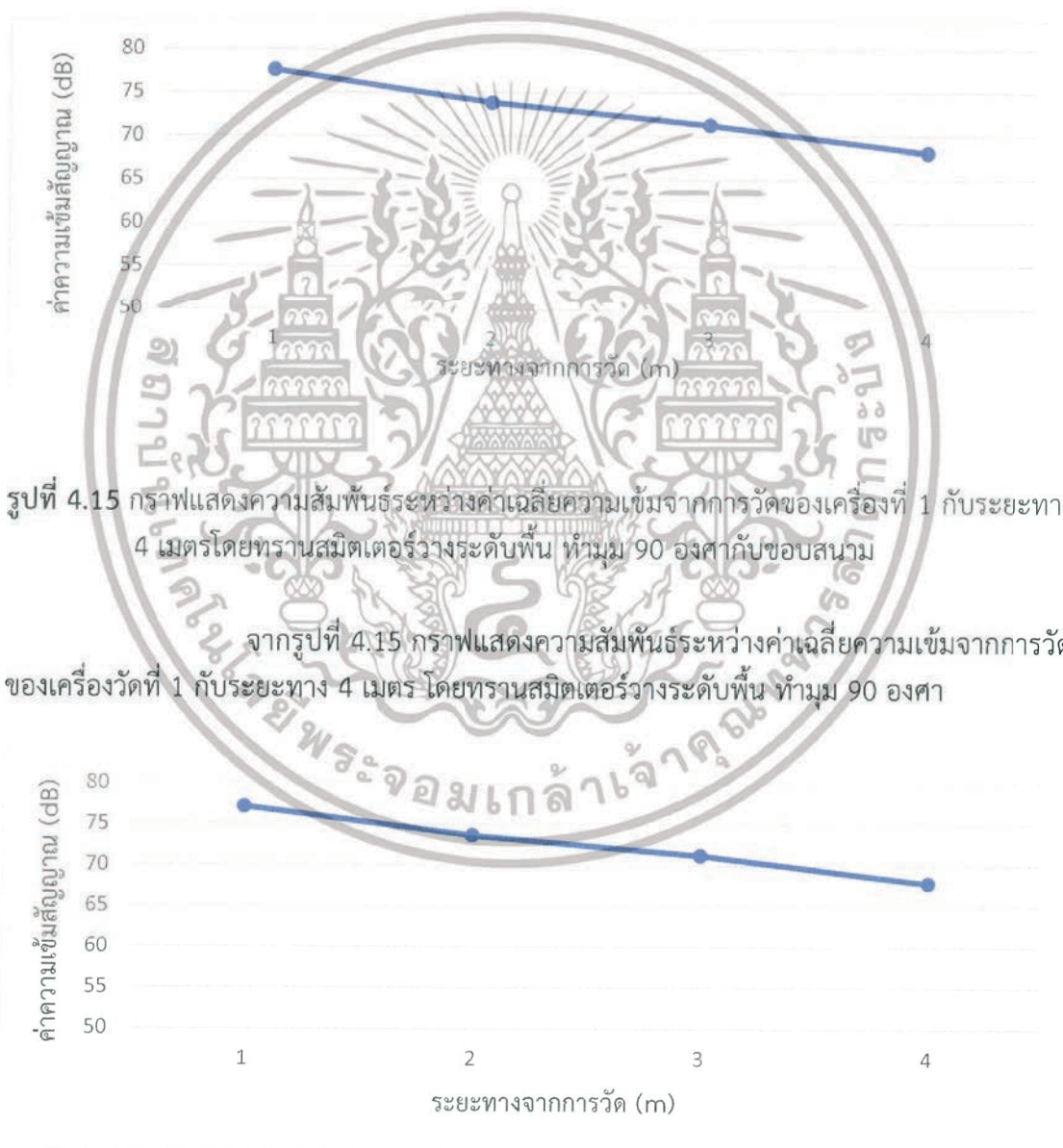
ตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.6	77.6	78	77.2	77.2	77.52
2	73.4	74	74.2	73.4	74	73.8
3	70.8	70.4	71	71.2	71	70.88
4	68.2	68.4	68.6	68	69	68.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

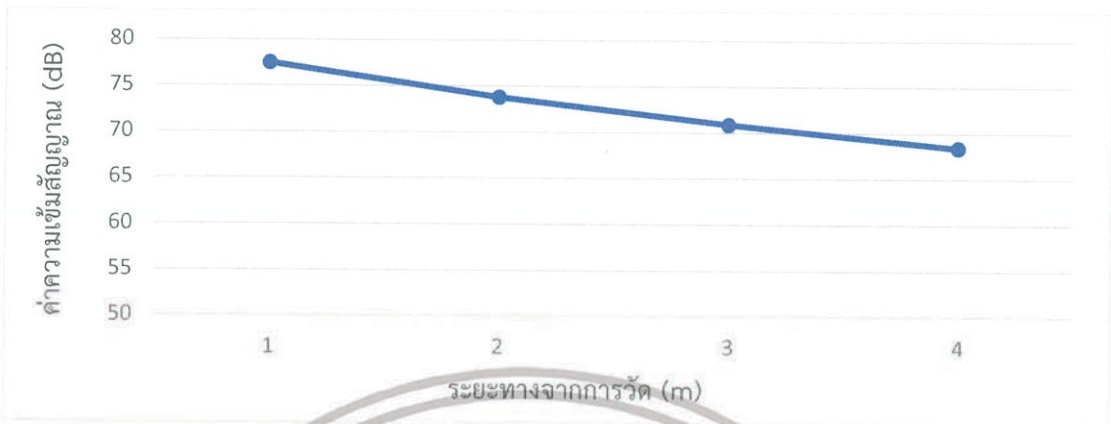
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.8	77.6	77.2	78.2	77.4	77.64
2	73.4	74	73.6	73.8	74	73.76
3	70.4	71	70.8	71.2	71.2	70.92
4	68	67.8	69	68.4	68.8	68.4



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

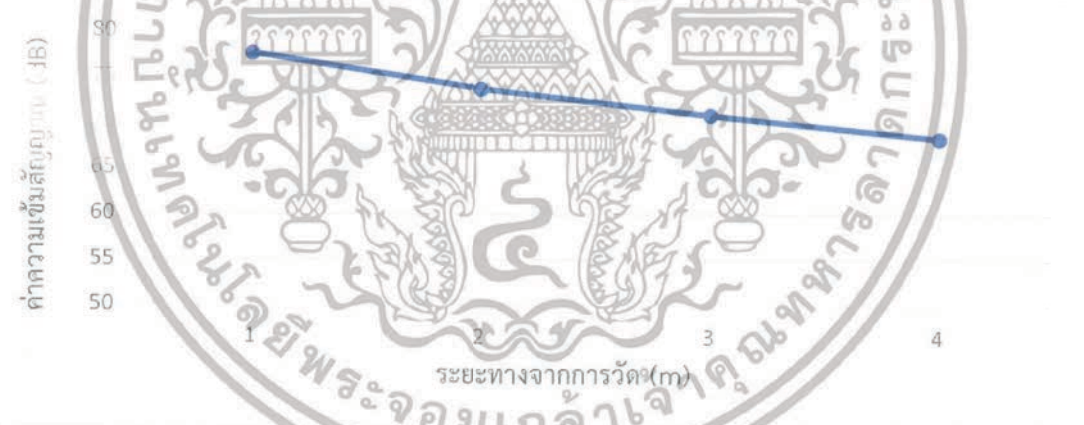
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศา



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศา กับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศา



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศา กับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 90 องศา

4.2.1.3 ทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.4	77.6	77.2	77	77.2	77.28
2	75	74.8	74	75	73.8	74.52
3	70.2	71.4	71	72.2	70.6	71.08
4	69	68.8	67.8	68.2	68	68.36

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

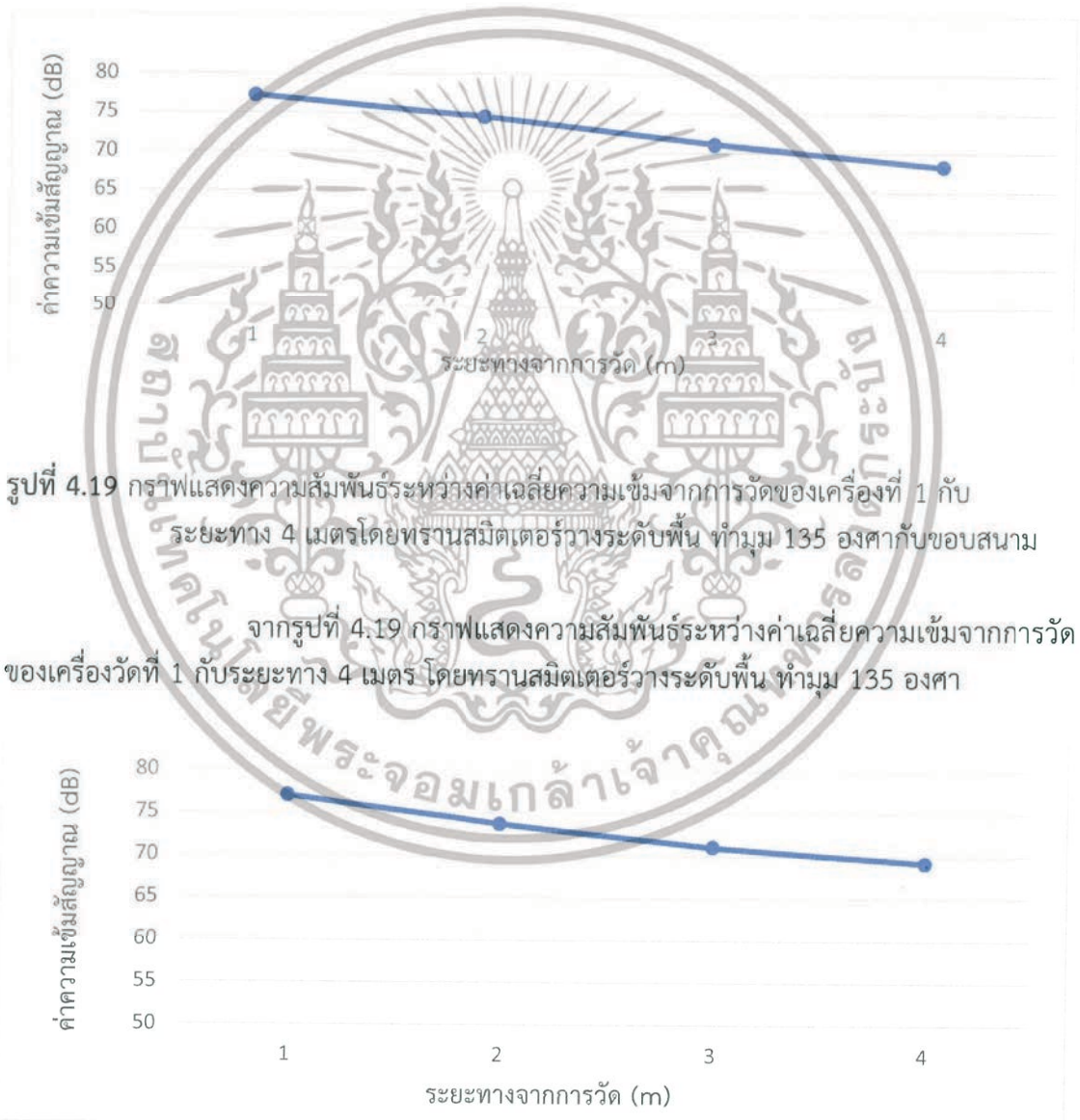
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77	76.4	76.6	78	77.2	77.04
2	73.4	74	73.8	73.4	74	73.72
3	70.6	71	71.2	70.8	71.6	71.04
4	69.2	69	69	70.2	68.8	69.24

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	79	78.4	79	78.8	78.6	78.76
2	74.6	76.6	74.8	75.2	73.6	74.96
3	72.2	72	70.8	71.4	71	71.48
4	69.2	68.4	68.6	68.6	69	68.76

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.8	78	77.6	78.2	77.4	77.8
2	75.2	75	74.6	74	73.4	74.44
3	71	70.8	71.6	71.6	72	71.4
4	67.8	69	68.6	68	68.8	68.44



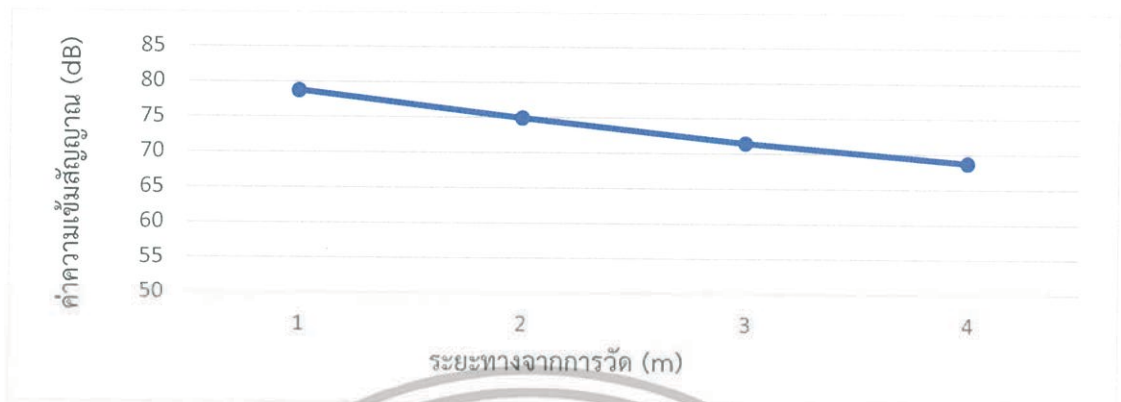
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศา

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศา



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศา กับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศา ที่ระดับพื้น



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศา กับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับพื้น ทำมุม 135 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ทรานสมิตเตอร์วางความสูง 50 เซนติเมตร จากระดับพื้น

การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และรีซีฟเวอร์ในเงื่อนไขของการวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าที่สูงระดับ 50 เซนติเมตร โดยมีการวัดเทียบกับขอบสนามเป็นมุมต่าง ๆ 3 มุม คือ 45 องศา 90 องศา และ 135 องศา ซึ่งมีการวัดค่าความเข้มระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4.2.2.1 ถึง 4.2.2.3

