

แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายไวร์เลสแดน  
ในพื้นที่ภายนอกอาคารมาตรฐาน IEEE 802.11b/g

OUTDOOR PROPAGATION MODELS FOR WLAN  
STANDARD IEEE 802.11b/g

นุชนาท ทัพทองลาด  
NUTCHANATH THPKONGLAD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KIITL-2009-EN-M-010-078

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายไร้สาย  
พื้นที่ภายนอกอาคารมาตรฐาน IEEE 802.11b/g**

**OUTDOOR PROPAGATION MODELS FOR WLAN  
STANDARD IEEE 802.11b/g**



**นุชนาฏ ทิปกองลาด  
NUTCHANATH TIPKONGLAD**

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**104505**  
วัน,เดือน,ปี.....**4 พ.ย. 2552**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL 2009-EN-M-010-078

**OUTDOOR PROPAGATION MODELS FOR WLAN  
STANDARD IEEE 802.11b/g**

**NUTCHANATH TIPKONGLAD**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2009**

**KMITL 2009-EN-M-010-078**

**COPYRIGHT 2009**

**FACULTY OF ENGINEERING**

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

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

หัวข้อวิทยานิพนธ์   แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุภายนอกอาคารสำหรับระบบไวร์เลสแลนมาตรฐาน  
IEEE 802.11 b/g

**Thesis Title**       Outdoor Propagation Models for WLAN Standard IEEE 802.11 b/g

**นักศึกษา**           นางสาวนุชนาฏ   ทิพกองลาด

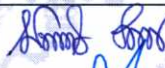

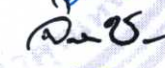

**รหัสประจำตัว**       48060917

**ปริญญา**           วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา**       วิศวกรรมโทรคมนาคม

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**    ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

**หมายเลขวิทยานิพนธ์**           KMITL-2009-EN-M-010-078

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.มนตรี	คำเงิน	
ดร.ศรวัฒน์	ชีวิปรีชา	
รศ.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	
ผศ.ดร.พิเชฐ	ม่วงนวล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ   วันอังคารที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 15.00-17.00 น.

สถานที่สอบ   ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย ไวร์เลสแลนพื้นที่ภายนอกอาคารมาตรฐาน IEEE 802.11b/g
นักศึกษา	นางสาวนุชนาฏ ทิพกองลาด
รหัสนักศึกษา	48060917
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเพื่อใช้ในการออกแบบติดตั้ง แอคเซสพ้อย (Access Point) สำหรับเครือข่าย WLAN (Wireless Local Area Network) มาตรฐาน IEEE 802.11b/g ในพื้นที่ใช้งานบริเวณพื้นที่ภายนอกอาคาร โดยใช้แบบจำลองโดยการติดตั้งแอคเซสพ้อยเพื่อทดสอบระดับสัญญาณในพื้นที่ต่างๆ เพื่อนำค่าระดับสัญญาณมาสร้างสมการแบบจำลอง ผลการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบกราฟระดับสัญญาณที่แพร่กระจายในเส้นทางที่ได้จากการคำนวณกับการวัดจริงจากพื้นที่ เพื่อทำนายระดับกำลังรับสัญญาณในการหาตำแหน่งติดตั้ง แอคเซสพ้อยสำหรับเครือข่าย WLAN พื้นที่ภายนอกอาคารที่สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

<b>Thesis Title</b>	Outdoor Propagation Models for WLAN Standard IEEE 802.11b/g
<b>Student</b>	Miss Nutchath Tipkonglad
<b>Student ID.</b>	48060917
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Telecommunications Engineering
<b>Year</b>	2009
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Phichet Moungnoul

## **ABSTRACT**

This thesis proposes the propagation pathloss model for access point installation design of Outdoor Wireless Local Area Network standard IEEE 802.11b/g. The model derived from measurement results signal from access point with graph and formulated by curve fitting. The signal levels in several environment have been measured for comparing with the calculated results which predict received power in order to search the deployment position of access point in WLAN outdoor where the signal coverage is the most efficiency

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่เลี้ยงดูให้การสนับสนุนข้าพเจ้าเสมอมาและขอบใจน้องสาวของข้าพเจ้าที่คอยช่วยเหลือในทุกๆด้านซึ่งทุกอย่างเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณพี่ทรงพล มากพานิชย์วัฒน์ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์สำหรับงานวิจัยทั้งหมดจนข้าพเจ้าสามารถดำเนินการเป็นผลสำเร็จ

ขอขอบพระคุณเพื่อนที่แสนดี นันทรัตน์ ธรรมานุชสร, ศิริมงคล สาสี และกฤษฎดา ดวงดี ที่ช่วยในการทดสอบสัญญาณเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยจนงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณหัวหน้างานและเพื่อนๆทุกคนที่สำนักงานของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้เสมอ

ท้ายสุด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นุชนาฏ ทิพกองลาด

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย .....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นของเครือข่ายไร้สาย WLAN.....	6
2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11 Wireless LANs .....	7
2.1.1 มาตรฐาน IEEE 802.11a .....	8
2.1.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b.....	8
2.1.3 มาตรฐาน IEEE 802.11g.....	9
2.2 การออกแบบเครือข่าย WLAN.....	11
2.2.1 ระบบเครือข่าย WLAN แบบ Ad-Hoc.....	11
2.2.2 ระบบเครือข่าย WLAN แบบ Infrastructure.....	11
2.2.2.1 เครือข่าย WLAN แบบ Roaming.....	12
2.2.2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่าย WLAN.....	13
2.3 การวางเครือข่าย WLAN.....	13
2.3.1 การเรียนรู้มาตรฐานเครือข่าย WLAN ให้ทราบว่าแต่ละมาตรฐานมีลักษณะ เด่นอย่างไร.....	14
2.3.2 พื้นที่ให้บริการเครือข่าย WLAN (Coverage Area) .....	14

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3 ความจุของเครือข่าย (Capacity) .....	14
2.3.4 ความปลอดภัยกับเครือข่าย WLAN .....	15
2.4 การเดินสำรวจสัญญาณ.....	15
2.5 สิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อ การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ.....	17
2.5.1 สิ่งแวดล้อมจากธรรมชาติและปรากฏการณ์ต่าง .....	17
2.5.1.1 สิ่งแวดล้อมจากธรรมชาติได้แก่สภาพทางภูมิประเทศและสภาพทาง อุตุนิยมสภาพทางภูมิประเทศ.....	17
2.5.1.2 ปรากฏการณ์.....	17
2.5.1.3 สิ่งแวดล้อมอันเกิดจากมนุษย์ทำขึ้น.....	17
2.5.2 ผลกระทบอันเกิดจากสภาพทางภูมิประเทศ .....	18
<b>บทที่ 3 การลดทอนสัญญาณจากการแพร่กระจายคลื่น.....</b>	<b>19</b>
3.1 การแพร่กระจายคลื่น.....	19
3.2 พื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น (Basic propagation mechanisms).....	22
3.2.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection).....	22
3.2.2 การหักเหของคลื่น (Diffraction).....	26
3.2.3 การกระเจิงของคลื่น (Scattering).....	29
3.3 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ.....	29
3.4 แบบจำลองทั้งหมดการแพร่กระจายที่มีผู้นำเสนอไว้.....	30
3.4.1 แบบจำลองทั้งหมด Free Space Loss [5].....	30
3.4.2 แบบจำลองทั้งหมด Lopaz model [6].....	30
3.4.3 แบบจำลองทั้งหมด Large Scale Fading Modeling [7].....	32
3.4.4 แบบจำลองทั้งหมด COST231-Walfisch-Ikegami [8].....	32
3.4.5 แบบจำลองทั้งหมด Weissberger[9].....	33
<b>บทที่ 4 การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์.....</b>	<b>36</b>
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลโดย Regression Analysis.....	37
4.1.1 ลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลโดย Regression Analysis.....	38
4.1.2 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical significance) .....	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2.1 T-Statistic.....	38
4.1.2.2 F-Statistic.....	38
4.1.2.3 Coefficient of determination.....	39
4.2 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูล 2 ตัวแปร.....	41
4.2.1 ความสัมพันธ์ในข้อมูลเชิงปริมาณ.....	41
4.2.2 แผนภาพการกระจาย.....	41
4.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression) .....	43
4.4 การหาสมการถดถอยแบบเชิงเส้น.....	44
บทที่ 5 วิธีการนำเสนอและผลการทดสอบ.....	48
5.1 การออกแบบวางตำแหน่งแอคเซสพ้อยในพื้นที่ภายนอกอาคาร.....	55
5.2 สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ.....	71
5.3 การทดสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ.....	74
5.3.1 พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง.....	74
5.3.2 พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ.....	75
5.3.3 พื้นที่ป่าไม้.....	76
5.3.4 พื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง .....	77
5.4 การติดตั้งแอคเซสพ้อยในพื้นที่ต่างๆ.....	78
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	81
บรรณานุกรม.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	81

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการรับส่งข้อมูลต่อระยะทางโดยประมาณของเครือข่าย WLAN.....	10
2.2 ประเภทของสิ่งกีดขวางและอัตราการลดทอนสัญญาณ.....	16
3.1 ตัวเลขที่ใช้แทนค่าพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองทั้งหมดการลดทอนสัญญาณด้วยโปรแกรม NS2.....	31
5.1 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยต่อระยะทาง (เมตร) ในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง.....	58
5.2 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยต่อระยะทาง (เมตร) ในพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ.....	59
5.3 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยต่อระยะทาง (เมตร) ในพื้นที่ป่าไม้.....	60
5.4 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยต่อระยะทาง (เมตร) ในพื้นที่ใกล้สิ่งปลูกสร้าง.....	61
5.5 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระดับความสูงของแอคเซสพ้อยที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง.....	65
5.6 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระดับความสูงของแอคเซสพ้อยที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ.....	65
5.7 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระดับความสูงของแอคเซสพ้อยที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ป่า.....	66
5.8 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระดับความสูงของแอคเซสพ้อยที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง.....	66
5.9 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่เปรียบเทียบกับความถี่ของแอคเซสพ้อยในแต่ละห้องสัญญาณเพื่อรวมรวมเป็นค่าเฉลี่ยของระดับกำลังรับสัญญาณสำหรับใช้งานทุกพื้นที่.....	69
5.10 ค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตร( $A_0$ ) และค่าความชันจากระยะทาง( $B_0$ ) ความสูง ( $B_{hc}$ ) และความถี่( $B_{fc}$ ).....	71