4.2.2.1 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.2	77	77.8	77.4	77.6	77.4
2	75.4	75.6	75.8	76	76	75.76
3	73	72.8	75.6	73	73.4	73.56
4	71.4	71.2	71.6	69	71	70.84

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา กับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77	77.8	78	76	78	77.36
2	73.4	77	76.4	74	73.2	74.8
3	72.4	72.2	77.2	70	71.6	72.68
4	68.2	69	66.8	67	66.2	67.44

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.4	78	77.8	77	78	77.64
2	73.8	72.8	74.8	74.2	72.2	73.56
3	69.4	71	71.2	72.4	70	70.8
4	68.2	68.2	68	69.6	69	68.6

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

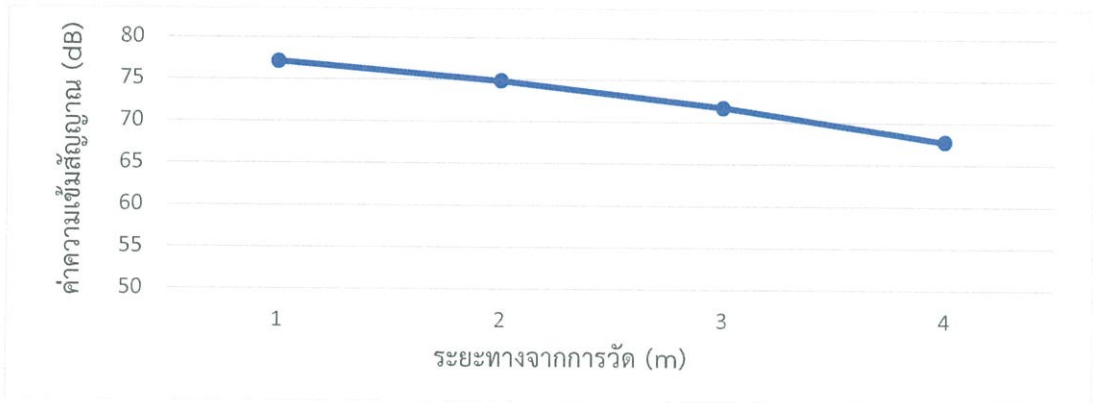
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	76.2	78	77.2	77	78	77.28
2	72.6	76	75.4	74	75.2	74.64
3	69.4	70.4	71.6	72	71.4	70.96
4	68	66.8	68.2	66.8	67	67.36



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



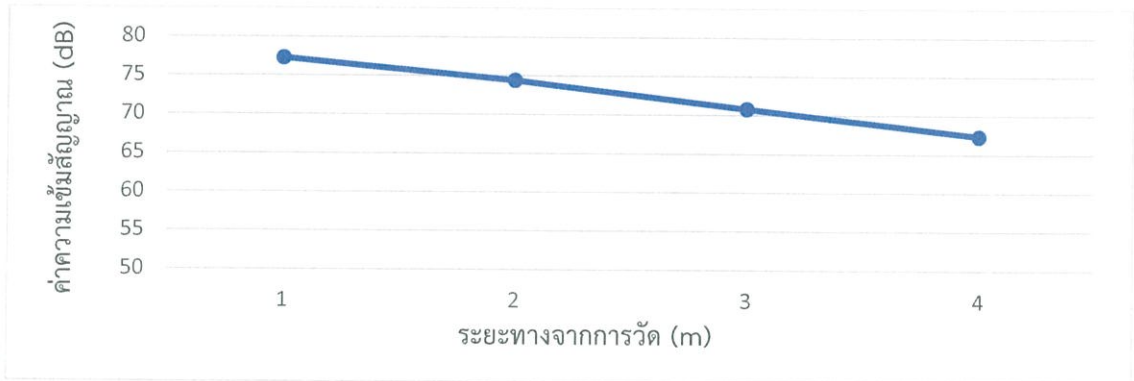
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

4.2.2.2 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.2	77.8	77.8	78.2	77.6	77.72
2	75.4	75.6	75.8	76	76.4	75.84
3	72.2	72.8	75.6	74.2	73.4	73.64
4	71.4	71.2	71.6	70.6	71	71.16

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77	77.8	79	74.2	78	77.2
2	73.4	77	76.4	71.2	73.8	74.36
3	72.4	72.2	77.2	69.8	71.6	72.64
4	68.2	71.8	66.8	66.6	65.4	67.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.8	78	77.8	78	73.8	77.08
2	73.8	72.8	74.8	74.2	72.6	73.64
3	69.4	71.8	71.2	72.4	70	70.96
4	68.2	68.2	68.8	69.6	69	68.76

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

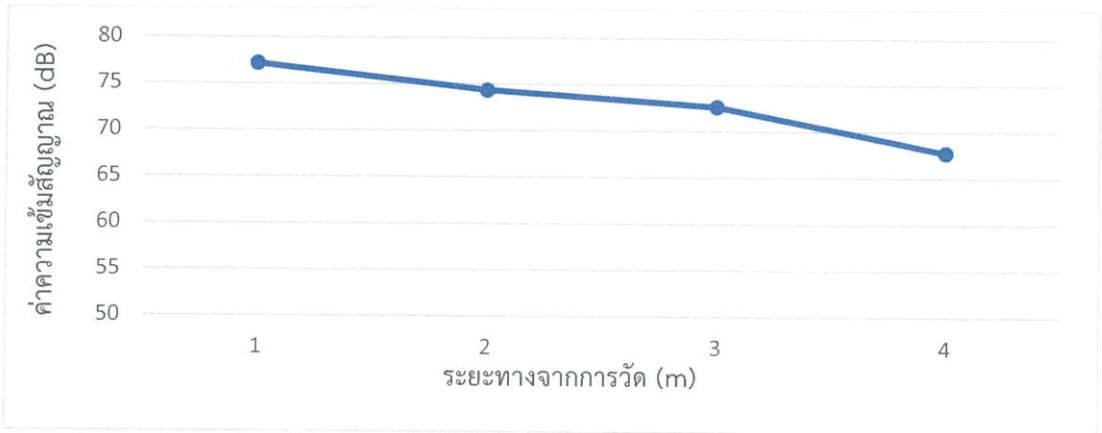
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	76.2	78	77.2	76.8	78	77.24
2	72.6	76	75.4	72.2	75.2	74.28
3	69.4	71.2	71.6	70	71.4	70.72
4	68	67	67.4	66.8	67	67.24



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



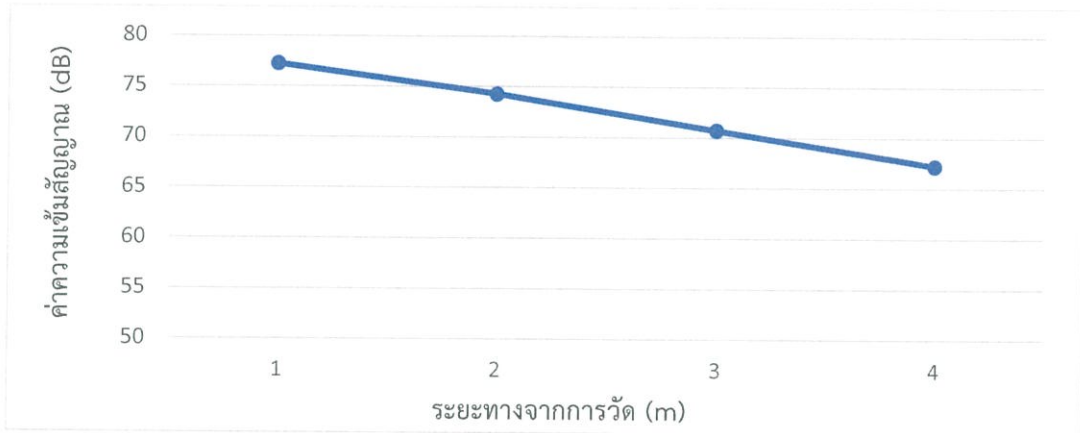
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

4.2.2.3 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.2	77	77	77.4	78	77.32
2	75.4	72.6	75.8	76	74.8	74.92
3	73	72.8	72	73	73	72.76
4	70	71.2	70.2	69	71	70.28

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77	77.8	77	76	78	77.16
2	73.4	76	76.4	73.4	75.2	74.88
3	72.4	72.2	73.2	70	71	71.76
4	68.2	69	66.8	67	68	67.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	78	77.8	77	77.6	77.68
2	73.8	72.8	74.8	74.2	73	73.72
3	70	71	71.2	72.4	70	70.92
4	69.2	68.2	68	69.6	69	68.8

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

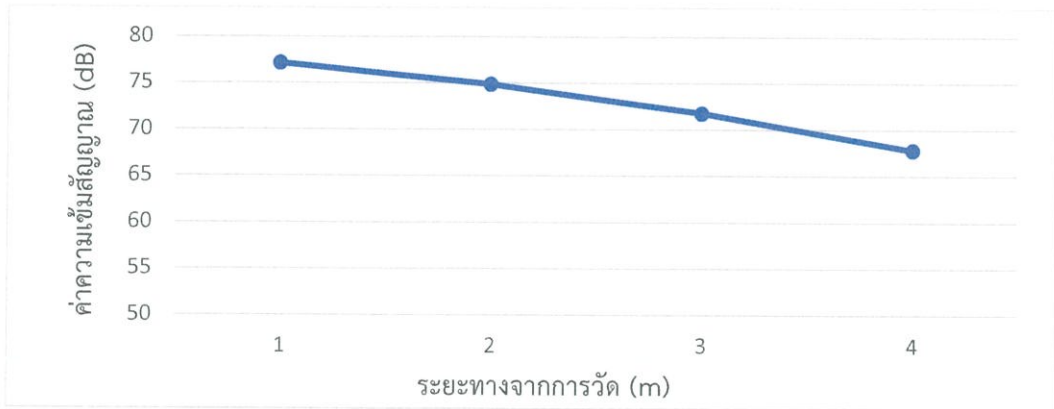
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	76.2	78	77.2	77	78	77.28
2	72.6	75	75.4	74	75.2	74.44
3	68.8	70.4	71.6	72	71.4	70.84
4	68	66.8	68	67	67	67.36



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



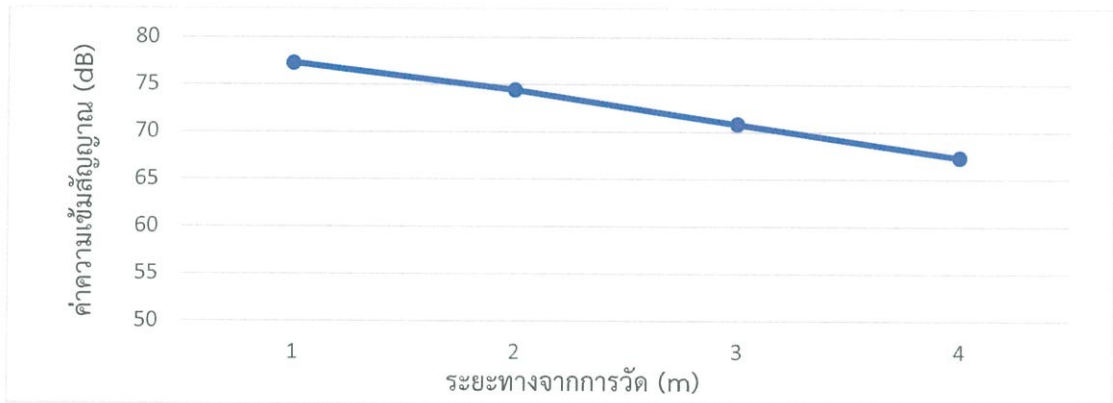
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

4.2.3 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร จากระดับพื้น

การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และรีซีฟเวอร์ในเงื่อนไขของการวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้าที่สูงระดับ 100 เซนติเมตร โดยมีการวัดเทียบกับขอบสนามเป็นมุมต่าง ๆ 3 มุม คือ 45 องศา 90 องศา และ 135 องศา ซึ่งมีการวัดค่าความเข้มระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4.2.3.1 ถึง 4.2.3.3

4.2.3.1 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

ตารางที่ 4.35 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.2	78.6	77.6	78.6	78	78.2
2	75.4	74.8	75.8	74	74.8	74.96
3	72.8	72	73	72.4	73	72.64
4	69.8	70.2	71.2	71	69	70.24

ตารางที่ 4.36 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	77.6	77.2	77.4	77.8	77.6
2	76.8	71	75.8	74.8	73.8	74.44
3	71.6	68	70	72.8	72	70.88
4	70.8	69.8	64.6	66.8	69.2	68.24

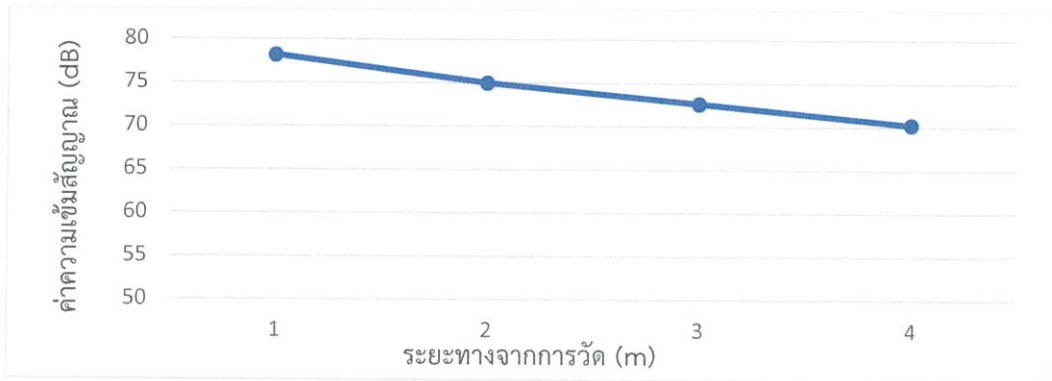
ตารางที่ 4.37 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	77.6	77.6	77.2	77.2	77.52
2	73.4	72	73	72.2	72.4	72.6
3	70.2	68	69.6	70	69.8	69.52
4	67.6	68	66.2	68	67.6	67.48

ตารางที่ 4.38 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	78.2	78	78	77.8	78
2	74.6	75	75.2	75	75.6	75.08
3	71.6	71.4	72.8	71.6	71	71.68
4	69.8	68	67.8	69.4	68.6	68.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



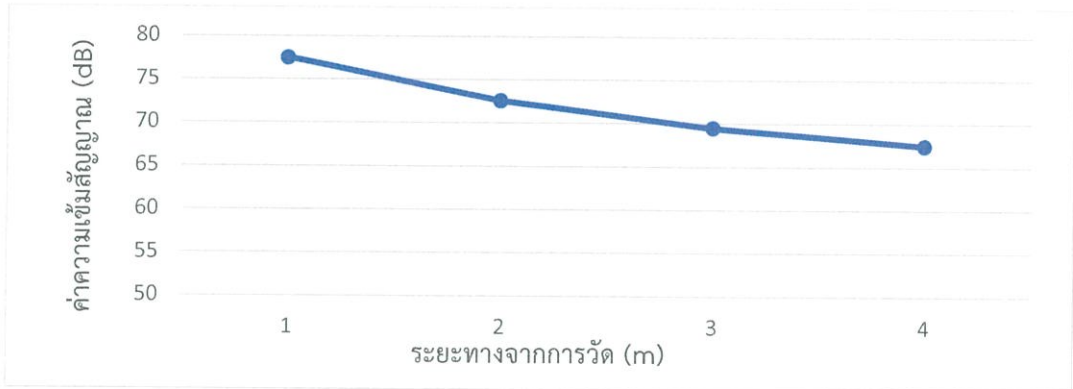
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศากับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

4.2.3.2 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา กับขอบสนาม

ตารางที่ 4.39 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา กับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.2	78.6	78.2	78.2	78	78.24
2	75.4	74.8	76.2	75	74.8	75.24
3	72.8	72	73.2	71.6	73	72.52
4	69.8	70.2	71.2	71.4	69	70.32

ตารางที่ 4.40 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา กับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	78	78	77.4	77.8	77.84
2	76.8	65.6	75.8	74.8	73.8	73.36
3	71.6	71.2	70	72.8	72	71.52
4	70.8	69.8	64.6	66.8	70.2	68.44

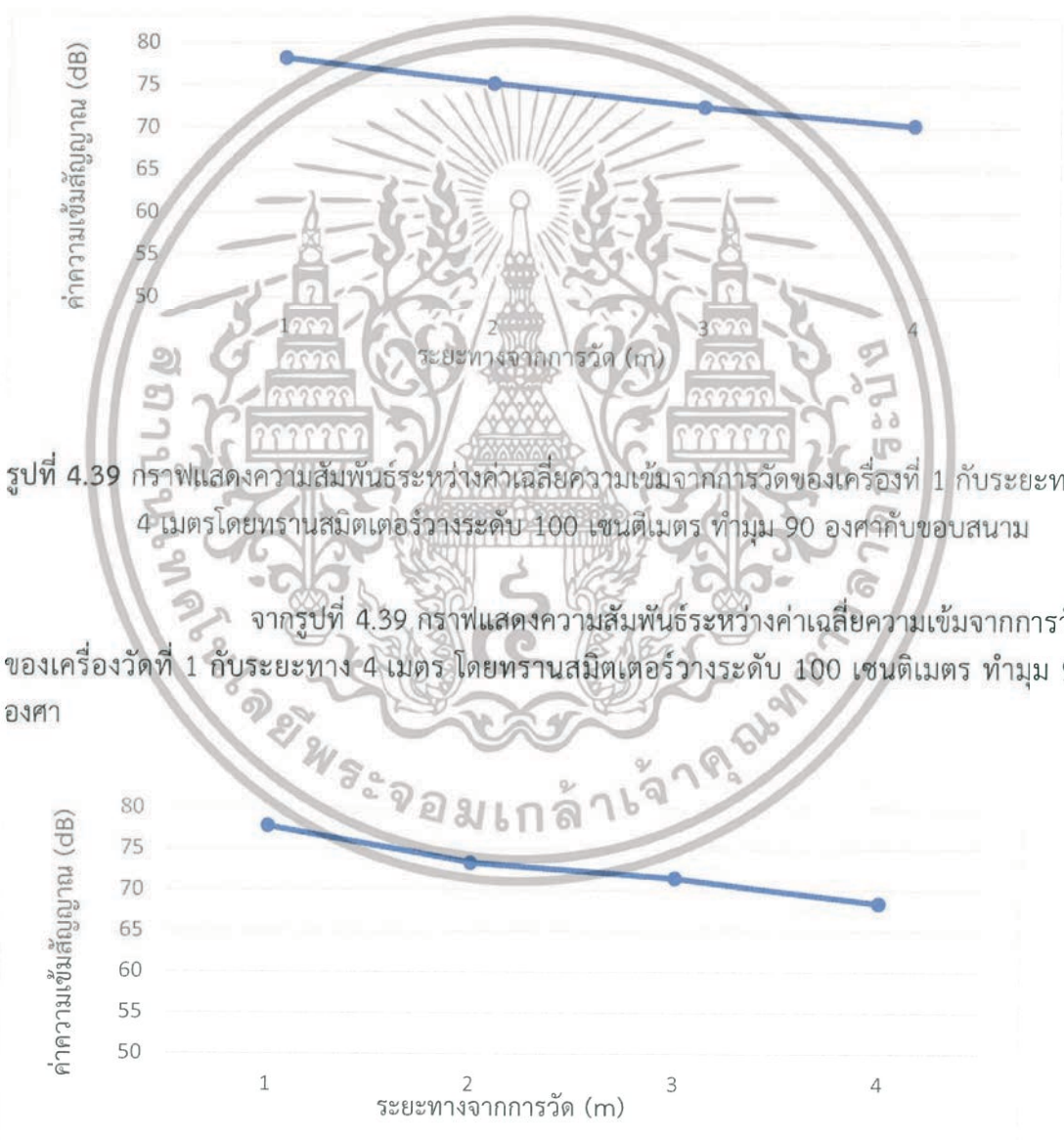
ตารางที่ 4.41 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา กับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	79	78.2	77.6	77.2	77.2	77.84
2	73.4	73.8	73.2	72.2	72.4	73
3	70.2	70.8	69.6	70	69.8	70.08
4	67.6	68.4	67.8	68	69	68.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.42 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

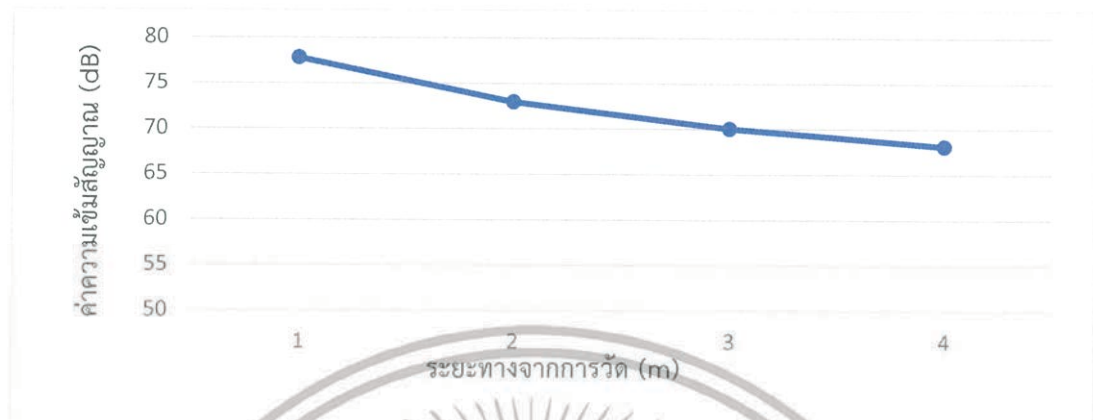
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.4	78.2	78	78	77.8	78.08
2	75	75	75.2	75	75.6	75.16
3	71.6	71.4	72.8	71.6	72	71.88
4	69.8	68	70	69.4	68.6	69.16



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศากับขอบสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศาที่ขอบสนาม

จากรูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศาที่ขอบสนาม

จากรูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.3 ทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ตารางที่ 4.43 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.2	78	77.6	78.6	78	78.08
2	75.4	74.8	73	73.4	74.8	74.28
3	72.8	71.6	73	72.4	73	72.56
4	69.8	70.2	68.6	71	69	69.72

ตารางที่ 4.44 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	77.6	77.6	77	77.8	77.6
2	76.8	73	75.8	74.8	73.8	74.84
3	71.6	68	69.8	72.2	72	70.72
4	70.8	69.8	67	66.8	69.2	68.72

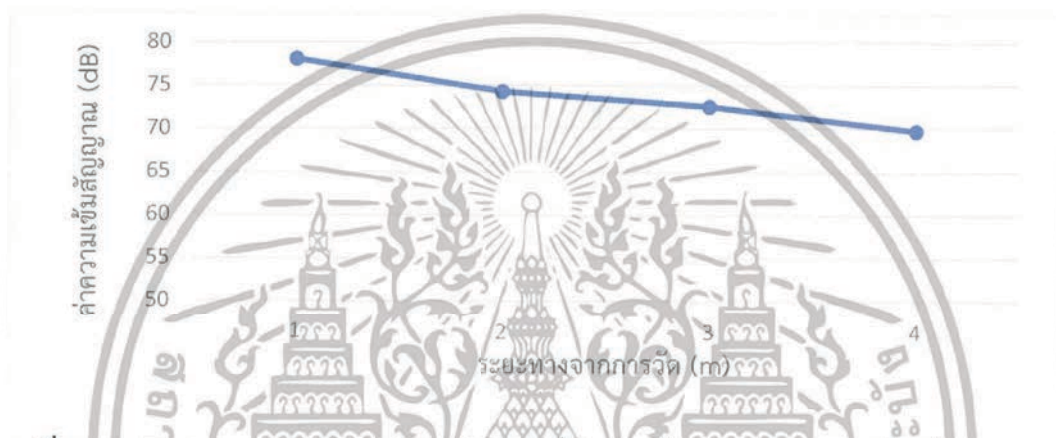
ตารางที่ 4.45 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.6	77.2	77.6	77	77.2	77.32
2	73.4	73.2	73	72.8	73.6	73.2
3	70.2	71.2	69.6	70	70	70.2
4	67.6	68	66.2	67	67.6	67.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

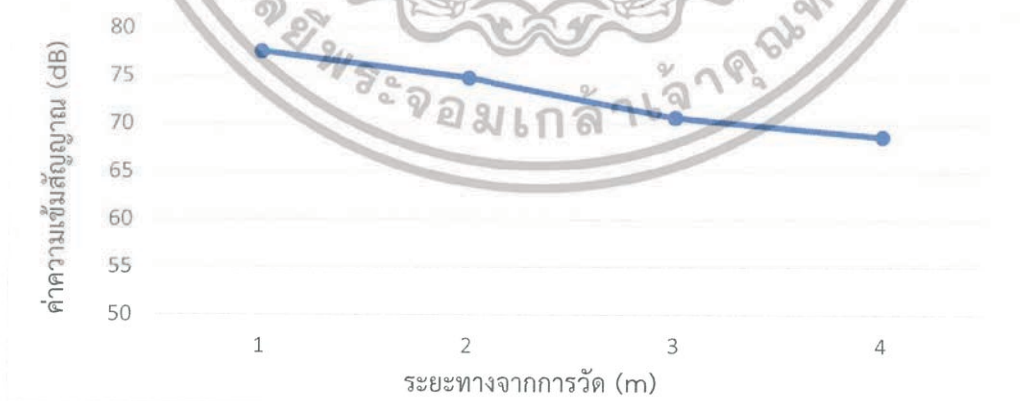
ตารางที่ 4.46 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.6	78.2	78	77.4	77.8	77.8
2	74.6	75	75.2	73.8	75	74.72
3	71.6	71.4	71.2	71.6	71	71.36
4	69.8	68	67	69	68.6	68.48



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

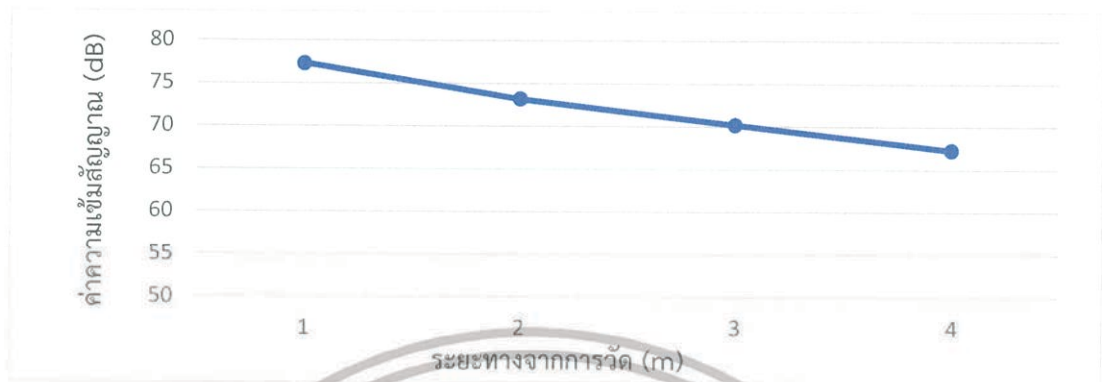
จากรูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร 135 องศา



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศากับขอบสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา กับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา กับขอบสนาม

จากรูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์วางระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

4.3 ทรานสมิตเตอร์ติดไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุมต่างๆ

การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และรีซีฟเวอร์ในเงื่อนไขของการติดตั้งทรานสมิตเตอร์ไว้กับตัวผู้ติดตั้งที่ความสูงสองระดับ คือ วางระดับ 50 เซนติเมตร และวางระดับ 100 เซนติเมตร โดยมีการวัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบกับขอบสนามเป็นมุมต่าง ๆ 4 มุม คือ 45 องศา 90 องศา 135 องศา และ 180 องศา ซึ่งมีการวัดค่าความเข้มระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4.3.1 ถึง 4.3.2