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบไวร์เลสแลน.....	6
2.2 ความถี่ย่าน ISM Band (Industrial Scientific and Medical Band).....	7
2.3 การแบ่งช่องสัญญาณของ IEEE 802.11b.....	8
2.4 อัตราในการรับ-ส่งข้อมูลของ 802.11b เทียบกับ 802.11g ตามระยะทาง.....	10
2.5 แสดง BSS และ ESS.....	11
2.6 แสดงการทำงานในโหมด Adhoc หรือ Peer-to-Peer Mode.....	12
2.7 ขั้นตอนการศึกษาเพื่อการออกแบบระบบเครือข่าย WLAN.....	15
2.8 ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้จากการสำรวจสัญญาณ.....	16
3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก.....	21
3.2 การสะท้อนของคลื่น.....	23
3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก.....	25
3.4 หลักการของ Huygen.....	26
3.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง.....	27
3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen.....	27
3.7 การแพร่กระจายคลื่นระหว่างตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณผ่านใบไม้ (Propagation in Foliage).....	33
4.1 แสดงการจัดแบ่ง การวิเคราะห์ความถดถอยตามชนิดของข้อมูลที่ต้องการจะวิเคราะห์.....	37
4.2 แสดงลำดับการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอย.....	38
4.3 ความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันจากแผนภาพการกระจาย.....	42
4.4 แผนภาพการกระจายของจตุรรอบเส้นถดถอย.....	45
5.1 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ไร้สิ่งกีดขวางบริเวณสนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....	49
5.2 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำบริเวณเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์.....	49
5.3 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ป่าไม้บริเวณทุ่งแสลงหลวง.....	50
5.4 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างบริเวณลานจอดรถศึก KPN.....	50
5.5 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ไร้สิ่งกีดขวางกับการคำนวณ โดยแบบจำลอง Free Space LOSS , Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger.....	51

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำกับการคำนวณโดยแบบจำลอง Free Space LOSS ,Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger .....	52
5.7 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ป่าไม้การคำนวณ โดยแบบจำลอง Free Space LOSS ,Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger .....	53
5.8 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างกับการคำนวณด้วยแบบจำลอง Free Space LOSS ,Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger .....	54
5.9 อุปกรณ์วัดค่าสัญญาณและอุปกรณ์กระจายสัญญาณ .....	55
5.10 ลำดับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการลดทอนสัญญาณทางคณิตศาสตร์.....	56
5.11 กราฟแสดงระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรและความชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางจากพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง .....	62
5.12 กราฟแสดงระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรและความชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางจากพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ .....	63
5.13 กราฟแสดงระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรและความชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางจากพื้นที่ป่าไม้ .....	64
5.14 กราฟแสดงระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรและความชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางจากพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง .....	64
5.15 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระดับความสูงในการติดตั้งแอกเซสพ้อยจากพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง .....	67
5.16 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระดับความสูงในการติดตั้งแอกเซสพ้อยจากพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ .....	67
5.17 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระดับความสูงในการติดตั้งแอกเซสพ้อยจากพื้นที่ป่าไม้.....	68
5.18 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระดับความสูงในการติดตั้งแอกเซสพ้อยจากพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง .....	68
5.19 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อความถี่ของแอกเซสพ้อยจากทุกสถานที่ของพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ พื้นที่ป่าและพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง ....	70
5.20 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง ....	74

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.21 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ .....	75
5.22 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่ป่าไม้ .....	76
5.23 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง .....	77
5.24 ระยะการติดตั้งแอคเซสพ้อยในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง.....	78
5.25 ระยะการติดตั้งแอคเซสพ้อยในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ.....	79
5.26 ระยะการติดตั้งแอคเซสพ้อยในพื้นที่ป่าไม้ .....	79
5.27 ระยะการติดตั้งแอคเซสพ้อยในพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง .....	80

## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์เพื่อใช้บริการอินเทอร์เน็ตและการใช้ทรัพยากรเครือข่ายร่วมกันเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ให้บริการและการติดตั้งที่ยุ่งยาก ทำให้ไม่สามารถขยายได้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เครือข่ายไร้สาย WLAN (Wireless LAN) เริ่มเข้ามามีบทบาทสามารถแก้ปัญหาพื้นที่ที่การเดินสายทำได้จากการเพิ่มอุปกรณ์เชื่อมต่อกับเครือข่ายโดยใช้สายแบบเคเบิล โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านคลื่นวิทยุ ทั้งยังมีประสิทธิภาพเหมือนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้สายแต่มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายไปยังจุดต่างๆ และลดต้นทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์อีกด้วย

สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงในการติดตั้งเครือข่าย WLAN คือการออกแบบให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่บริการ เนื่องจากระดับความแรงของสัญญาณ (Field Strength) ที่อุปกรณ์รับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการรับส่งข้อมูล (Data Connection) การติดตั้งเครือข่ายไวร์เลสแลนสามารถทำได้ 2 ลักษณะประกอบด้วย การสำรวจสัญญาณบนพื้นที่ (Site survey) เพื่อหาระบบการกระจายคลื่นสัญญาณแอคเซสพ้อย (Access Point :AP) ในบริเวณที่ต้องการใช้งานเพื่อระบุตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมหรือการใช้วิธีการคำนวณระดับกำลังรับสัญญาณจากแบบจำลองทั้งหมดการแพร่กระจายคลื่นเครือข่าย WLAN การออกแบบที่ถูกต้องส่งผลให้ประหยัดจำนวนแอคเซสพ้อยทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆลง ทั้งยังได้สัญญาณครอบคลุมทุกพื้นที่ให้บริการ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ทรัพยากรบนเครือข่ายร่วมกัน จากเดิมใช้สายเคเบิลเป็นสื่อกลางในการเชื่อมโยงอุปกรณ์เข้าหากัน ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านสถานที่ที่ไม่สามารถเดินสายเคเบิลเข้าไปถึงหรือมีความยุ่งยากเรื่องการจัดตั้งเช่นการเดินสาย LAN ภายนอกอาคารในบริเวณพื้นที่ป่าหรือข้ามสระน้ำ เป็นต้น ทั้งยังมีความยากลำบากในการย้ายจุดทำงานและทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ด้วยเหตุนี้เองทำให้เครือข่ายไร้สายเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นเนื่องจากติดตั้งง่ายสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและประหยัดค่าใช้จ่ายเรื่องการเดินสาย

การออกแบบเครือข่าย WLAN แต่เดิมใช้วิธีวางแอคเซสพ้อยแล้วหาระยะทางที่คลื่นกระจายออกมาเรียกว่าวิธีการสำรวจสัญญาณบนพื้นที่ที่ต้องการติดตั้งซึ่งมีความยุ่งยากในเรื่องการหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด ทำให้สิ้นเปลืองเวลาต่อมาได้มีผู้นำเสนอแบบจำลองทั้งหมดการกระจายสัญญาณสำหรับทำนายระดับกำลังรับของสัญญาณในการออกแบบเครือข่ายไร้สาย WLAN ตาม

มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ได้แก่ การสูญเสียเชิงวิถี (Free Space Loss) [5] เป็นแบบจำลองทั้งหมด พื้นฐานใช้หาค่าการลดทอนสัญญาณของเครือข่ายไร้สายทุกประเภทที่ไม่มีการคิดค่าลดทอนจากสิ่งแวดล้อมแต่ในพื้นที่การใช้งานจริงสิ่งต่างๆรอบตัวล้วนแต่ทำให้เกิดการลดทอนทั้งสิ้น แบบจำลอง Lopaz [6] ซึ่งมีการจำลองจากการกระจายสัญญาณของพื้นที่ภายนอกอาคารของวิทยาลัยช่างในประเทศสเปนตัวแปรภาพในสมการล้วนเกิดจากการจำลองเพื่อให้ได้มาซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์จะเห็นได้ว่า Free Space Loss [5] และ Lopaz [6] ไม่เหมาะสมสำหรับการออกแบบติดตั้งจริง เนื่องจากพื้นที่ภายนอกอาคารมีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการลดทอนสัญญาณ ซึ่งแบบจำลองทั้งหมดที่สมควรเป็นแบบจำลองทั้งหมดที่ได้จากการวัดสัญญาณจากพื้นที่ใช้งานจริง ดังเช่น แบบจำลอง Large Scale Fading [7] เป็นแบบจำลองทั้งหมดที่เหมาะสมได้จากการวัดสัญญาณในพื้นที่จริง แต่ใช้หาค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะทางเริ่มต้น ( $d_0$ ) 30 เมตร ซึ่งในการติดตั้งจริงระยะดังกล่าวถือเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มสัญญาณสูง หากใช้แบบจำลองทั้งหมดดังกล่าวเพื่อการออกแบบทำให้ต้องใช้จำนวนแอกเซสพ้อยมาก ทั้งยังส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่ระยะทางตั้งแต่ 1 เมตรถึง 30 เมตรได้ ส่วนแบบจำลองทั้งหมด COST-231 Walfisch-Ikegami [8] ใช้สำหรับระบบเครือข่ายไร้สายที่มีการใช้งานย่านความถี่ 800 MHz ถึง 2000 MHz แต่ความถี่ของเครือข่าย WLAN คือ 2400 MHz ทำให้ COST-231 Walfisch-Ikegami [8] ไม่เหมาะสำหรับการออกแบบเครือข่ายไวร์เลสแลน ส่วนแบบจำลอง Weissberger [9] เป็นแบบจำลองทั้งหมดใช้หาค่าลดทอนสำหรับพื้นที่ป่าในระบบ (Tactical Remote Sensor System) TRSS Repeater/Relay เป็นระบบในทางการทหารที่ใช้ย่านความถี่เดียวกับไวร์เลสแลน 2400 MHz วัตถุประสงค์ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้กับเครือข่าย WLAN ทั้งลักษณะของพื้นที่ในการวัดสัญญาณยังมีสภาพอากาศและลักษณะแตกต่างจากประเทศไทยมาก ทำให้ได้ผลการคำนวณระดับกำลังรับสัญญาณมีความคลาดเคลื่อนกว่าระดับที่วัดได้จริง

จากความไม่เหมาะสมของแบบจำลองที่กล่าวในข้างต้นมีข้อจำกัดหลายอย่างทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนจากระดับกำลังรับสัญญาณที่วัดได้ ส่งผลให้มีการใช้จำนวนแอกเซสพ้อยในการออกแบบจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้เปลืองงบประมาณค่าใช้จ่าย บางแบบจำลองก็ใช้จำนวนแอกเซสพ้อยน้อยกว่าความเป็นจริงในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาลักษณะการลดทอนสัญญาณในเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-Of-Sight : LOS) สำหรับการใช้งานในพื้นที่ภายนอกอาคารเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมตามลักษณะทางสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อทำนายระดับกำลังรับสัญญาณในการหาตำแหน่งวางแอกเซสพ้อยที่เหมาะสม

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากการติดตั้งเครือข่าย WLAN มีความยุ่งยากเรื่องตำแหน่งวางแอกเซสพ้อยที่ต้องอยู่ในจุดที่สามารถกระจายสัญญาณได้รัศมีครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ การวางตำแหน่งของแอกเซส

พ้อยที่เหมาะสมซึ่งเป็นส่วนช่วยให้ลดจำนวนอุปกรณ์และให้ระดับสัญญาณภายในพื้นที่ที่มีมาตรฐานเครือข่าย WLAN ที่ใช้งานติดตั้งภายนอกอาคารซึ่งมีสิ่งแวดล้อมต่างๆ ทำให้สัญญาณเกิดการลดทอน ได้แก่ ความชื้น ต้นไม้ อาคารเป็นต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาหาค่าการลดทอนสัญญาณจากปัจจัยภายนอกอาคารเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆตามสภาพแวดล้อม โดยแบบจำลองที่ได้สามารถหาระดับกำลังสัญญาณรับและใช้ทำนายตำแหน่งการติดตั้งแอคเซสพ้อยที่เหมาะสมสามารถใช้แบบจำลองทั้งหมดเพื่อประเมินจุดติดตั้งแอคเซสพ้อยที่สอดคล้องตามลักษณะพื้นที่ได้โดยไม่ต้องมีการวางอุปกรณ์จริง ทำให้การออกแบบติดตั้งแอคเซสพ้อยสำหรับเครือข่าย WLAN ใช้เวลาน้อย ทั้งยังได้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เครือข่าย WLAN ในสภาพพื้นที่นอกอาคารมีปัจจัยทางสภาพแวดล้อมต่างๆที่ส่งผลต่อการลดทอนสัญญาณ ได้แก่ ถนน อาคาร ต้นไม้ แอ่งน้ำ เป็นต้น งานวิจัยนี้ใช้การทดสอบระดับสัญญาณจากแอคเซสพ้อยเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลกับกำลังรับของสัญญาณ (Received Power) มีค่าลดลง ประกอบด้วย ระยะทาง ความสูงของสายอากาศส่ง และความถี่ ใช้เทคนิควิเคราะห์ความถดถอยแบบสหสัมพันธ์หาความสัมพันธ์ของการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามพารามิเตอร์ต่างๆที่เรียกว่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss : PL) ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมาสร้างสมการที่ได้จากผลการวัด (Empirical Model) หลังจากนั้นนำสมการไปใช้คำนวณระดับกำลังรับสัญญาณเพื่อหาค่าตำแหน่งการติดตั้งแอคเซสพ้อย

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การทำนายตำแหน่งการติดตั้งแอคเซสพ้อยสำหรับเครือข่าย WLAN โดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นการใช้งานภายในอาคารหรือภายนอกอาคาร ขั้นตอนแรกใช้การสำรวจสัญญาณจากพื้นที่การใช้งานจริงโดยวางแอคเซสพ้อยแล้วหาค่าการกระจายว่าเป็นระยะทางเท่าไร แต่งานวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีวัดระดับกำลังรับสัญญาณ (Receive Power) จากพื้นที่ภายนอกอาคารที่มีลักษณะต่างกัน ได้แก่ พื้นที่ไร่สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ พื้นที่ป่า และพื้นที่ใกล้สิ่งปลูกสร้างเพื่อสร้างแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีสำหรับเครือข่าย WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g สำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร การวิเคราะห์ค่าลดทอนที่เกิดขึ้นใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ระยะทาง ความสูงของสายอากาศและความถี่ ส่งผลให้ระดับกำลังของสัญญาณมีค่าลดลง วัดค่ากำลังรับสัญญาณตำแหน่งต่างๆตำแหน่งละ 10 ครั้ง แล้วนำค่าทั้งหมดมาเฉลี่ยเพื่อลดผลกระทบจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณรับกับพารามิเตอร์ต่างๆ

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาค่าการลดทอนของสัญญาณจากการกระจายสัญญาณคลื่นของแอกเซสพ้อยในเครือข่าย WLAN สำหรับการติดตั้งใช้งานภายนอกอาคารแบ่งออกเป็นพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง (สนามฟุตบอลโรงเรียนบดินทรเดชา สนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสวนสวนพรรณภิรมย์) พื้นที่โล่งใกล้แอ่งน้ำ (เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ริมสระน้ำอาคารหกชั้น สจล. สระน้ำสวนหลวงร.9) พื้นที่ป่า (จตุจักร หุ่นแสดงหลวง สวนป่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) และพื้นที่ใกล้สิ่งปลูกสร้าง (ลานจอดรถซอยลาดพร้าว 78 อาคารจอดรถบริเวณหลังตึก KPN สนามเด็กเล่นสวนหลวงร.9) โดยนำเสนอสมการการสูญเสียเชิงวิถีเพื่อหาอัตราการลดทอนอันเนื่องมาจากตัวแปร ระยะทาง ความสูง และความถี่ที่ส่งผลต่อเครื่องรับสัญญาณให้รับสัญญาณได้ลดลง

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

การศึกษางานวิจัยชิ้นนี้ เริ่มด้วยการศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครือข่าย WLAN ที่มาของเทคโนโลยี ลักษณะการใช้งานมีส่วนประกอบอะไรบ้าง ประโยชน์ที่ได้รับที่ทำให้เครือข่าย WLAN เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย แล้วตามด้วยการศึกษารายละเอียดการแพร่กระจายคลื่นและสมการที่ใช้คำนวณค่าการลดทอนสัญญาณในเส้นทางตรงตามแนวสายตาในการติดตั้งแอกเซสพ้อยที่พื้นที่ภายนอกอาคาร ที่มีแตกต่างกันทางสภาพแวดล้อม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงประโยชน์ ลักษณะการให้บริการ และจุดเด่นของเครือข่าย WLAN รวมทั้งความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐานทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้ความรู้อเบื้องต้นของเครือข่ายไวร์เลสแลน มาตรฐาน 802.11 ที่ใช้งาน ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ตลอดจนทั้งหลักการออกแบบและวางเครือข่ายไวร์เลสแลน ตลอดจนทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นขณะรับส่งสัญญาณ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งจะประกอบไปด้วยแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น ความหนาแน่นของกำลังงานที่แพร่กระจาย โดยศึกษาสาเหตุการลดทอนสัญญาณอันเนื่องมาจากระยะทาง (Propagation Path Loss) เพื่อระบุหลักการทำนายการลดทอนของสัญญาณคลื่นวิทยุ (Propagation Loss) ที่ส่งผลต่อการลดทอนสัญญาณเครือข่าย WLAN หลักการทำนายการลดทอนสัญญาณคลื่นวิทยุ (Propagation Loss) และพื้นฐานของการสื่อสารเคลื่อนที่

บทที่ 4 การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์

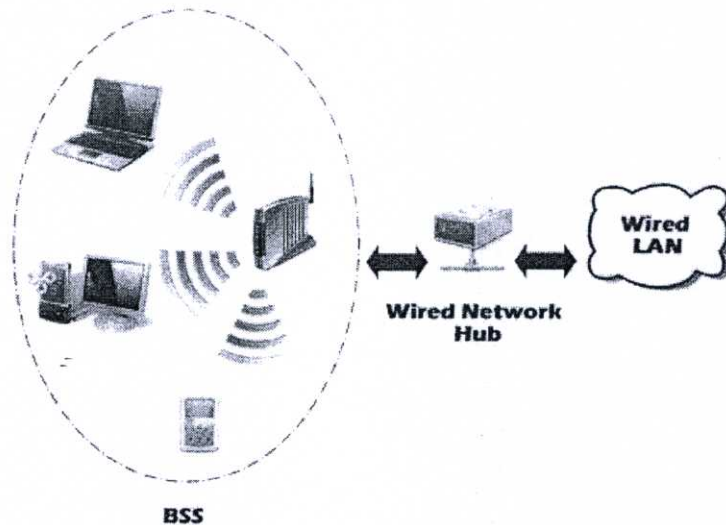
บทที่ 5 วิธีการนำเสนอและผลการทดสอบแบบจำลองการลดทอนสัญญาณจากการกระจายคลื่นของแอคเซสพ้อยในเครือข่าย WLAN การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นและสมการในการคำนวณค่าการลดทอน สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ การทดสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

# ความรู้เบื้องต้นของเครือข่ายไร้สาย WLAN

เทคโนโลยี WLAN เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเพราะจุดเด่นของเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันได้ โดยไม่ต้องพึ่งพาสายสัญญาณ ผู้ใช้งานสามารถเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบเครือข่ายจากพื้นที่ใดก็ได้ที่อยู่ในรัศมีการให้บริการของคลื่นวิทยุ เทคโนโลยีเครือข่าย WLAN ได้สร้างภาพลักษณ์ใหม่ของการติดต่อสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องนั่งทำงานอยู่กับที่สามารถเคลื่อนย้ายไปที่ต่างๆได้ตามต้องการ เช่น ห้องประชุม ห้องนั่งเล่น ห้องนอน สนามหญ้าหน้าบ้าน หรือริมสระน้ำ เป็นต้น รวมทั้งความอิสระและความคล่องตัวในการทำงาน สร้างความสะดวกสบายได้ไม่น้อยทีเดียว การใช้งานเครือข่าย WLAN จะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างน้อย 2 สิ่งด้วยกัน คือ อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Access Point) และอุปกรณ์รับสัญญาณ (Wireless Card) สำหรับการติดตั้งใช้งานเครือข่าย WLAN นั้น จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์แอคเซสพอยท์เข้ากับระบบเครือข่ายหลักที่มีอยู่ และติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณเข้ากับเครื่องโน้ตบุ๊กหรือเครื่องพีซี