4.3.1 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร จากระดับพื้น

การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และรีซีฟเวอร์ในเงื่อนไขของการติดตั้งทรานสมิตเตอร์ไว้กับตัวผู้ติดตั้งที่ความสูงระดับ 50 เซนติเมตร โดยมีการวัดมุมต่าง ๆ 4 มุม คือ 45 องศา 90 องศา 135 องศา และ 180 องศา ซึ่งมีการวัดค่าความเข้มระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4.3.1.1 ถึง 4.3.1.4

4.3.1.1 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ตารางที่ 4.47 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	78.8	78	77	77.8	77.92
2	75.8	74.8	75.4	75	75.2	75.24
3	73	72.8	72.2	71	72.4	72.28
4	71.4	70.2	68.8	69.2	65.8	69.08

ตารางที่ 4.48 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	73.2	70.4	70	64.2	67.6	69.08
2	66.4	67.2	65.8	66.4	65	66.16
3	62.6	61.8	62	61.6	58	61.2
4	59.2	59.8	60	60	57.8	59.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.49 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.8	77.2	78.2	78	77.2	77.68
2	75	75.6	74.8	75	74.6	75
3	71	72	71.4	72.2	71.6	71.64
4	68.6	68	68	68.8	67.8	68.24

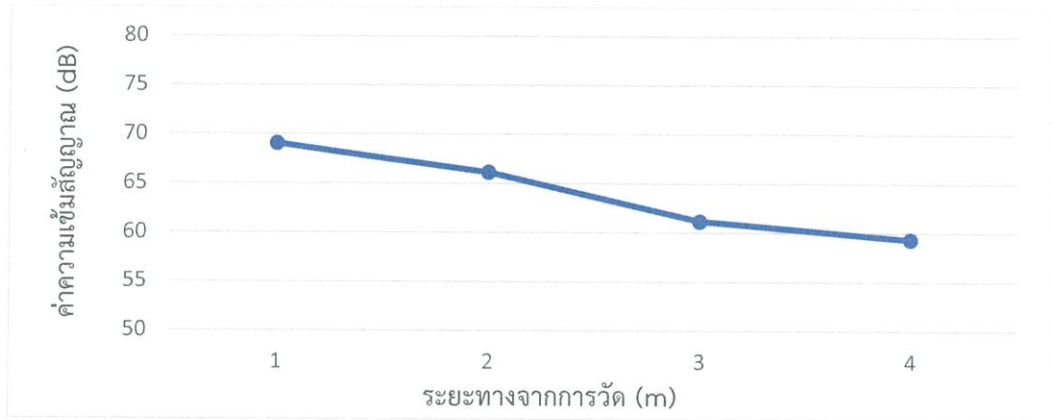
ตารางที่ 4.50 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	76.8	77.8	77	77.2	77.4	77.24
2	73.6	73	73.2	74	73.2	73.4
3	70.2	70	69.8	69.4	69.6	69.8
4	66.8	65	67.2	66	65.4	66.08



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

จากรูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 45 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



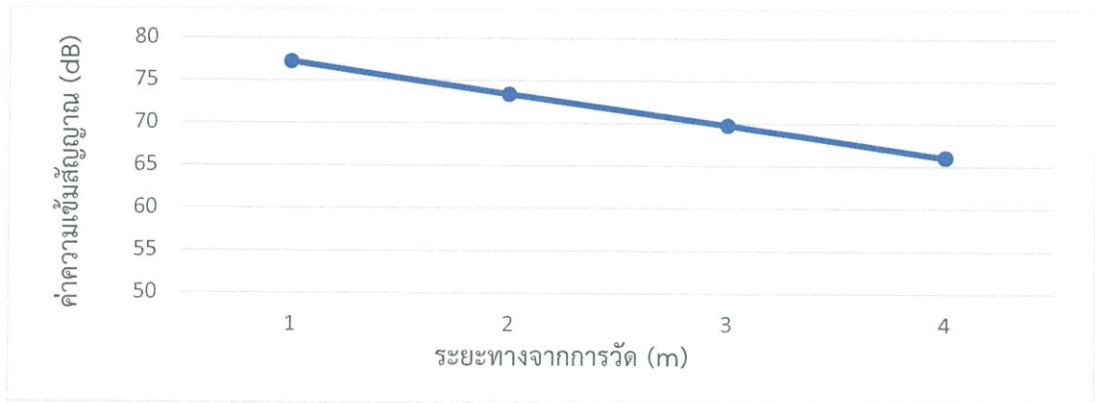
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

จากรูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 45 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

จากรูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 45 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

จากรูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 45 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร

4.3.1.2 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

ตารางที่ 4.51 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	73	74.2	73.8	73.6	74.6	73.84
2	69.8	70.2	69.6	70.8	70	70.08
3	65.8	65.8	66.6	66.8	66	66.2
4	61.4	60.8	62	62.4	63	61.92

ตารางที่ 4.52 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	73	70	62.6	60	74.4	68
2	62.2	64.2	64.8	62.4	67.2	64.16
3	59.4	58.8	60	62.6	61.8	60.52
4	59	57.8	56.8	61.2	60.4	59.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.53 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	72.4	73	73.4	73.4	72.8	73
2	69.4	69	69.8	70.4	70.8	69.88
3	65.6	65.4	65.4	66.2	67	65.92
4	63.4	61	60.8	62.2	63	62.08

ตารางที่ 4.54 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

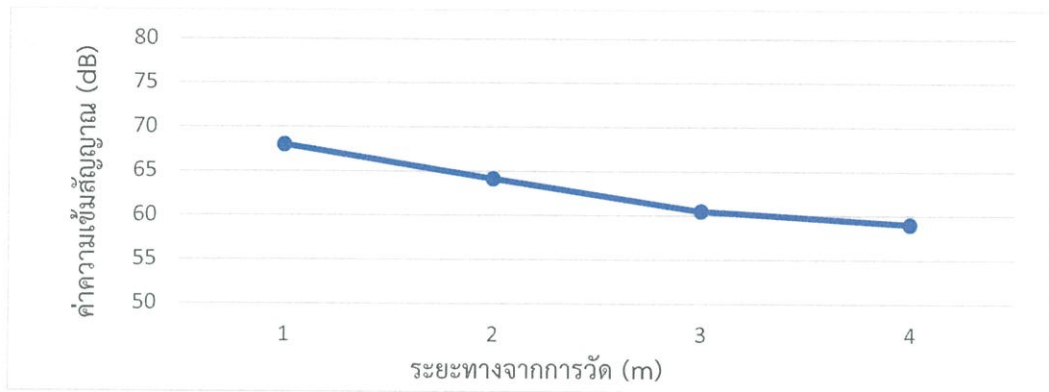
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	73.6	72.6	73	73.4	73.4	73.2
2	68.8	69.6	69	69.4	70	69.36
3	64.6	65	65	65.2	64.8	64.92
4	60.8	61.4	60	61.8	62.4	61.28



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

จากรูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 90 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



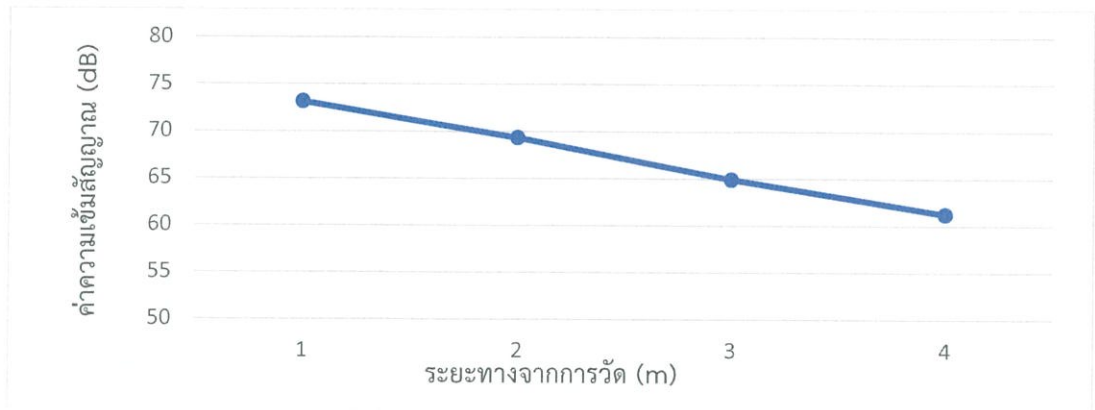
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

จากรูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 90 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

จากรูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 90 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งที่ระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

จากรูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 90 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร

4.3.1.3 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ตารางที่ 4.55 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	67.4	65	65.8	69	66.4	66.72
2	66.2	66.6	67	66.6	63.2	65.92
3	61.2	61.4	62.4	61.2	60.2	61.28
4	60.8	60.4	54.67	54.6	56.2	57.33

ตารางที่ 4.56 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	65.8	70.2	68.8	66.6	60.4	66.36
2	66	69.6	66	62.6	64.2	65.68
3	60.4	64	62	61.8	53.8	60.4
4	60.6	62.8	59	59.6	52.4	58.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.57 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	67	66.4	65.4	64.2	67.4	66.08
2	65.8	63.4	63.4	63.4	62.8	63.76
3	61	62.2	62	62	61.4	61.72
4	60	58.4	58.4	57.4	57.6	58.36

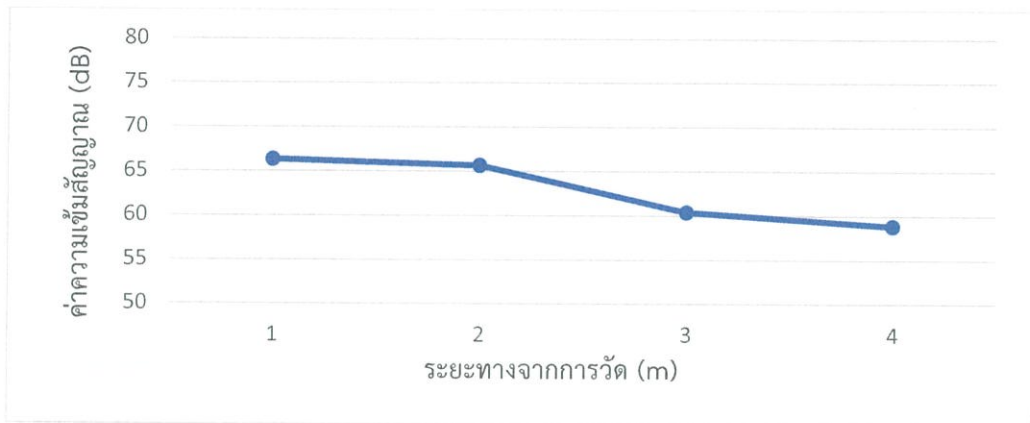
ตารางที่ 4.58 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	66.2	66.4	67.6	67.4	66.4	66.8
2	63.4	62	64.6	64	64.8	63.76
3	57.8	58	57.6	59.8	59	58.44
4	54.8	57.8	56	50.8	57.8	55.44



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

จากรูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 135 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



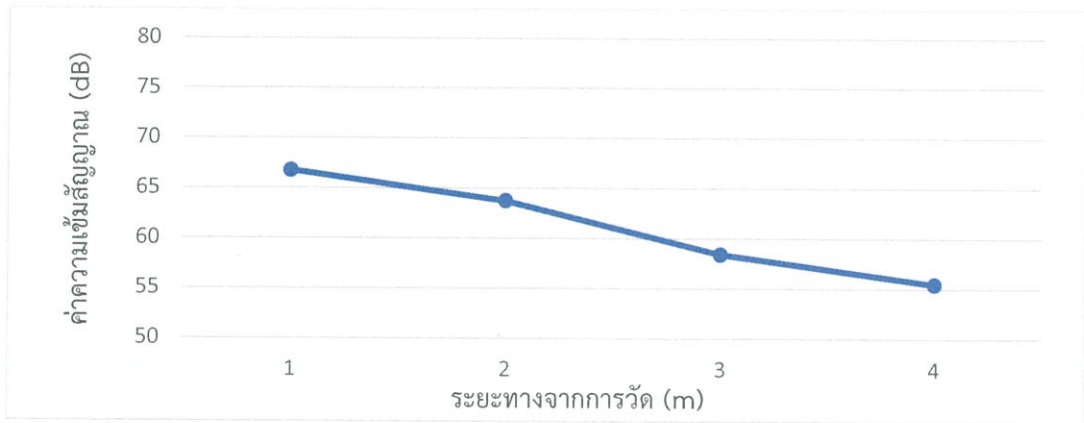
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

จากรูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 135 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

จากรูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 135 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

จากรูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 135 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร

4.3.1.4 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ตารางที่ 4.59 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	69	69	67.6	65.8	64	67.08
2	60	60.8	62.4	62	61.2	61.28
3	59	59	57.8	58.8	58.6	58.64
4	55.8	57.8	57.6	57.4	58	57.32

ตารางที่ 4.60 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	67	66.8	68.8	65	66.6	66.84
2	65	63.2	64.4	64.6	63.8	64.2
3	57.8	59.8	62.2	60.2	63	60.6
4	60.6	65.2	58.4	54.6	60.2	59.8

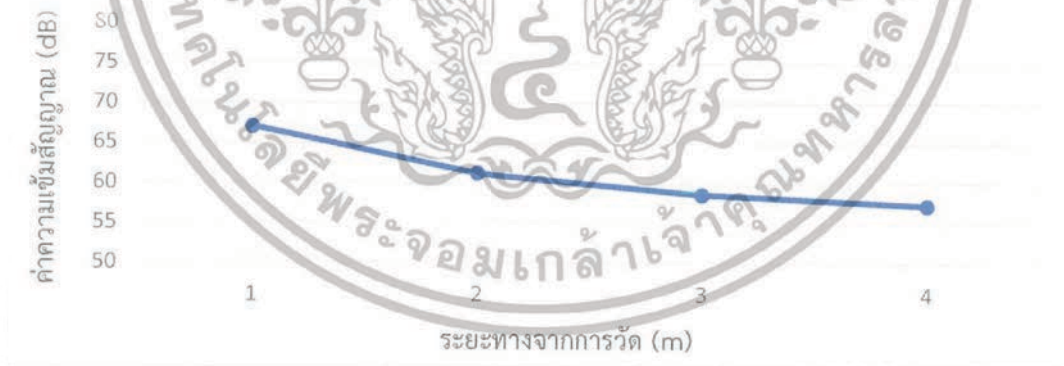
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.61 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	63	63.4	63.2	60.6	60.4	62.12
2	57	58.8	60	57.8	57.4	58.2
3	61.6	59	59	57.4	53.8	58.16
4	57.6	58	57.2	56	54.4	56.64