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่าย WLAN

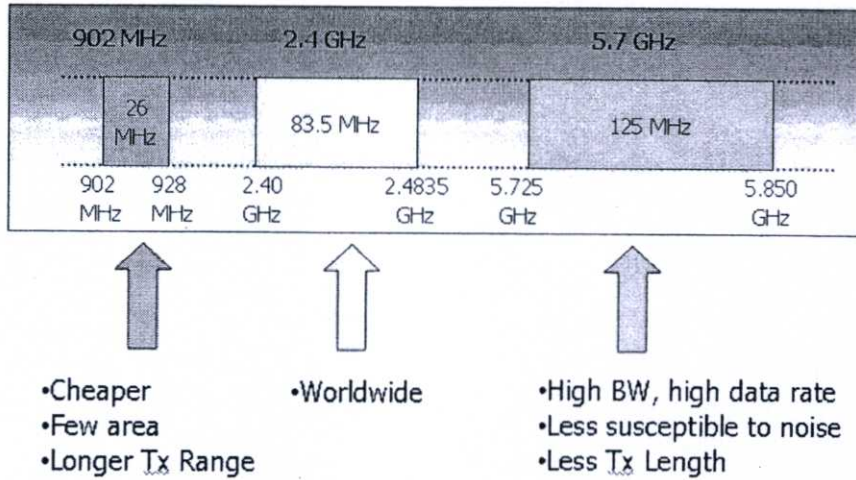
อุปกรณ์เครือข่าย WLAN ที่จำหน่ายในเมืองไทยจะใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ในการสื่อสารข้อมูลซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 มาตรฐานคือ มาตรฐาน IEEE 802.11b มีความเร็วสื่อสารข้อมูล 11 Mbps และมาตรฐาน IEEE 802.11g จะมีความเร็วสื่อสารข้อมูล 54 Mbps นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เครือข่าย WLAN อีกกลุ่มหนึ่ง ที่พัฒนาเทคโนโลยีต่อยอดจากมาตรฐาน 802.11g โดยให้ความเร็วสื่อสารข้อมูลสูงถึง 108 Mbps ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวมีชื่อว่า MIMO (Multiple Input Multiple Output) และ Super-G นอกจากนี้ผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่ายบางรายได้พัฒนาอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายรุ่นใหม่ออกมาโดยใช้มาตรฐานฉบับร่างของ IEEE 802.11n (Draft 802.11n) คือมาตรฐานเครือข่ายไร้สายในอนาคตอันใกล้ซึ่งให้ความเร็วสื่อสารข้อมูลถึง 270-300 Mbps สามารถรองรับระบบงานที่ต้องการแบนด์วิธสูงๆได้เป็นอย่างดี และยังมีระยะทางส่งสัญญาณได้ดีกว่า Wireless-G ประมาณ 3-4 เท่า

Standards	Band (GHz)	Raw Throughput
802.11	2.4	2 Mbps (Legacy)
802.11a	5	54 Mbps
802.11b	2.4	11 Mbps
802.11g	2.4	54 Mbps
802.11n	?	>100 Mbps

รูปที่ 2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11 และอัตราการรับส่งข้อมูลในเทคโนโลยีไร้สาย

## 2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11 Wireless LANs

ISM ย่อมาจาก Industrial Sciences Medicine หรือคลื่นความถี่สาธารณะสำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ โดยย่านความถี่สำหรับคลื่นวิทยุในโลกจัดได้ว่ามีการควบคุมการเป็นเจ้าของหรือใช้งานโดยแบ่งเป็นสามย่านความถี่ คือ 900 MHz, 2.4 GHz และ 5.7 GHz สำหรับ Wireless Network 802.11 จะใช้สองย่านความถี่ตั้งแต่เนื่องจากความถี่ 5.7 GHz นั้นมีการยอมให้ใช้ได้เฉพาะบางประเทศเท่านั้นดังในรูป 2.3 ข้อดีของการมี ISM Bands ขึ้นมาคือลดความยุ่งยากในการขออนุญาตใช้ความถี่โดยการกำหนดเลยว่าในย่านๆ หนึ่งให้ใช้ได้โดยไม่ต้องขออนุญาตซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก

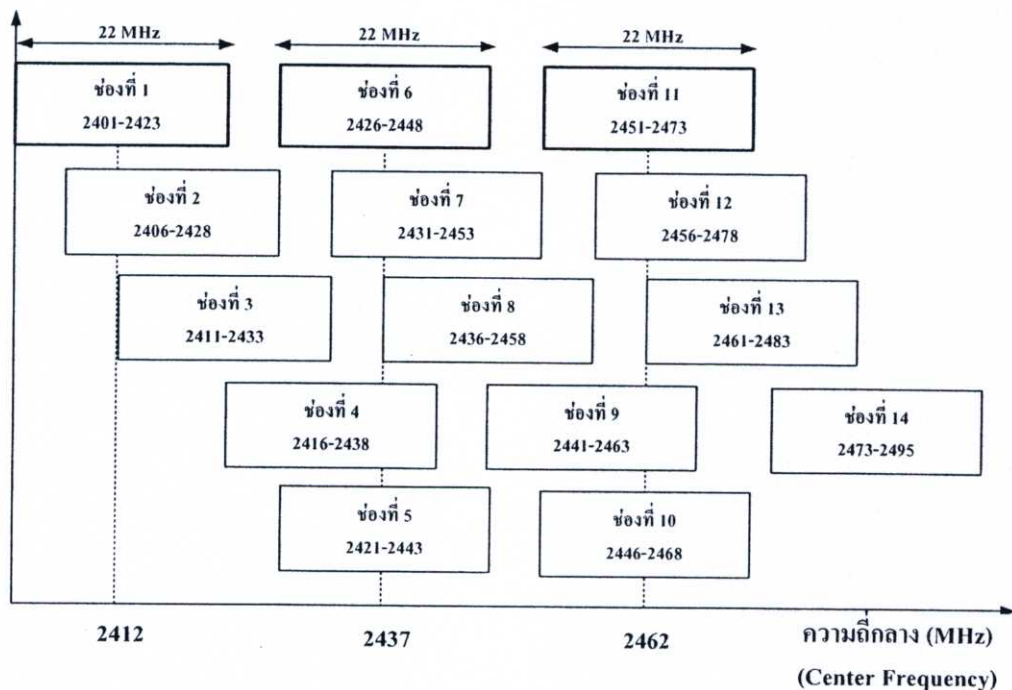


รูปที่ 2.3 ความถี่ย่าน ISM Band (Industrial Scientific and Medical Band)

**2.1.1 มาตรฐาน IEEE 802.11a** ประกาศใช้เมื่อปี พ.ศ. 2542 เช่นเดียวกับกลุ่ม b (IEEE802.11b-1999) และต่อมาก็ประกาศใช้อย่างเป็นทางการในราวปี พ.ศ. 2544 มาตรฐานความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps โดยความเร็วในการทำงานจริงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 22 Mbps ใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ ISM 5.7 GHz ขอบเขตของสัญญาณน้อยกว่า b เนื่องจากความถี่ที่สูงกว่าโดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 50 เมตร มอดูเลชันที่ใช้เป็นแบบ OFDM มีการกำหนดช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารจำนวน 12 ช่องสัญญาณ โดยมี 8 ช่องสำหรับการใช้งานแบบภายในอาคารและ 4 ช่องสำหรับการใช้งานนอกอาคาร และเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องย่านความถี่มาตรฐานนี้จึงใช้ได้บางประเทศ เช่น อเมริกาและญี่ปุ่น ส่วนปัญหาอื่นที่ทำให้มาตรฐานนี้ไม่ค่อยแพร่หลายคือการใช้มาตรฐาน IEEE 802.11 b เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางและมาตรฐาน IEEE 802.11 a ไม่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีกลุ่มอื่น เช่น IEEE 802.11 b และ g ได้

**2.1.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b** ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมนี้เมื่อปี พ.ศ. 2542 ขอบเขตของสัญญาณอยู่ที่ 50-100 เมตร เสาอากาศที่ใช้เป็นแบบกระจายทุกทิศทาง (Omni-Direction Antenna) ความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) มอดูเลชันเป็นลำดับตรงและมีการควบคุมการเข้าใช้สื่อเป็นแบบ CSMA/CA โดยมีค่าลดทอนสัญญาณเมื่อเคลื่อนที่ผ่านวัสดุต่างๆ ที่ไม่เท่ากัน โดยจะถูกลดทอนมากถ้าเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น เหล็ก กำแพงปูนหนา เป็นต้น ในการนำไปใช้งาน มีการกำหนดค่าช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร

ข้อมูลทั้งหมด 14 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณมีความกว้าง 22 MHz ดังที่แสดงในรูป 2.3 โดยสามารถเลือกใช้ได้ตามต้องการ

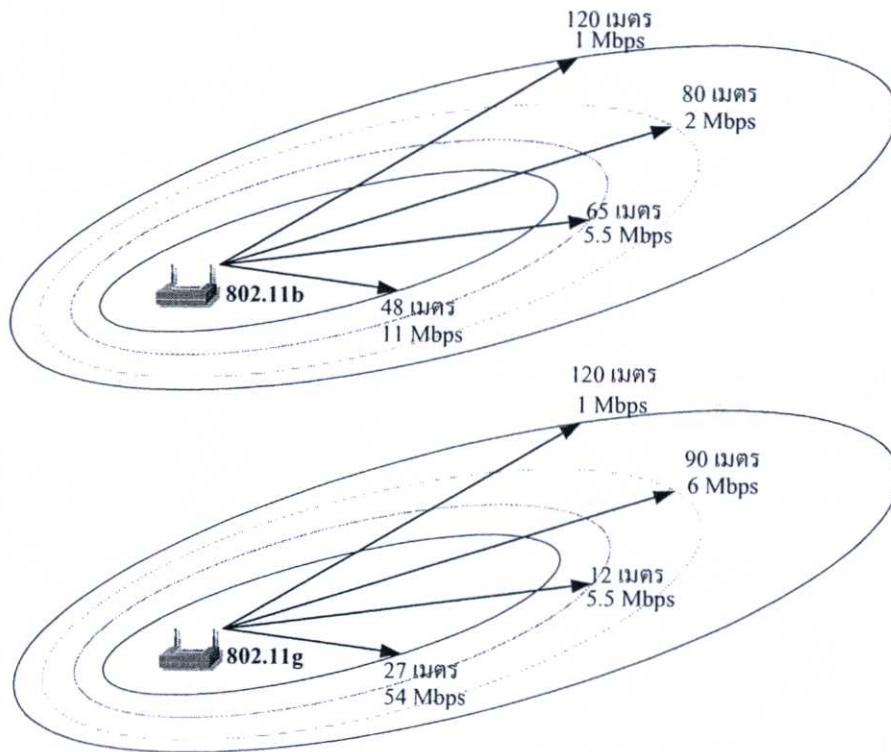


รูปที่ 2.4 การแบ่งช่องสัญญาณของ IEEE 802.11b

โดยปกติถ้าต้องการใช้ช่องสัญญาณพร้อมกันมากกว่าหนึ่งช่องต้องใช้ช่องสัญญาณที่ห่างกันอย่างน้อย 5 ช่องสัญญาณจึงไม่ทำให้เกิดการรบกวนกัน เช่น การใช้ช่องสัญญาณ 1, 6 และ 11 สำหรับการติดตั้งแอคเซสพ้อยท์ 3 ตัวในบริเวณเดียวกัน หรือจะใช้ช่องที่ 2, 7 และ 12 ก็สามารถใช้งานได้ ช่องสัญญาณที่ 1-11 สามารถใช้งานได้ในกลุ่มประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ส่วนกลุ่มประเทศทางยุโรปรวมถึงประเทศไทยสามารถใช้ช่องสัญญาณที่ 1-13 และสำหรับประเทศญี่ปุ่นสามารถใช้ได้ทั้ง 14 ช่องสัญญาณ

2.1.3 มาตรฐาน IEEE 802.11g เป็นมาตรฐานที่เริ่มประกาศใช้เมื่อปี พ.ศ. 2544 เป็นกลุ่มมาตรฐานที่เกิดจากความต้องการเพิ่มความไวในการรับส่งข้อมูลจากมาตรฐาน IEEE 802.11b โดยยังคงใช้งานย่านความถี่ ISM 2.4 GHz และจากการปรับเปลี่ยนการมอดูเลชันจากลำดับตรง (Direct Sequence) เป็นแบบ OFDM และปรับกระบวนการเข้ารหัสอีกเล็กน้อยทำให้ประสบความสำเร็จในการเพิ่มอัตรารับส่งข้อมูลเป็น 54 Mbps รูปที่ 2.4 แสดงอัตราการรับส่งข้อมูลของ IEEE 802.11b เทียบกับ IEEE 802.11g ซึ่งพบว่า IEEE 802.11g ทำงานได้เร็วกว่าในช่วงที่ระยะห่างจากแอคเซส

พ้อยที่ไม่มากเช่นเดียวกับ IEEE 802.11a ที่ความถี่ต่ำกว่าโดยความเร็วในการรับส่งข้อมูลจริงเฉลี่ยอยู่ที่ 25 Mbps ซึ่งแจกแจงรายละเอียดของอัตราการรับส่งข้อมูลตามระยะทางของมาตรฐานในเครือข่าย WLAN ได้เป็นตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.5 อัตราในการรับ-ส่งข้อมูลของ 802.11b เทียบกับ 802.11g ตามระยะทาง

ตารางที่ 2.1 อัตราการรับส่งข้อมูลต่อระยะทางโดยประมาณของเครือข่าย WLAN

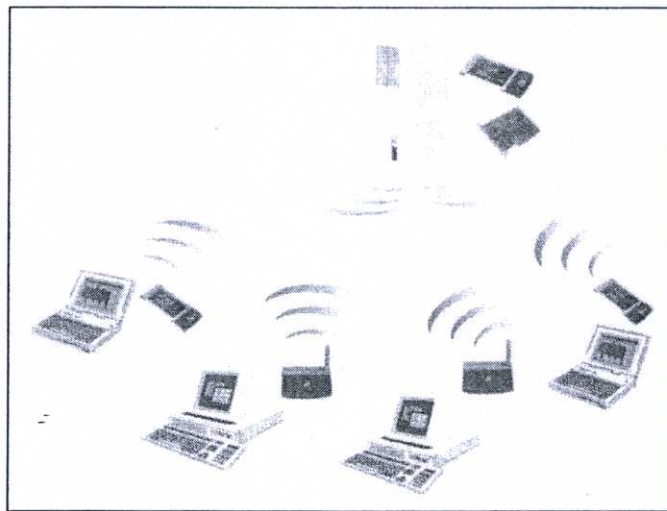
ระยะทาง(ฟุต)	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g
10	5.8 Mbps	24.7 Mbps	24.7 Mbps
50	5.8 Mbps	19.8 Mbps	24.7 Mbps
100	5.8 Mbps	12.4 Mbps	19.8 Mbps
150	5.8 Mbps	4.9 Mbps	12.4 Mbps
200	3.7 Mbps	0	4.9 Mbps
250	1.6 Mbps	0	1.6 Mbps
300	0.9 Mbps	0	0.9 Mbps

## 2.4 การออกแบบเครือข่าย WLAN

การออกแบบเครือข่าย WLAN จำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย เนื่องจากเครือข่าย WLAN ใช้วิธีแชร์แบนด์วิธ (Bandwidth) ซึ่งหมายความว่าถ้าเครื่องใช้งานพร้อมกันจำนวนมากประสิทธิภาพของเครือข่ายจะลดลงจึงต้องมีเทคนิคในการออกแบบที่ดีเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานเครือข่าย WLAN

### 2.4.1 ระบบเครือข่าย WLAN แบบ Ad-Hoc

เครือข่ายแบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Peer to Peer เหมาะสำหรับสำนักงานขนาดเล็กที่มีจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่มากนักประมาณ 4 – 8 เครื่องและต้องการความสะดวกรวดเร็วในการติดตั้งใช้งานเครือข่าย WLAN แบบ Ad-Hoc ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งการ์ดแลนไร้สายเลือกโหมดการทำงานของแลนการ์ดแบบ Ad-Hoc กำหนดย่านความถี่วิทยุสำหรับสื่อสารข้อมูล ย่านเดียวกันและกำหนดชื่อ BSSID (Basic Service Set Identifier) ซึ่งได้แก่การโหมดการทำงาน ย่านความถี่และชื่อ BSSID โดยจะกำหนดในโปรแกรม Configuration Utility ที่ให้มาพร้อมเมื่อซื้อแลนการ์ด ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Ad-Hoc นี้ ไม่จำเป็นต้องมีสายสัญญาณและตัวกลางสำหรับเชื่อมโยงระบบ



รูปที่ 2.6 เครือข่าย WLAN แบบ Ad-Hoc

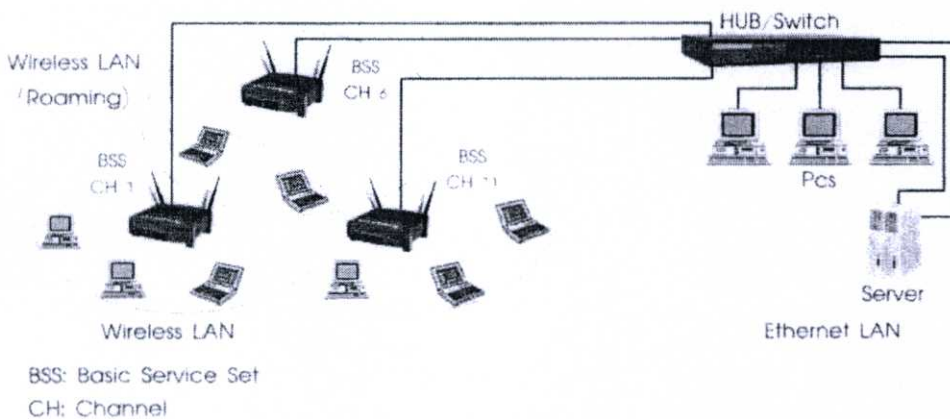
### 2.4.2 ระบบเครือข่าย WLAN แบบ Infrastructure

เป็นการเชื่อมโยงเครือข่าย WLAN เข้ากับระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ตแลน (Ethernet LAN) โดยอาศัยแอคเซสพ้อยระบบนี้สามารถรองรับเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายได้จำนวนมากซึ่งขึ้นอยู่กับสเปคของแอคเซสพ้อยนั้นว่าจะสามารถรองรับการเชื่อมโยงเครื่องลูกข่ายได้กี่เครื่องเช่น 32, 64

หรือ 128 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งแลนการ์ดไร้สายที่ต้องการจะเชื่อมโยงกับแอคเซสพ้อยจะต้องเลือกโหมดการทำงานของแลนการ์ดเป็นแบบ Infrastructure และกำหนดชื่อ BSSID ให้ตรงกับแอคเซสพ้อยในขั้นตอนการตั้งค่าในโปรแกรม Configuration Utility ของแลนการ์ดจากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการค้นหาและเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์แอคเซสพ้อยเองอัตโนมัติอุปกรณ์ที่ใช้กับเครือข่าย WLAN แบบ Infrastructure

#### 2.4.2.1 เครือข่าย WLAN แบบ Roaming

เป็นการวางอุปกรณ์แอคเซสพ้อยในระบบเครือข่าย Infrastructure มากกว่าหนึ่งตัวไว้ใกล้กันโดยมีพื้นที่ให้บริการคาบเกี่ยวกันเหมือนโครงข่ายโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ ทั้งนี้เพื่อให้บริการที่ครอบคลุมพื้นที่ให้กว้างไกลมากขึ้นและยังสามารถแก้ไขจุดอ่อนสัญญาณได้อีกด้วยเราเรียกรูปแบบนี้ว่า การทำ Roaming