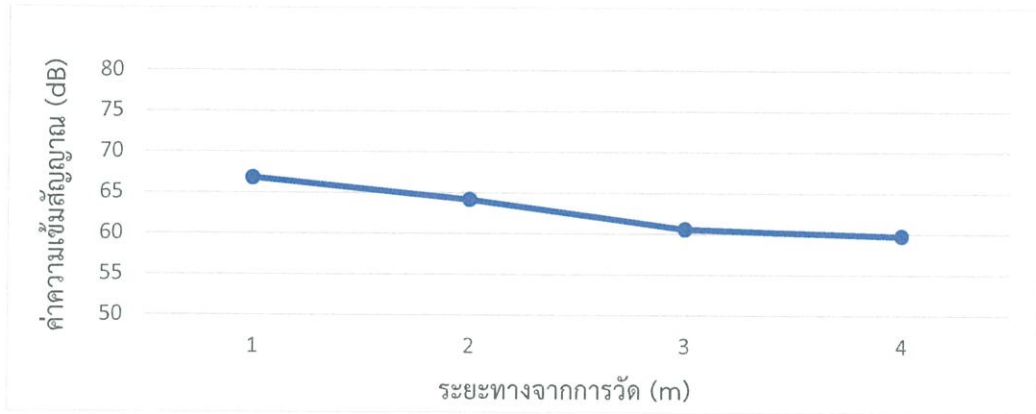
ตารางที่ 4.62 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	64	65.67	67.6	64.8	64.4	65.29
2	56.2	58.6	59.8	59	59.8	58.68
3	52.6	58.4	57	56.6	57.2	56.36
4	53.4	54.2	54.2	55.4	54.2	54.28



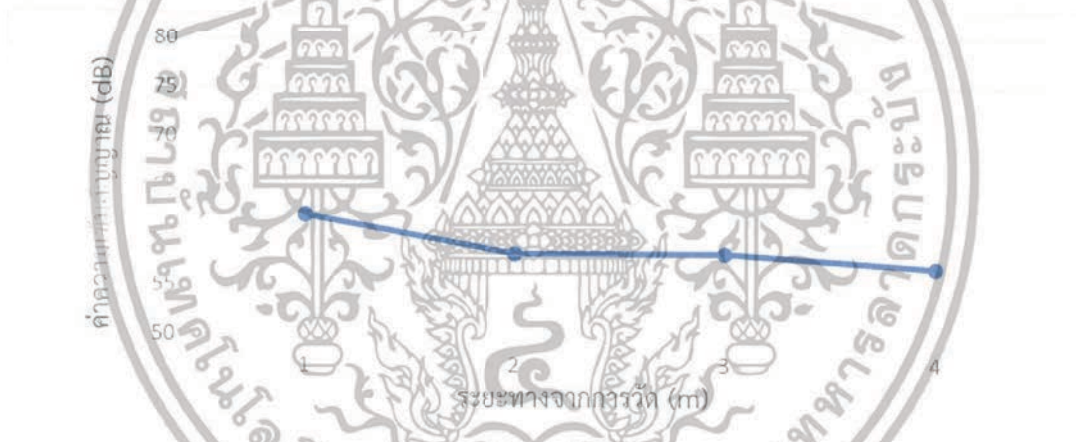
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

จากรูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 180 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



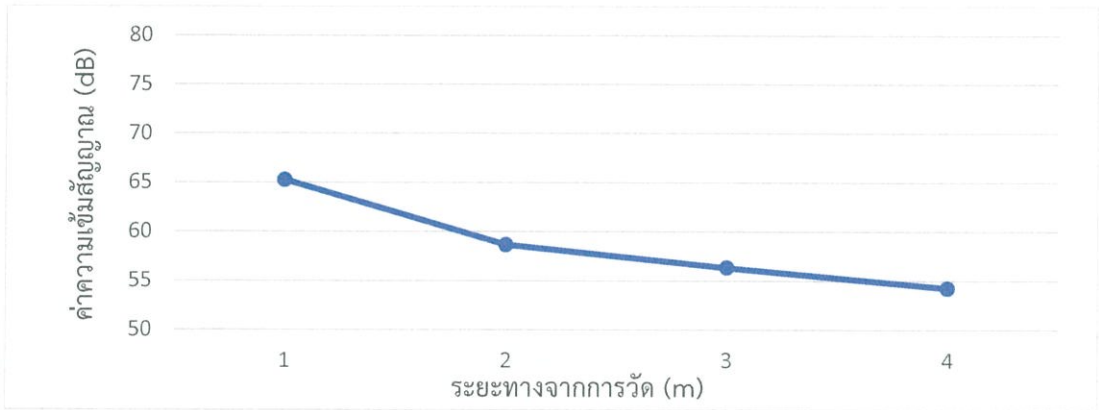
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

จากรูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 180 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

จากรูปที่ 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 180 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 50 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

จากรูปที่ 4.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 180 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 50 เซนติเมตร

4.3.2 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร จากระดับพื้น

การทดสอบตัวทรานสมิตเตอร์และรีซีฟเวอร์ในเงื่อนไขของการติดตั้งทรานสมิตเตอร์ไว้กับตัวผู้ติดตั้งที่ความสูงระดับ 100 เซนติเมตร โดยมีการวัดมุมต่าง ๆ 4 มุม คือ 45 องศา 90 องศา 135 องศา และ 180 องศา ซึ่งมีการวัดค่าความเข้มระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4.3.2.1 ถึง 4.3.2.4

4.3.2.1 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ตารางที่ 4.63 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78	77	77.8	77.4	77.4	77.52
2	73.8	74.6	76.8	74.4	75.4	75
3	71.2	71	74	71.2	75	72.48
4	68.8	70	71.2	70.2	70	70.04

ตารางที่ 4.64 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	65	65.4	68.8	67.4	66.6	66.64
2	63.4	63	64	63.6	63.8	63.56
3	61.2	60.8	61.6	61	61	61.12
4	54.6	59.6	58.8	58.6	60	58.32

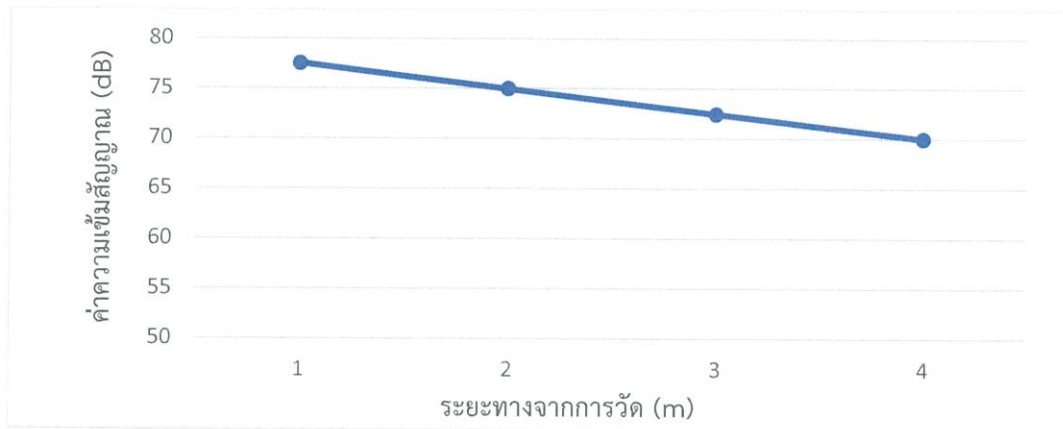
ตารางที่ 4.65 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77	78	78.2	77	77.2	77.48
2	74.6	73.8	74.6	74	74.6	74.32
3	70.2	69.8	71.2	70.8	70	70.4
4	65.8	65.4	67.6	66	65.6	66.08

ตารางที่ 4.66 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	75.8	75.2	75.6	77	76.6	76.04
2	73	72.2	73.4	74	70.8	72.68
3	68.8	69.4	69	69.2	69	69.08
4	66.4	65.8	65	64.4	67.6	65.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



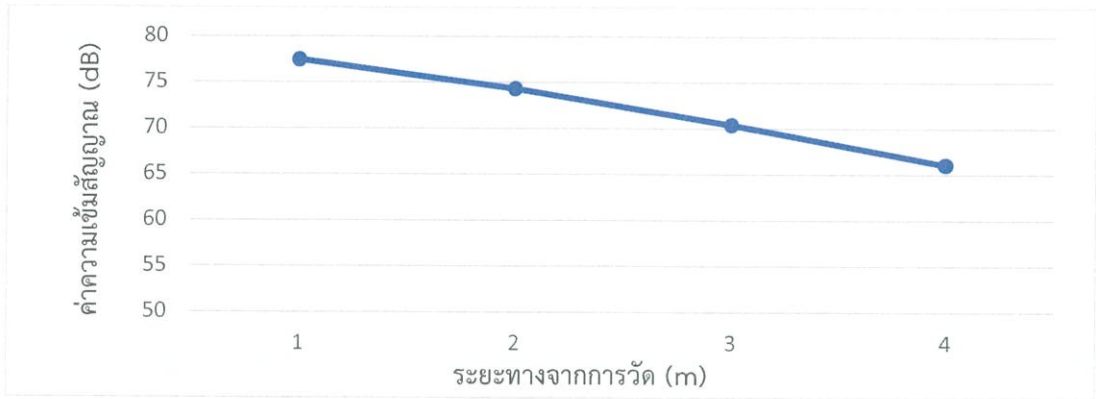
รูปที่ 4.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

จากรูปที่ 4.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 45 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



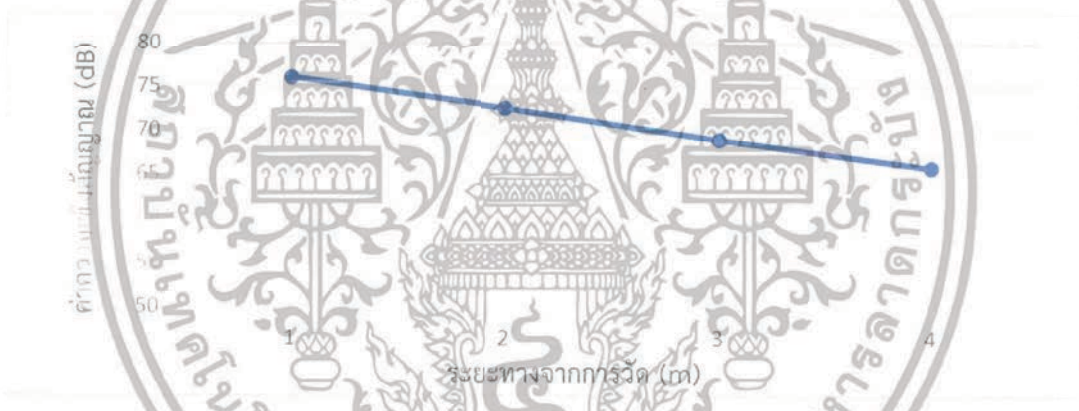
รูปที่ 4.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

จากรูปที่ 4.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 45 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

จากรูปที่ 4.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 45 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

จากรูปที่ 4.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 45 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร

4.3.2.2 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

ตารางที่ 4.67 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	71.8	72.6	70.8	76.6	76.6	73.68
2	65.6	67.8	68.2	73	73.4	69.6
3	65.8	66	66.2	67	65.4	66.08
4	63	61.4	65.8	62	62	62.84

ตารางที่ 4.68 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

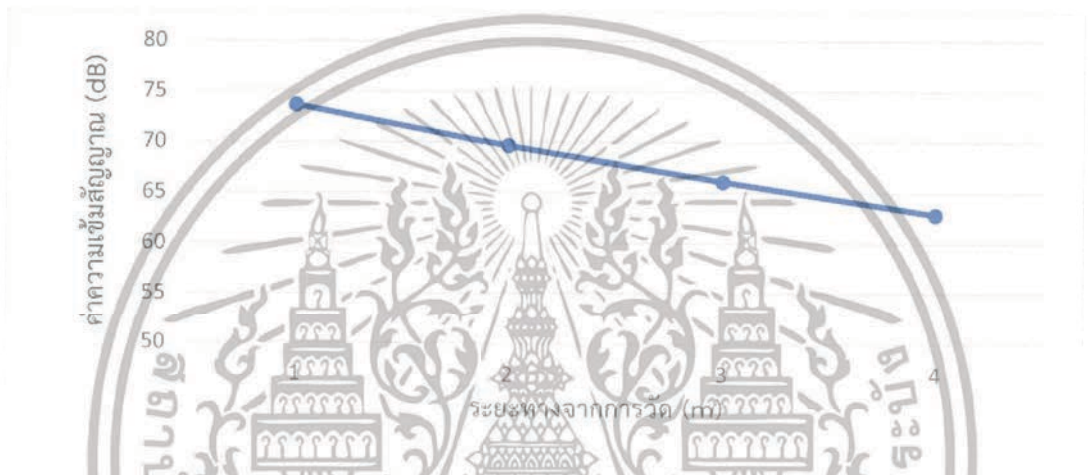
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	68.6	65.2	66	64	63.2	65.4
2	65.4	60.4	62.4	60	61.6	61.96
3	57.8	61.2	60.2	57.8	60	59.4
4	61.4	56.4	57.6	55.8	54.6	57.16

ตารางที่ 4.69 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	73.2	72.6	72.8	73.2	72.8	72.92
2	69.8	70.4	70.8	68.8	69.8	69.92
3	66	66.4	65	65.4	65.4	65.64
4	61	61.2	61	61.8	62.2	61.44

ตารางที่ 4.70 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	72.2	73	72.6	71.6	72.4	72.36
2	68.2	68.2	69	67.8	68.4	68.32
3	65.2	64.8	65.6	65.4	64	65
4	62.4	63.8	62.2	60.8	61.8	62.2