รูปที่ 2.7 เครือข่าย WLAN แบบ Roaming

จากรูปที่ 2.7 ผู้ใช้งานเครือข่าย WLAN สามารถเคลื่อนย้ายไปทำงานยังจุดใดก็ได้ที่อยู่ในรัศมีการให้บริการของแอคเซสพ้อยที่สามตัวโดยที่การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับระบบจะไม่ขาดช่วงอุปกรณ์แอคเซสพ้อยที่ติดตั้งเพิ่มจะช่วยให้เครือข่าย WLAN สามารถรองรับจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้มากขึ้นและแอคเซสพ้อยยังสามารถเป็นแบ็กอัพ (Backup) ซึ่งกันและกันหากเกิดกรณีที่มีแอคเซสพ้อยตัวใดตัวหนึ่งใช้การไม่ได้ขึ้นมาระบบก็ยังให้บริการได้อย่างต่อเนื่อง การติดตั้งอุปกรณ์แอคเซสพ้อยมากกว่าหนึ่งตัวในบริเวณที่รัศมีการให้บริการคาบเกี่ยวกันควรจะกำหนดช่องความถี่วิทยุ (Channel) ให้แตกต่างกันเช่นแอคเซสพ้อยตัวแรกตั้งช่องความถี่สัญญาณเป็นช่องที่ 1 (CH1) ตัวที่สองก็ควรตั้งชื่อเป็นช่อง 6 (CH6) หรือช่องความถี่อื่นๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการส่งสัญญาณรบกวนกันเองระหว่างแอคเซสพ้อย

### 2.4.2.1 การเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่าย WLAN

เทคนิคในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครือข่าย WLAN คือ

2.4.2.1.1 จุดที่เหมาะสมในการติดตั้งแอคเซสพ้อยควรอยู่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ที่ต้องการให้บริการเครือข่าย WLAN จุดใดที่อับสัญญาณควรติดตั้งแอคเซสพ้อยเพิ่มเพื่อให้มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมมากขึ้น

2.4.2.1.2 การปรับทิศทางของสายอากาศของแอคเซสพ้อยควรจะปรับให้เป็นแนวตั้งฉากกับพื้นถ้าต้องการขยายพื้นที่หรือระยะทางให้บริการของเครือข่าย WLAN การปรับเปลี่ยนสายอากาศของอุปกรณ์แอคเซสพ้อยเป็นแบบ 2.4 GHz High gain Antenna สามารถช่วยขยายระยะทางได้แทนการติดตั้งแอคเซสพ้อยเพิ่ม เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงควรตั้งและใช้งานใกล้กับแอคเซสพ้อย

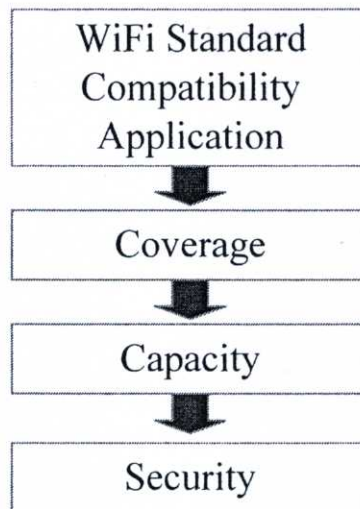
2.4.2.1.3 การเชื่อมโยงเครือข่าย WLAN ระหว่างอาคารควรติดตั้ง Wireless Bridge ทั้งสองไว้ใกล้หน้าต่างแนวระดับของเสาอากาศสามารถมองเห็นอุปกรณ์ทั้งสองฝ่ายด้วยสายตาเป็นแนวเส้นตรง และไม่มีสิ่งกีดขวาง

2.4.2.1.4 หลีกเลี่ยงการติดตั้งแอคเซสพ้อยไว้ใกล้กับอุปกรณ์ที่สามารถสร้างความถี่สูงเช่นเตาอบไมโครเวฟ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ โทรศัพทไร้สายสำหรับบ้านที่มีความถี่ 2.4 GHz ฯลฯ เพราะอาจสร้างสัญญาณไปรบกวนเครือข่ายได้

## 2.5 การวางเครือข่าย WLAN

การออกแบบเครือข่าย WLAN โดยทั่วไปผู้ออกแบบมือใหม่มักจะคำนึงถึงเรื่องพื้นที่ให้บริการของแอคเซสพ้อยมากกว่าเรื่องความจุของเครือข่าย (Capacity) ที่จะให้บริการได้เพราะช่วงแรกบุคคลเหล่านี้ไม่ได้ใช้เครือข่าย WLAN เป็นเครือข่ายหลักจึงมองไม่เห็นปัญหานี้ต่อเมื่อวันหลังผู้ใช้งานทุกๆ ไปจะเริ่มใช้งานเครือข่าย WLAN นั้นเป็นเครือข่ายหลักเพราะคุ้นเคยกับเครือข่ายนี้ ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาก็คือเครือข่าย WLAN มีความจุไม่พอเพราะมีผู้ใช้งานจำนวนมากและผู้ใช้งานเหล่านี้ก็มีความต้องการที่จะรับ-ส่งไฟล์ในเครือข่ายขนาดใหญ่อีกด้วยนั้นทำให้ต้องทำความเข้าใจก่อนว่าการติดตั้งเครือข่าย WLAN ในออฟฟิสนั้นยากกว่าการติดตั้งในบ้านหลายเท่าตัวและมีหลายประเด็นที่ต้องทำความเข้าใจก่อนจึงจะออกแบบเครือข่ายได้ดี

ก่อนออกแบบระบบเครือข่าย WLAN จะต้องเรียนรู้เรื่องมาตรฐานความเข้ากันได้ ปัญหาเรื่องพื้นที่ให้บริการ ความจุของเครือข่ายและเรื่องการรักษาความปลอดภัยเครือข่าย ทั้งหมดเป็นเรื่องที่ควรละเว้น



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการศึกษาเพื่อการออกแบบระบบเครือข่าย WLAN

### 2.5.1 การเรียนรู้มาตรฐานเครือข่าย WLAN ให้ทราบว่าแต่ละมาตรฐานมีลักษณะเด่นอย่างไร

เราจะเลือกใช้มาตรฐานใดเพื่อให้เครือข่ายของเราสามารถเข้ากันได้กับอุปกรณ์ไร้สายทุกตัวที่จะนำมาเชื่อมต่อด้วยและทำความเข้าใจกับลักษณะใช้งานของผู้ใช้แต่ละประเภทให้ดี เช่น ผู้ใช้ตามบ้านต้องการความง่ายในการติดตั้ง สัญญาณต้องแรงพอที่จะใช้งานจากทุกจุดในบ้าน ต่างจากผู้ใช้งานในออฟฟิศที่ต้องการเรื่องความเร็วและการรักษาความปลอดภัยหลังจากเราเข้าใจผู้ใช้หลายประเภท คุณก็จะรู้ว่าต้องเริ่มออกแบบเครือข่ายขั้นต่อไปได้อย่างไร

#### 2.5.2 พื้นที่ให้บริการเครือข่าย WLAN (Coverage Area)

สิ่งแรกที่ผู้ใช้จะถามว่าบริเวณนี้ใช้ไวร์เลสได้หรือไม่ผู้ใช้ทุกคนต้องการให้เครือข่าย WLAN ครอบคลุมทุกพื้นที่ของออฟฟิศบางคนอาจจะใช้อุปกรณ์ WLAN ในห้องคลังสินค้าเพื่อนับสต็อก บางคนอาจจะนำโน้ตบุ๊กไปใช้ในห้องนั่งเล่น หรือห้องประชุม พื้นที่ให้บริการก็เป็นสิ่งหนึ่งที่เราต้องคำนึงถึงหากมีเครือข่าย WLAN แต่พื้นที่ให้บริการแคบก็เหมือนมีปืนแต่ไม่มีกระสุน การออกแบบเครือข่าย WLAN อย่างไรไม่ให้มีจุดอ่อนสัญญาณก็เป็นเรื่องที่ทำทนายเหมือนกัน

#### 2.5.3 ความจุของเครือข่าย (Capacity)

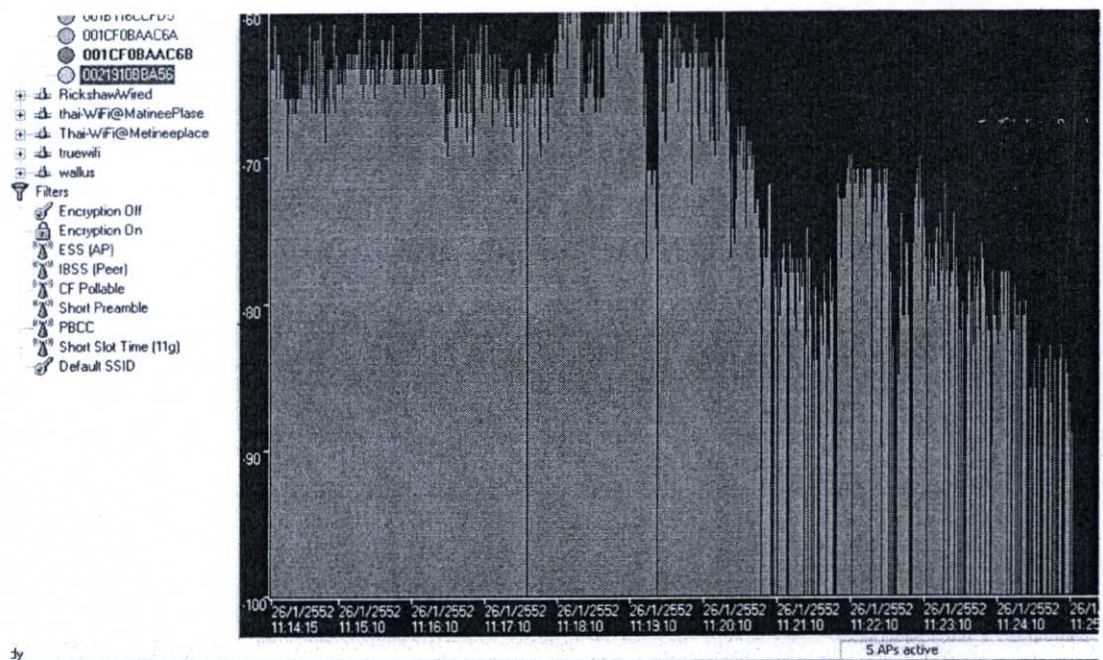
เป็นปัญหาที่ผู้ออกแบบจะพบเมื่อออฟฟิศของเราเริ่ม มีผู้นำโน้ตบุ๊กไร้สายมาใช้เพิ่มขึ้น ผู้ใช้เหล่านี้คุ้นเคยกับการทำงานไร้สาย จนไม่ยอมยกต่อสายแลนอีกต่อไป เขามักจะนำโน้ตบุ๊กไปใช้งานในบริเวณต่าง ๆ ของสำนักงาน นำติดตัวไปห้องประชุม หรือไปอ่านข่าวสารที่ห้องนั่งเล่น ทำให้เกิดปัญหาความจุของเครือข่ายในบริเวณต่างๆ ของออฟฟิศที่ไม่เท่ากัน และจุดเหล่านี้ผู้ออกแบบควรทราบมีเช่นนั้นก็จะได้รับการบ่นจากผู้ใช้งาน ทำให้บริเวณนี้ไวร์เลสถึงได้ช้ากว่าบริเวณอื่นๆ มาก