รูปที่ 4.67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

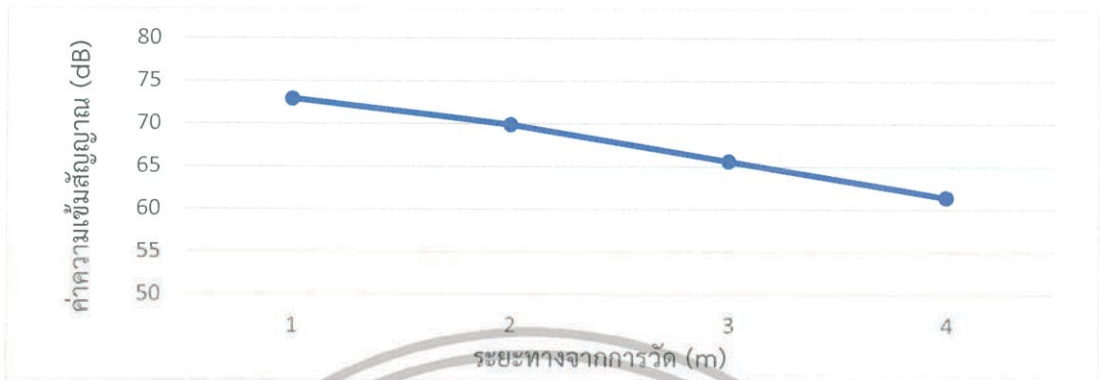
จากรูปที่ 4.67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 90 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 90 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

จากรูปที่ 4.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 90 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 90 องศา

จากรูปที่ 4.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 90 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร

4.3.2.3 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ตารางที่ 4.71 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	69.6	66.6	63.6	64.2	63	65.4
2	64.2	63	63.8	63.4	64	63.68
3	62.4	63.8	57.2	55.4	62.6	60.28
4	60.4	57.6	58	55.4	58	57.88

ตารางที่ 4.72 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	66	64.4	62.6	59.2	61.6	62.76
2	60.2	59.4	60	57	53.2	57.96
3	58.6	58.8	57.6	52	47	54.8
4	56.6	55	48.8	51	49	52.08

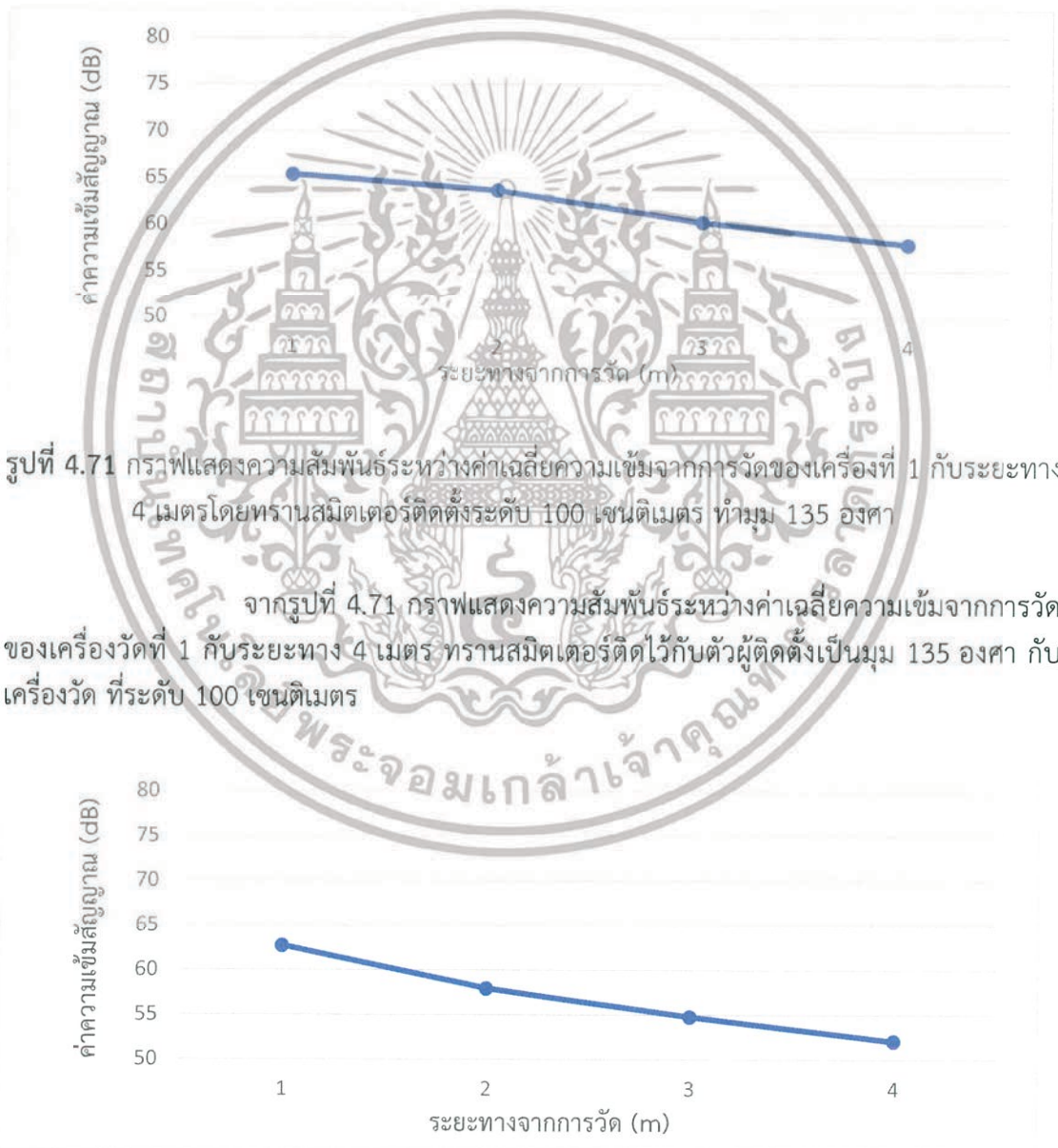
ตารางที่ 4.73 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	67.4	66.4	65	66.8	65.2	66.16
2	62	61.8	61	60.4	62	61.44
3	59	58.6	58	59.8	60	59.08
4	55.8	55	57.8	56.4	58	56.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.74 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

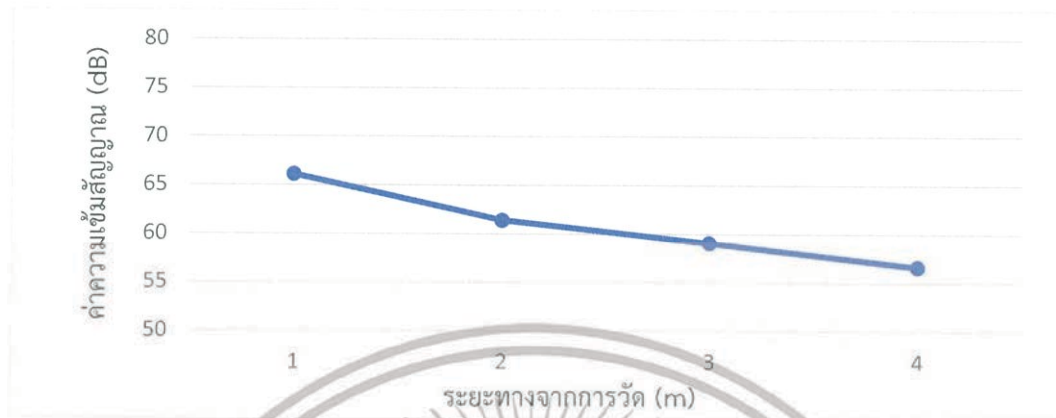
ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	69.4	68.6	65.2	65.6	65.6	66.88
2	64.8	65.4	63.2	62.6	61.4	63.48
3	58.8	63.4	59.4	61.8	57	60.08
4	61	61.6	58	57.4	54	58.4



รูปที่ 4.72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร ทราบสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 135 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทราบสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

จากรูปที่ 4.73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร ทราบสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 135 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยทราบสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 135 องศา

จากรูปที่ 4.74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร ทราบสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 135 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.4 ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ตารางที่ 4.75 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	65.6	66	59.4	56	62	61.8
2	52.8	54.8	62	61.2	59.2	58
3	57.2	56.6	58.6	56.2	58.4	57.4
4	52	60.8	59.2	54.8	50.8	55.52

ตารางที่ 4.76 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	60.2	60	61	60.8	56.8	59.76
2	57.8	55.6	60.8	58.6	57.8	58.12
3	59	51.8	52.4	53.8	54	54.2
4	54.6	50	54	52.4	51.2	52.44

ตารางที่ 4.77 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	64.2	63.6	70	69	63.6	66.08
2	58.8	62.4	62.4	58.8	54.2	59.32
3	59	58	57	55.6	58	57.52
4	55.2	58.2	55.6	54	54.8	55.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.78 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	62	61.4	61.8	63.2	62.4	62.16
2	61.6	58.6	53.8	55.4	62.8	58.44
3	56.2	54.2	57	56.75	57	56.23
4	56.6	56.4	56.8	56.4	53.6	55.96



รูปที่ 4.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

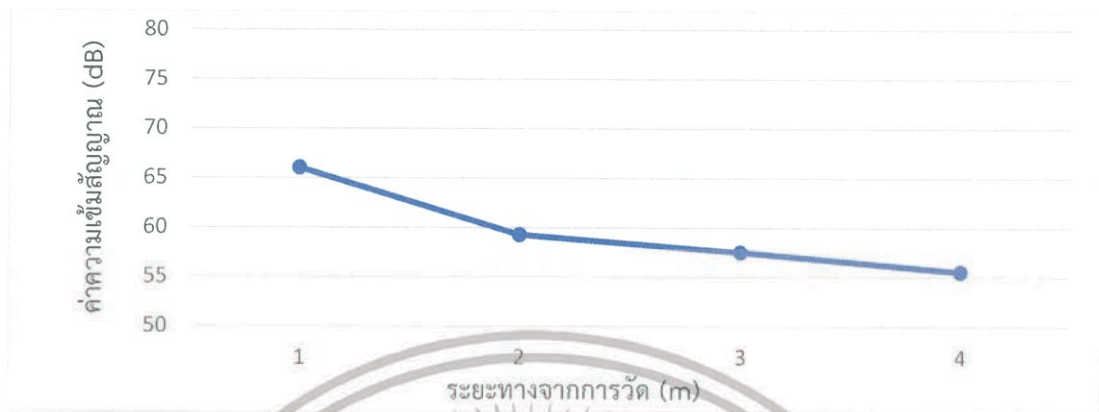
จากรูปที่ 4.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร ทรานสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 180 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทรานสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

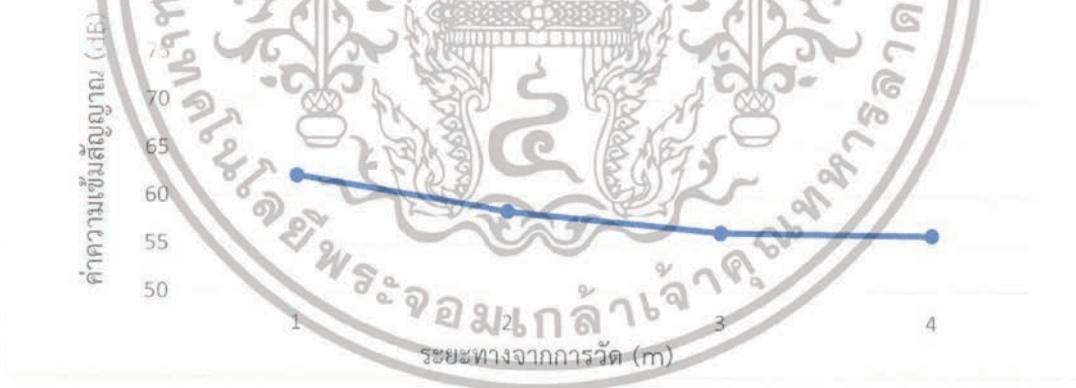
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร ทราบสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 180 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทราบสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

จากรูปที่ 4.77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร ทราบสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 180 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตรโดยทราบสมิตเตอร์ติดตั้งระดับ 100 เซนติเมตร ทำมุม 180 องศา

จากรูปที่ 4.78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องวัดที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร ทราบสมิตเตอร์ติดตั้งไว้กับตัวผู้ติดตั้งเป็นมุม 180 องศา กับเครื่องวัด ที่ระดับ 100 เซนติเมตร

4.4 ปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบ

การทดสอบตัว Transmitter และ Receiver ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบ คือ ความชื้น ดังการทดลองที่ 4.4.1

4.4.1 ความชื้น

การทดสอบตัว Transmitter และ Receiver ในสภาวะภายนอกที่มีความชื้นมาเกี่ยวข้อง โดยมีการวัดค่าความเข้มเป็นระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของระยะทางแต่ละเมตร เพื่อวิเคราะห์ว่าความชื้นจัดเป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบหรือไม่

ตารางที่ 4.79 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 1 โดยมีปัจจัยจากความชื้น

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 1					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.2	77	76.2	78	77.8	77.24
2	73.8	73.6	75.2	74	74.2	74.16
3	70.8	70.6	72	71.4	71.2	71.2
4	69.4	68	69	68.4	68.6	68.68

ตารางที่ 4.80 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 2 โดยมีปัจจัยจากความชื้น

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 2					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	77.6	77	76.8	78.2	77.6	77.44
2	75.2	75	74.6	75.4	75	75.04
3	73	73.2	72.6	74	73.4	73.24
4	70	69.6	69.8	68.8	70.2	69.68

ตารางที่ 4.81 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตรทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 3 โดยมีปัจจัยจากความชื้น

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 3					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.4	77.6	77.6	78	77.4	77.8
2	74	74.4	74.8	73.8	75.2	74.44
3	70.2	69.8	69.8	72.2	71.4	70.68
4	69	68.2	67	68	67.8	68