## 2.5.4 ความปลอดภัยกับเครือข่าย WLAN (Security)

การรับส่งจะใช้คลื่นวิทยุซึ่งสามารถแพร่กระจายคลื่นไปได้ทั่วทุกทิศทางทำให้เกิดปัญหาว่าอาจจะมีคนมาดักฟังสัญญาณวิทยุได้ ซึ่งก็ง่ายกว่าการดักฟังสัญญาณที่วิ่งในสายมาก การควบคุมทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นก็จะทำให้เครือข่ายปลอดภัยมากขึ้น เพราะอาคารสำนักงานและเป็นที่แน่นอนว่าสัญญาณจะแพร่กระจายออกไปซึ่งก็อาจจะถูกดักฟังได้ แม้ว่าแพ็กเก็ตข้อมูลจะถูกเข้ารหัสไว้ก็ตามแต่ก็มีวิธีที่จะถอดรหัสได้เช่นกัน

## 2.6 การเดินสำรวจสัญญาณ

การเดินสำรวจสัญญาณหรือที่เรียกว่าการทำไซต์เซอร์เวย์ (Site Survey) เป็นการตรวจหาสัญญาณไวร์เลสในจุดที่ต้องการใช้งานเพื่อให้มั่นใจว่าทุกๆจุดที่มีการใช้งานจะรับสัญญาณได้ดี ดังนั้นการทำไซต์เซอร์เวย์ก็ควรทดสอบในพื้นที่สำหรับการใช้งานจริง การทำไซต์เซอร์เวย์ควรเริ่มจากเดินห่างจากแอคเซสพอยต์ไปตามทางเดินก่อนจะทำให้พบว่าเมื่อเดินห่างออกไปความแรงของสัญญาณก็จะลดลงอย่างรวดเร็วและสัญญาณอาจมีการจางหายบ้างเป็นช่วงขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางจากสภาพแวดล้อมจนในที่สุดสัญญาณจะหมดไปดังที่รูป 2.9 เมื่อสำรวจตามทางเดินเสร็จจึงค่อยสำรวจตามบริเวณห้องและพื้นที่รอบๆว่ามีระดับสัญญาณเป็นอย่างไร ควรตรวจสอบให้ครบทุกจุดและควรกำหนดเป็นสภาวะการทดสอบให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด



รูปที่ 2.9 ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้จากการสำรวจสัญญาณ

การสำรวจเครือข่ายมีความจำเป็นอย่างมากเมื่อต้องการออกแบบหรือปรับปรุงเครือข่าย ด้วยการตรวจสอบระดับสัญญาณของคลื่นวิทยุ (Radio Frequency :RF) ที่ใช้บนเครือข่าย WLAN โดยผู้สำรวจเครือข่าย (Surveyor) ต้องทำความเข้าใจคุณสมบัติคลื่นวิทยุที่ส่งผลกระทบต่อการรับส่งสัญญาณเพื่อสำรวจขอบเขตพื้นที่ให้บริการ ได้แก่ การลดทอน (Attenuation) สัญญาณตามระยะทาง และค่าลดทอนที่เกิดขึ้นในสิ่งกีดขวางต่างชนิดกันรวมถึงผลกระทบจากสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระดับสัญญาณซึ่งสาเหตุเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาในการทำงานเครือข่ายทั้งสิ้น ยกตัวอย่าง เช่น เกิดจุดอับสัญญาณในการทำงาน เป็นต้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการสำรวจเครือข่ายเพื่อตรวจสอบพื้นที่ให้บริการและเป็นข้อมูลในการออกแบบเครือข่ายใหม่ โดยค่าลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นบนสิ่งกีดขวางต่างๆ แสดงดังตาราง 2.2 การสำรวจเครือข่ายหรือสามารถบอกขอบเขตพื้นที่ให้บริการ การซ้อนทับของสัญญาณการวางตำแหน่งอุปกรณ์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ประเภทของสิ่งกีดขวางและอัตราการลดทอนสัญญาณ

ประเภทสิ่งกีดขวาง	อัตราการลดทอน	ตัวอย่าง
พื้นที่โล่ง	ต่ำมาก	ห้องโถง สนามหญ้า
ไม้	ต่ำ	ผนังไม้บ้านไม้ พื้น ไม้
พลาสติก	ต่ำ	พาร์ติชันประตูพลาสติก
อิฐเบา ผนังยิปซัม	ต่ำ	อิฐเบา ผนังยิปซัม
แก้ว กระจก	ต่ำ	ประตูแก้ว หน้าต่างแก้ว
กระจกนิรภัย	ปานกลาง	กระจกนิรภัยที่ผสมด้วยเส้นลวด
ร่างกายมนุษย์	ปานกลาง	กลุ่มคนจำนวนมาก
น้ำ	ปานกลาง	ไม้ที่เปียกน้ำ ตู้ปลา พืชที่มีน้ำมาก
อิฐแดง	ปานกลาง	ผนังห้อง
หินอ่อน	ปานกลาง	พื้น ผนัง ป้าย
คอนกรีต	สูง	ผนัง ห้องพื้น เสา
กระจกกันกระสุน	สูง	กระจกกันกระสุนในห้องนิรภัย
โลหะ	สูงมาก	โต๊ะเหล็ก ประตูกันไฟ ช่องแอร์ คอนกรีตเสริมเหล็ก ช่องลิฟต์
กระจกเงา	สูงมาก	กระจกเงาในห้องน้ำ ห้องแต่งตัว

ในการสำรวจเครือข่ายจะใช้โปรแกรมที่ชื่อว่า Network Stumbler หรือ Netstumbler ที่สามารถแสดงรายละเอียดข้อมูลบนเครือข่ายเช่น หมายเลข MAC Address ชื่อเครือข่าย (SSID)

ช่องสัญญาณที่ใช้งาน อัตราเร็วของอุปกรณ์ (Data Connection) รวมถึงการแสดงค่าอัตราส่วนระดับความแรงของสัญญาณและระดับความแรงสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio :SNR) ที่บ่งบอกคุณภาพของสัญญาณ โดยค่า SNR นี้จะแสดงในหน่วย “เดซิเบล (Decibel)” ซึ่งหาค่าได้จากสูตร

$$SNR_{dB} = 10 \log \left( \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right)$$

เมื่อ  $P_{signal}$  เป็นระดับความแรงของสัญญาณ (W),  $P_{noise}$  คือ ระดับความแรงของสัญญาณรบกวน (W)

$$SNR_{dB} = P_{signal(dB)} - P_{noise(dB)}$$

## 2.7 สิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

กล่าวถึงสิ่งแวดล้อมต่างทั้งที่เกิดขึ้นเองจากธรรมชาติและเกิดจากมนุษย์ทำขึ้น (Man Made) ว่ามีผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุอย่างไร

### 2.7.1 สิ่งแวดล้อมจากธรรมชาติและปรากฏการณ์ต่าง ๆ

2.7.1.1 สิ่งแวดล้อมจากธรรมชาติได้แก่สภาพทางภูมิประเทศและสภาพทางอุตุนิยมสภาพทางภูมิประเทศได้แก่

- ป่า ป่าทึบ ป่าโปร่ง ป่าละเมาะ ป่าไผ่
- เขาสูงยอดแหลม เขาสูงยอดป้าน เขาหัวโล้น (เขาไม่มีต้นไม้ เช่น เขาหินหรือต้นไม้ถูกตัดจนเหลือแต่หญ้า)
- ดินปนน้ำ (หมายถึงชื้นแฉะและมีแอ่งน้ำสลับพื้นดิน) แร่ธาตุเช่น แร่เหล็ก แร่ยูเรเนียมหรือแร่อื่นที่กระจายรังสีได้
- น้ำทะเล หนองน้ำ ทะเลสาบ ฯลฯ
- จากสิ่งก่อสร้างเช่น ตึก บ้าน หอสูง ฯลฯ
- สภาพทางอุตุนิยม ได้แก่ หมอก ลม ฝน ความชื้น อุณหภูมิ พายุ

2.7.1.2 ปรากฏการณ์ได้แก่ ฝุ่น อุกาบาต จุดดับบนดวงอาทิตย์ แสงออโรรา เป็นต้น

2.7.1.2 สิ่งแวดล้อมอันเกิดจากมนุษย์ทำขึ้น ได้แก่ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม โรงงานซ่อมสร้างไฟฟ้าแรงสูง จากรถยนต์หรือเครื่องจักร จากเครื่องบินคลื่นวิทยุ จากที่อื่นที่กระทำโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจ ฯลฯ

### 2.7.2 ผลกระทบอันเกิดจากสภาพทางภูมิประเทศ

การเดินทางของพลังงานคลื่นวิทยุจะได้รับผลกระทบกระเทือนอันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางที่อยู่ในทางเดินตามที่ได้อธิบายมาแล้วส่วนโค้งของโลก (Effective Curvature) มีผลอย่างมากในการกำหนดระยะการติดต่อสื่อสารว่าจะมากน้อยเพียงใดก่อนหน้าได้เคยพิจารณากรณีพื้นโลกเป็นผิวเรียบแต่สิ่งกีดขวางเช่น หิน ต้นไม้ อาคารสิ่งก่อสร้างต่างก็มีผลต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุด้วยจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมรูปร่างและเนื้อวัสดุของสิ่งที่กีดขวางจะต้องนำมาพิจารณาเมื่อทำการสำรวจเส้นทางรวมถึงวัตถุที่อยู่ใกล้เส้นทางเดินตรงของคลื่นวิทยุก็ก่อให้เกิดปัญหาด้วยถึงแม้ว่าจะมิได้กีดขวางเส้นทางเดิน โดยตรงก็ตาม