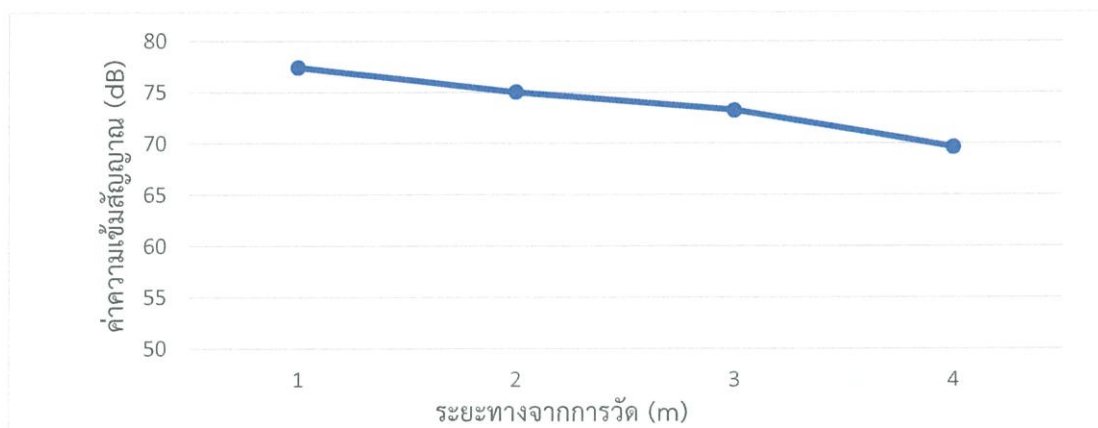
ตารางที่ 4.82 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มจากการตรวจวัดระยะทาง 4 เมตร ทั้งหมด 5 ครั้งของเครื่องที่ 4 โดยมีปัจจัยจากความชื้น

ระยะทาง (เมตร)	เครื่องที่ 4					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	78.4	77.6	77	77.2	77.4	77.52
2	73	73.2	73	74.2	73.8	73.44
3	69.6	68.6	70.2	70.4	69	69.56
4	66.8	67	66	66.4	67.8	66.8



รูปที่ 4.79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 1 กับระยะทาง 4 เมตร โดยมีปัจจัยจากความชื้น

จากรูปที่ 4.79 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มกับระยะทางไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีความชื้นเข้ามาข้องเกี่ยว หรือกล่าวคือความชื้นไม่มีผลต่อการวัดค่าความเข้มสัญญาณ



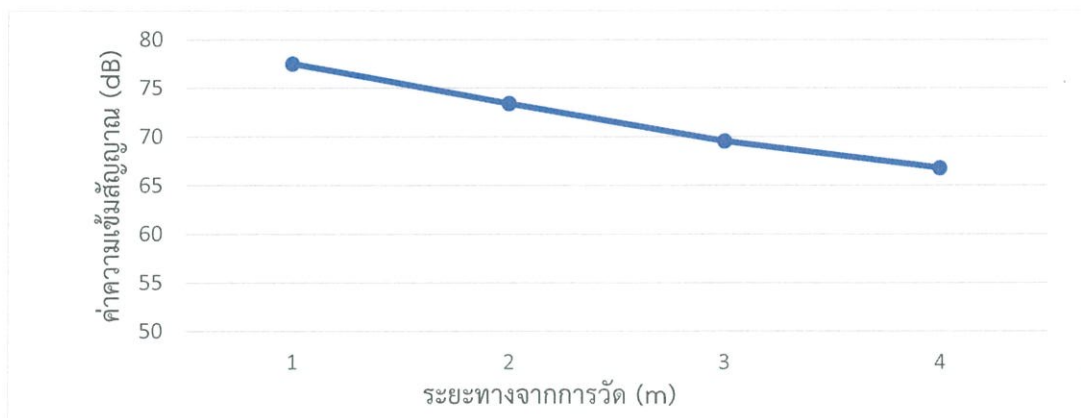
รูปที่ 4.80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 2 กับระยะทาง 4 เมตร โดยมีปัจจัยจากความชื้น

จากรูปที่ 4.80 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มกับระยะทางไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีความชื้นเข้ามาข้องเกี่ยว หรือกล่าวคือความชื้นไม่มีผลต่อการวัดค่าความเข้มสัญญาณ



รูปที่ 4.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 3 กับระยะทาง 4 เมตร โดยมีปัจจัยจากความชื้น

จากรูปที่ 4.81 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มกับระยะทางไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีความชื้นเข้ามาข้องเกี่ยว หรือกล่าวคือความชื้นไม่มีผลต่อการวัดค่าความเข้มสัญญาณ



รูปที่ 4.82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มจากการวัดของเครื่องที่ 4 กับระยะทาง 4 เมตร โดยมีปัจจัยจากความชื้น

จากรูปที่ 4.82 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มกับระยะทางไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีความชื้นเข้ามาข้องเกี่ยว หรือกล่าวคือความชื้นไม่มีผลต่อการวัดค่าความเข้มสัญญาณ

4.5 การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมและเครื่องมือในสถานที่จริง

เป็นการทดสอบเครื่องวัดกับสนามขนาดต่าง ๆ คือ สนามขนาด 2x2 เมตร, 4x4 เมตร, 8x8 เมตร

4.5.1 ทดสอบกับขนาดสนาม 2x2 เมตร

การทดสอบตัวโปรแกรม โดยโปรแกรมจะแสดงเป็นค่าระยะห่างระหว่าง Transmitter และ Receiver และแสดงตำแหน่งโดยบอกเป็นพิกัดแกนตั้งและแกนนอน โดยจะแบ่งเงื่อนไขการทดสอบเป็นขอบเขตความกว้างและความยาวของสนาม ที่ความกว้าง 2 เมตร และความยาว 2 เมตร

ตารางที่ 4.83 แสดงค่าระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่ง และแสดงตำแหน่งในแกนตั้งและแกนนอน ในสนามขนาด 2x2 เมตร

สนามขนาด 2x2					
	ระยะที่พิกัดต่างๆจากเครื่อง				
	(0,0)	(1,1)	(-1,1)	(-1,-1)	(1,-1)
ระยะจากเครื่องที่ 1 (D1)	1.41	1.86	0.06	1.99	2.85
ระยะจากเครื่องที่ 2 (D2)	1.49	2.91	2.07	0.02	1.93
ระยะจากเครื่องที่ 3 (D3)	1.45	1.85	2.75	2.05	0.03
ระยะจากเครื่องที่ 4 (D4)	1.44	0.1	1.79	2.89	2.02
ระยะพิกัด X	0.01	1.06	-1.03	-1.07	0.97
ระยะพิกัด Y	0.03	1.05	0.94	-1.01	1.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.83 แสดงให้เห็นถึงค่าระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ ทั้ง 4 เครื่อง และตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณทั้งในแกนตั้งและแกนนอนที่ขนาดพื้นที่ทดสอบมีความยาว 2 เมตร และกว้าง 2 เมตร ได้ค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์อยู่ที่ 4%

4.5.2 ทดสอบกับขนาดสนาม 4x4 เมตร

การทดสอบตัวโปรแกรม โดยโปรแกรมจะแสดงเป็นค่าระยะห่างระหว่าง Transmitter และ Receiver และแสดงตำแหน่งโดยบอกเป็นพิกัดแกนตั้งและแกนนอน โดยจะแบ่งเงื่อนไขการทดสอบเป็นขอบเขตความกว้างและความยาวของสนาม ที่ความกว้าง 4 เมตร และความยาว 4 เมตร

ตารางที่ 4.84 แสดงค่าระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่ง และแสดงตำแหน่งในแกนตั้งและแกนนอน ในสนามขนาด 4x4 เมตร

สนามขนาด 4x4					
	ระยะที่พิกัดต่างๆจากเครื่อง				
	(0,0)	(2,2)	(-2,2)	(-2,-2)	(2,-2)
ระยะจากเครื่องที่ 1 (D1)	2.76	3.91	0.02	4.08	5.64
ระยะจากเครื่องที่ 2 (D2)	2.68	5.78	3.97	0.06	4.01
ระยะจากเครื่องที่ 3 (D3)	2.87	3.89	5.66	3.91	0.03
ระยะจากเครื่องที่ 4 (D4)	2.83	0.12	4.06	5.73	3.98
ระยะพิกัด X	0.03	1.98	-2.09	-1.98	2.08
ระยะพิกัด Y	0.07	2.01	2.13	-2.04	-1.92

จากตารางที่ 4.84 แสดงให้เห็นถึงค่าระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ ทั้ง 4 เครื่อง และตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณทั้งในแกนตั้งและแกนนอนที่ขนาดพื้นที่ทดสอบมีความยาว 4 เมตร และกว้าง 4 เมตร ได้ค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์อยู่ที่ 6.6%

4.5.3 ทดสอบกับขนาดสนาม 8x8 เมตร

การทดสอบตัวโปรแกรม โดยโปรแกรมจะแสดงเป็นค่าระยะห่างระหว่าง Transmitter และ Receiver และแสดงตำแหน่งโดยบอกเป็นพิกัดแกนตั้งและแกนนอน โดยจะแบ่งเงื่อนไขการทดสอบเป็นขอบเขตความกว้างและความยาวของสนาม ที่ความกว้าง 8 เมตร และความยาว 8 เมตร

ตารางที่ 4.85 แสดงค่าระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่ง และแสดงตำแหน่งในแกนตั้งและแกนนอน ในสนามขนาด 8x8 เมตร

สนามขนาด 8x8					
	ระยะที่พิกัดต่างๆจากเครื่อง				
	(0,0)	(8,8)	(-8,8)	(-8,-8)	(8,-8)
ระยะจากเครื่องที่ 1 (D1)	5.56	7.77	0.08	8.13	11.17
ระยะจากเครื่องที่ 2 (D2)	5.98	11.54	8.14	0.17	7.76
ระยะจากเครื่องที่ 3 (D3)	5.91	8.11	11.19	7.92	0.12
ระยะจากเครื่องที่ 4 (D4)	5.78	0.07	7.81	11.43	8.14
ระยะพิกัด X	0.12	8.04	-8.13	-7.86	8.03
ระยะพิกัด Y	0.06	7.89	8.11	-8.17	-7.92

จากตารางที่ 4.85 แสดงให้เห็นถึงค่าระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ ทั้ง 4 เครื่อง และตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณทั้งในแกนตั้งและแกนนอนที่ขนาดพื้นที่ทดสอบมีความยาว 8 เมตร และกว้าง 8 เมตร ได้ค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์อยู่ที่ 10.6%

4.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อทำการวัดความเข้มของสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณ จากนั้นจะผ่านกระบวนการประมวลผล ก่อนจะนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่ทดสอบ บันทึกข้อมูล และนำค่าที่ได้มาแสดงเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มสัญญาณกับเงื่อนไขการวัดต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในบางเงื่อนไข ได้ผลสรุป คือ สถานที่ที่เหมาะสมแก่การทำการทดสอบคือลานติกโหล เนื่องจากจากการรบกวนของสัญญาณ ซึ่งเป็นที่เปิดและไม่มีสิ่งกีดขวาง ในส่วนของการวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ติดไว้ด้านหน้าแล้วให้ผู้ทำการทดลองเดินไปตำแหน่งมุมต่างๆ ที่ความสูงแตกต่างกันนั้นมุมที่ต่างกันส่งผลต่อความเข้มสัญญาณที่แสดงออกมาไม่เหมือนกัน ในส่วนติดทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหลังของผู้ทดลองแล้วให้ผู้ทำการทดลองหันหน้าไปที่ยุ้มต่างๆที่ความสูงต่างกันส่งผลต่อความเข้มสัญญาณที่แสดงออกมาไม่เหมือนกัน และปัจจัยภายนอกคือความชื้นนั้นจะไม่ส่งผลต่อการทำการทดลองการวัดนี้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปฏิญญาพันธบัตรนี้นำเสนอหลักการในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของสัญญาณวิทยุ ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มของสัญญาณวิทยุชนิดเอ็คทีฟอาร์เอฟไอดีที่มีการบ่งบอกค่าความเข้มสัญญาณ เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากเอ็คทีฟอาร์เอฟไอดีตัวรับ โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรก คือ สถานที่ทำการวัดที่แตกต่างกันอย่าง โรงเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ ห้องกิจกรรมนักศึกษา หน้าภาควิศวกรรมการวัดคุม และลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น ได้ผลสรุปคือสถานที่ที่เหมาะสมที่สุดในการทำการทดลองคือ ลานพื้นที่ชั้น 3 ตึก 12 ชั้น ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 เนื่องจากสถานที่ดังกล่าวเป็นสถานที่เปิดและไม่มีสิ่งกีดขวาง ทำให้โอกาสที่จะมีสัญญาณรบกวนจากการสะท้อนของคลื่นกับสิ่งกีดขวางน้อยลง ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีความแม่นยำมากที่สุด ส่วนที่สอง คือ ทดสอบโดยวางตำแหน่งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหน้า ที่ความสูงแตกต่างกัน 3 ความสูงได้แก่ ระดับพื้น ระดับสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร และระดับสูงจากพื้น 100 เซนติเมตร แต่ละระดับความสูงแบ่งออกเป็น 3 มุม คือ 45 องศา 90 องศา และ 135 องศา ผลที่ได้คือที่ความสูงต่างกันแต่หากอยู่ในมุมเดียวกันค่าจะใกล้เคียงกัน ส่วนที่สาม คือ ทดสอบโดยติดตั้งทรานสมิตเตอร์ไว้ด้านหลังของผู้ทดลองแล้วให้ผู้ทำการทดลองหันหน้าไปที่ยุทธภัณฑ์ที่ความสูงต่างกัน 2 ความสูงได้แก่ ระดับสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร และระดับสูงจากพื้น 100 เซนติเมตร แต่ละความสูงแบ่งออกเป็น 4 มุม คือ 45 องศา 90 องศา 135 องศา และ 180 องศา ผลที่ได้คือที่ความสูงต่างกันแต่หากผู้ทำการทดลองหันหน้าไปมุมเดียวกันค่าจะใกล้เคียงกัน และส่วนสุดท้าย คือ ปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าที่ความชื้นต่างกัน ไม่ส่งผลต่อความเข้มสัญญาณที่แสดงออกมา

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงงานนี้ยังไม่สมบูรณ์มากนัก ในเรื่องการควบคุมสัญญาณรบกวนจากการทำการทดลอง และอุปกรณ์ที่มีสเปคสูงยิ่งขึ้นจะทำให้ความแม่นยำในการวัดเพิ่มมากขึ้น หากควบคุมสัญญาณรบกวนทั้งหมดได้ จะส่งผลให้ปฏิญญาพันธบัตรนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายสามารถนำไปใช้วงการวิทยาศาสตร์การศึกษา เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพจากการเคลื่อนที่ของนักกีฬา หรือนำไปใช้ระบุตำแหน่งของสิ่งของหลายสิ่งในสถานที่เดียวกัน เป็นต้น สามารถนำไปต่อยอดศึกษา เช่น สัญญาณรบกวนส่งผลต่อความเข้มสัญญาณจากอุปกรณ์รับสัญญาณได้อย่างไร หรือ เอ็คทีฟอาร์เอฟไอดีที่มีการบ่งบอกค่าความเข้มสัญญาณสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดอะไรได้อีกบ้าง เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] “หลักการทํางานของ RFID”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : www.lampangtc.ac.th (สืบค้น 15 กันยายน 2561).
- [2] “โครงสร้างภายในของเครื่องอ่าน”,2551. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : http://rfid-datacom.blogspot.com/2008/09/reader_1591.html (สืบค้น 17 กันยายน 2561).
- [3] “โครงสร้างภายในแท็ก”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : http://seminaritm26.blogspot.com/p/rfid_2.html (สืบค้น 24 กันยายน 2561).
- [4] “แท็กแบบ Inductive Coupling”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://rfid-datacom.blogspot.com/2008/09/> (สืบค้น 24 กันยายน 2561).
- [5] “แท็กแบบ Microwave Coupling”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification (สืบค้น 25 กันยายน 2561).
- [6] “คลื่นเสริมและคลื่นหักล้าง”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/interf.html> (สืบค้น 29 กันยายน 2561).
- [7] “รูปแบบการแผ่กำลังงาน”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://hobbyelec.wordpress.com/> (สืบค้น 29 กันยายน 2561).
- [8] “หลักการสํานองของอุปกรณ์รับ-ส่งคําสัญญานจากการวัด”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : http://rfid-datacom.blogspot.com/2008/09/rfid_2832.html (สืบค้น 29 กันยายน 2561).
- [9] สุรียา สีทอง, “การออกแบบ RFID Tag เพื่อใช้ในวัสดุของเหลว”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/7129/2/Fulltext.pdf> (สืบค้น 30 กันยายน 2561).
- [10] “RF8315T 8 Meters Long Range Active RFID Transmitter”. [Online] Available : <https://www.ananiaelectronics.com/product-page/rf8315t-8-meters-long-range-active-rfid-transmitter> (Search oct 12, 2019).

- [11] “RF9315Rs-USB Slim Active RFID Receiver with RSSI, USB Interface”. [Online]. Available : <https://www.ananiahelectronics.com/product-page/rf9315rs-usb-slim-active-rfid-receiver-with-rssi-usb-interface> (Search oct 17, 2019).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

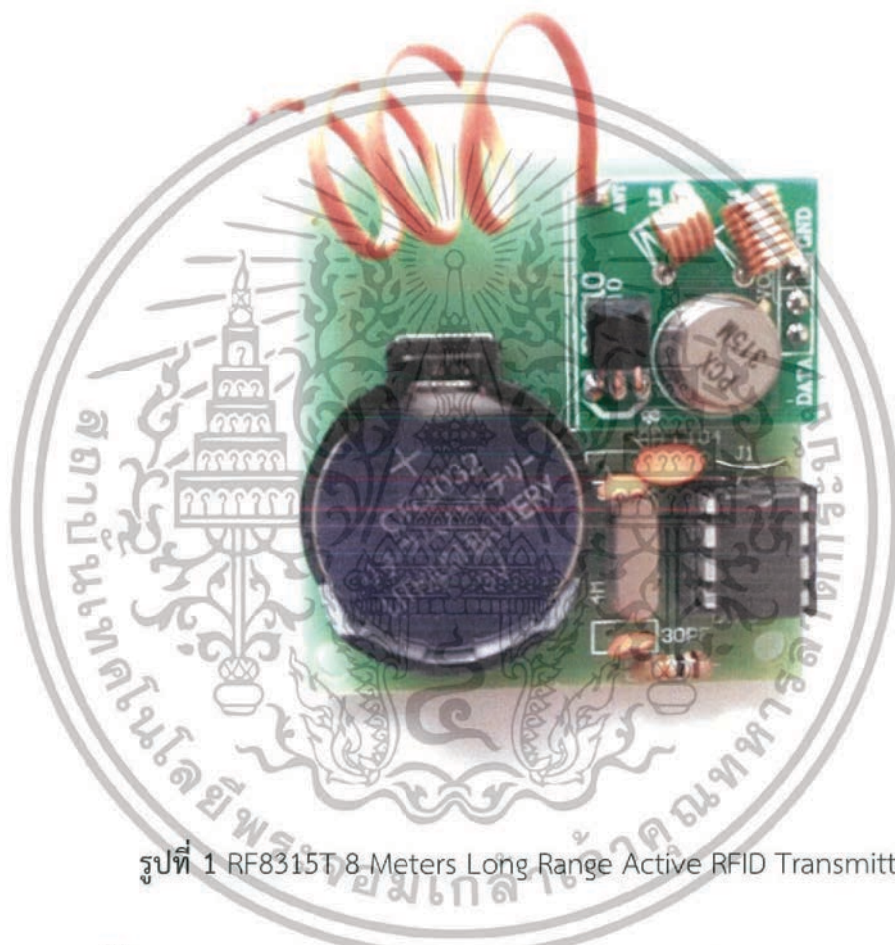


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก A

SPECIFICATION ของอุปกรณ์

1. เครื่องส่งสัญญาณ RF8315T 8 Meters Long Range Active RFID Transmitter [10]



รูปที่ 1 RF8315T 8-Meters Long Range Active RFID Transmitter

คุณสมบัติของ RF8315T 8 Meters Long Range Active RFID Transmitter

- สามารถทำงานได้กับทุกตัวรับสัญญาณในระยะห่าง 8 เมตร
- ส่งค่าเป็น Characters เฉพาะตัว 4 หลัก แบบฝังมาในตัวเครื่อง
- ส่งค่า Received signal strength indication
- ส่งข้อมูลทุกๆประมาณ 2.5 วินาที
- ไม่ต้องต่อสายไฟเมื่อให้พลังงาน โดยใส่แบตเตอรี่ชนิด CR2032
- มีย่านความถี่ที่ 433 เมกกะเฮิร์ต
- ขนาดเครื่อง 4 เซนติเมตร x 4.5 เซนติเมตร x 1.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องส่งสัญญาณ RF9315Rs-USB Slim Active RFID Receiver with RSSI, USB Interface [11]



รูปที่ 2 RF9315Rs-USB Slim Active RFID Receiver with RSSI, USB Interface

คุณสมบัติของ RF9315Rs-USB Slim Active RFID Receiver with RSSI, USB Interface

- ทำงานได้กับทรานสมิตเตอร์ทุกตัว
- สามารถใช้งานได้กับทรานสมิตเตอร์ 80 ตัวพร้อมกัน
- ย่านการทำงานขึ้นอยู่กับชนิดของทรานสมิตเตอร์
- มีย่านความถี่ที่ 433 เมกกะเฮิร์ต
- สามารถเสียบใช้งานได้ทันทีไม่จำเป็นต้องลงไดรเวอร์
- โปรแกรมอนุกรมมีการอ่านข้อมูลแบบ Hypertminal
- ต้องตั้งค่า baud rate = 9,600, 8 bits, no parity และ 1 stop bit
- ขนาดเครื่อง 9 เซนติเมตร x 5.5 เซนติเมตร x 2.2 เซนติเมตร
- ความยาวสาย 135 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.IO.Ports;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using MySql.Data.MySqlClient;

namespace Analysis4
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        Image image;
        Rectangle rect;
        int d = 0;
        string g = "TEST";
        int t = 1;
        int a = 2;
        double d1 = 0;
        double d2 = 0;
        double d3 = 0;
        double d4 = 0;
        double X = 0; //0
        double Y = 0; //0
        private object serialPort;
        string[] ports = SerialPort.GetPortNames();

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            image = Analysis4.Properties.Resources.Sports_Running_Man_icon;
            rect = new Rectangle(575, 150, 25, 25);
        }
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    updatePort();
    //*****เครื่อง1*****
    serialPort = new SerialPort();
    SerialPort mySerialPort1 = new SerialPort("COM3");
    mySerialPort1.BaudRate = 9600;
    mySerialPort1.Parity = Parity.None;
    mySerialPort1.StopBits = StopBits.One;
    mySerialPort1.DataBits = 8;
    mySerialPort1.Handshake = Handshake.None;
    mySerialPort1.RtsEnable = true;
    mySerialPort1.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(DataReceivedHandler1);
    mySerialPort1.Open();
    //*****เครื่อง2*****
    serialPort = new SerialPort(); // if u r not used Serial Port
Tool
    SerialPort mySerialPort2 = new SerialPort("COM8");
    mySerialPort2.BaudRate = 9600;
    mySerialPort2.Parity = Parity.None;
    mySerialPort2.StopBits = StopBits.One;
    mySerialPort2.DataBits = 8;
    mySerialPort2.Handshake = Handshake.None;
    mySerialPort2.RtsEnable = true;
    mySerialPort2.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(DataReceivedHandler2);
    mySerialPort2.Open();
    //*****เครื่อง3*****
    serialPort = new SerialPort(); // if u r not used Serial Port
Tool
    SerialPort mySerialPort3 = new SerialPort("COM9");
    mySerialPort3.BaudRate = 9600;
    mySerialPort3.Parity = Parity.None;
    mySerialPort3.StopBits = StopBits.One;
    mySerialPort3.DataBits = 8;
    mySerialPort3.Handshake = Handshake.None;
    mySerialPort3.RtsEnable = true;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mySerialPort3.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(DataReceivedHandler3);
mySerialPort3.Open();
//*****เครื่อง4*****
serialPort = new SerialPort();           // if u r not used Serial Port

```

Tool

```

SerialPort mySerialPort4 = new SerialPort("COM10");
mySerialPort4.BaudRate = 9600;
mySerialPort4.Parity = Parity.None;
mySerialPort4.StopBits = StopBits.One;
mySerialPort4.DataBits = 8;
mySerialPort4.Handshake = Handshake.None;
mySerialPort4.RtsEnable = true;
mySerialPort4.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(DataReceivedHandler4);

mySerialPort4.Open();
textBox7.Text = a + " m";
textBox8.Text = a + " m";
}
private void updatePort()
{
string[] ports = SerialPort.GetPortNames();
}
private void DataReceivedHandler1(object sender, SerialDataReceivedEventArgs
e)
{
//*****เครื่อง1*****
Thread.Sleep(1000);
SerialPort serialPort = (SerialPort)sender;
String indata = serialPort.ReadExisting();

char[] Indata1 = indata.ToCharArray();

int x1 = (int)Indata1[4] - 48;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int y1 = (int)lndata1[5] - 48;
int z1 = (x1 * 10) + y1;
double Z1 = (z1 - 81.55) / -3.9125;
Z1 = System.Math.Round(Z1, 2);
d1 = Z1;
//*****คำนวณหาพิกัด X และ Y *****
double c = (d1 * d1) - (d3 * d3);
double f = (d2 * d2) - (d4 * d4);
double x = ((c * (2 * a)) - (f * -(2 * a))) / (((2 * a) * (2 * a)) - (-(2 * a) * (2 * a)));
//16
x = System.Math.Round(x, 2);
X = x;

double y = ((c * (2 * a)) - ((2 * a) * f)) / ((-(2 * a) * (2 * a)) - ((2 * a) * (2 * a)));
y = System.Math.Round(y, 2);
Y = y;
}

private void DataReceivedHandler2(object sender, SerialDataReceivedEventArgs
e)
{
//*****เครื่อง2*****
Thread.Sleep(1000);
SerialPort serialPort = (SerialPort)sender;
String lndata = serialPort.ReadExisting();
char[] lndata2 = lndata.ToCharArray();
int x2 = (int)lndata2[4] - 48;
int y2 = (int)lndata2[5] - 48;
int z2 = (x2 * 10) + y2;
double Z2 = (z2 - 84.22) / -5.5;
Z2 = System.Math.Round(Z2, 2);
d2 = Z2;
}

private void DataReceivedHandler3(object sender, SerialDataReceivedEventArgs
e)
{
//*****เครื่อง3*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Thread.Sleep(1000);
SerialPort serialPort = (SerialPort)sender;
String indata = serialPort.ReadExisting();
char[] Indata3 = indata.ToCharArray();
int x3 = (int)Indata3[4] - 48;
int y3 = (int)Indata3[5] - 48;
int z3 = (x3 * 10) + y3;
double Z3 = (z3 - 83.44) / -6;
Z3 = System.Math.Round(Z3, 2);
d3 = Z3;
}
private void DataReceivedHandler4(object sender, SerialDataReceivedEventArgs
e)
{
//*****เครื่อง4*****
Thread.Sleep(1000);
SerialPort serialPort = (SerialPort)sender;
String indata = serialPort.ReadExisting();
char[] Indata4 = indata.ToCharArray();
int x4 = (int)Indata4[4] - 48;
int y4 = (int)Indata4[5] - 48;
int z4 = (x4 * 10) + y4;
double Z4 = (z4 - 83.37) / -6.41;
Z4 = System.Math.Round(Z4, 2);
d4 = Z4;
}
private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
{
Graphics g = e.Graphics;
g.DrawImage(image, rect);
}
private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
//*****Graphic*****
double X2 = (200 / a) * X;
double Y2 = (200 / a) * Y;
int Xt = Convert.ToInt32(X2);
int Yt = Convert.ToInt32(Y2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

rect.X = 585 + (1 * Xt);
rect.Y = 170 + (-1 * Yt);
Invalidate();
//*****Show Value in Textbox*****
textBox1.Text = (d1 + " Metres".ToString());
textBox2.Text = (d2 + " Metres".ToString());
textBox3.Text = (d3 + " Metres".ToString());
textBox4.Text = (d4 + " Metres".ToString());
textBox5.Text = (X.ToString());
textBox6.Text = (Y.ToString());
}
private void timer2_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    string sql = "INSERT INTO test3 (d1,d2,d3,d4) VALUES(" + d1 + "," + d2 + ","
+ d3 + "," + d4 + ")";
    MySqlConnection con = new
MySqlConnection("host=localhost;user=test;password=123456;database=testdatabase
");
    MySqlCommand cmd = new MySqlCommand(sql, con);
    con.Open();
    cmd.ExecuteNonQuery();
    con.Close();
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้