### บทที่ 3

## การลดทอนสัญญาณจากการแพร่กระจายคลื่น

### 3.1 การแพร่กระจายคลื่น

การสื่อสารของระบบเครือข่ายไร้สายจะใช้การสื่อสารทางวิทยุซึ่งการใช้การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นค่าส่วนกลับกำลังสองกับระยะทางตามทฤษฎีของ Inverse-square law ถ้ากำหนดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นลักษณะรอบทิศทาง โดยเครื่องส่งมีกำลังงานที่ส่งออกไป  $P_t$  การแพร่กระจายรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นลักษณะของวงกลมรอบแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีรัศมีเป็น  $ds$  เป็นค่าดิฟเฟอเรนเชียลของพื้นผิว (Differential of surface) จึงทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็กๆ ( $A$ ) ของพื้นผิวทรงกลมค่าความหนาแน่นของกำลังงานจะเท่ากับ

$$P_r = P_r(\theta, \phi) ds \quad (3.1)$$

โดยที่  $P_r$  เป็นกำลังที่เครื่องรับได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์รูปแบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำหนดโดย

$$P_r(\theta, \phi) = \left[ \frac{E_{\theta_n}^2(\theta, \phi) + E_{\phi_n}^2(\theta, \phi)}{Z_0} \right] \quad (3.2)$$

$$E_{\theta_n}(\theta, \phi) = \frac{E_{\theta}(\theta, \phi)}{E_{\theta_n}(\theta, \phi)_{\max}} \quad (3.3)$$

$$E_{\phi_n}(\theta, \phi) = \frac{E_{\phi}(\theta, \phi)}{E_{\phi_n}(\theta, \phi)_{\max}} \quad (3.4)$$

$Z_0$  เป็นค่า Intrinsic impedance โดยมีค่า  $\approx 377\Omega$ ,  $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$

$\mu_0$  เป็นค่า Permeability ของ free space โดยมีค่าเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-12} H/m$

$\epsilon_0$  เป็นค่า Permittivity ของ free space โดยมีค่าเท่ากับ  $8.854187817 \times 10^{-12} F/m$

$E_{\theta_n}(\theta, \phi)_{\max}$  และ  $E_{\phi_n}(\theta, \phi)_{\max}$  คือ ค่าสูงสุดของสนามไฟฟ้าในมุมของ  $\theta$  และ  $\phi$

ถ้ากำหนดให้สายอากาศเป็นแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) และพื้นผิวการกระจายคลื่นเป็นทรงกลมดังรูปที่ 3.1 ดังนั้นกำลังส่งที่เครื่องรับได้รับคือ

$$P_r = r^2 \int_0^\pi \int_0^{2\pi} P_r(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \quad (3.5)$$

$$P_r = P_r r^2 \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \sin \theta d\theta d\phi$$

$$P_r = \frac{P_i}{4\pi r^2} \quad (3.6)$$

โดย  $4\pi r^2$  คือ พื้นที่ของการกระจายคลื่นซึ่งเป็นรูปวงกลมและมีรัศมี  $r$  สมมติให้  $G_r$  คือ อัตราการขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นจะได้เป็น

$$P_r = \frac{P_i G_r}{4\pi r^2} \quad (3.7)$$

ส่วนทางด้านสายอากาศของเครื่องรับจะติดตั้งในทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้สูงสุด สมมติให้  $P_r$  คือ กำลังงานที่สายอากาศของเครื่องรับได้รับ ในกรณีเช่นนี้สายอากาศจะใช้พื้นที่เอฟเฟกทีฟ (Effective:  $A_{eff}$ ) ในการรับสัญญาณ ดังนั้นค่ากำลังงานที่รับได้จะมีค่าเป็น

$$P_r = \frac{P_i G_r}{4\pi r^2} \times A_{eff} \quad (3.8)$$

ในสายอากาศใดๆ ก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่เอฟเฟกทีฟ คือ

$$\frac{A_{eff}}{G_r} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (3.9)$$

กำหนดให้  $\lambda$  คือความยาวคลื่นของคลื่นที่แพร่กระจาย ถ้า  $G_r$  คือ อัตราการขยายกำลังของสายอากาศรับ กำลังงานในการรับสัญญาณจะหาได้ดังสมการการแพร่กระจายคลื่นของฟรีอิส (Friis free - space equation) ดังนี้

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \quad (3.10)$$

โดย

$P_t$  เป็นกำลังงานในการส่งสัญญาณ

$P_r$  เป็นกำลังงานในการรับสัญญาณ

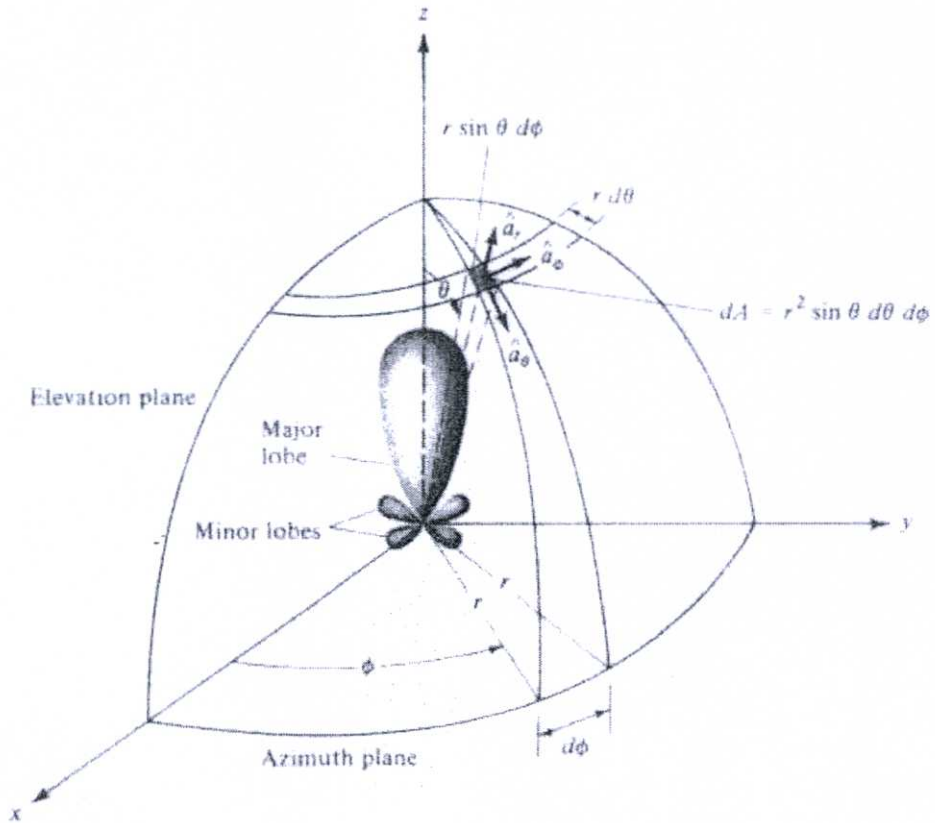
$G_t$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศส่ง

$G_r$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศรับ

$r$  เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง

$L$  เป็นการลดทอนของระบบ ( $L > 1$ )

$\lambda$  เป็นความยาวคลื่นในหน่วยเมตร



รูปที่ 3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก

จะเห็นว่ากำลังงานที่รับได้จะแปรผันกับระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งยกกำลังสองและแปรผกผันกับความถี่ยกกำลังสองอีกด้วย ซึ่งถ้าระยะทางหรือความถี่เพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้กำลังงานที่ได้รับน้อยลง 4 เท่าจากค่าเดิม โดยสมการลดทอนเนื่องจากระยะทาง (Path Loss) ในหน่วยเดซิเบล กำหนดได้โดย

$$L = -10 \log \frac{P_r}{P_t} = -10 \log \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \quad (3.11)$$

$$L(\text{dB}) = G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - (32.45 + 20 \log r + 20 \log f) \quad (3.12)$$

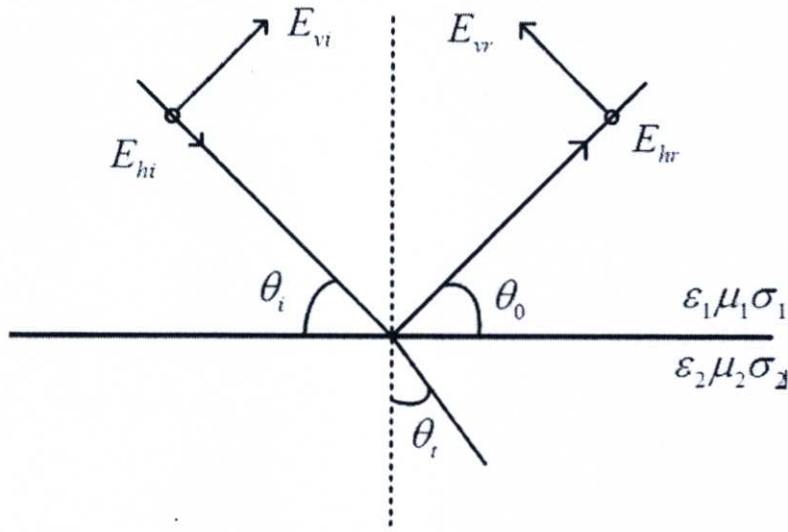
ถ้าอัตราส่วนของกำลังงานที่รับได้กับกำลังงานที่ส่ง (โดยใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิก ค่าอัตราขยายกำลังของ  $G_t$  และ  $G_r$  จะมีค่าเท่ากับ 1) และแทนค่าความสัมพันธ์  $\lambda = c/f$  (โดย  $c$  คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) จะได้สมการลดทอนเป็น

$$L(\text{dB}) = 32.45 + 20 \log r + 20 \log f \quad (3.13)$$

### 3.2 พื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น (Basic propagation mechanisms)

#### 3.2.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

การสะท้อนของคลื่นจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนสิ่งกีดขวางที่มีมิติกว้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณเช่น การสะท้อนจากพื้นผิวของโลกและจากสิ่งก่อสร้าง หรือคลื่นที่สะท้อนมาจากผนัง ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่อุปกรณ์รับสัญญาณเมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบบนตัวกลางสองตัวที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน คลื่นส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนกลับและคลื่นอีกส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านไป สำหรับในกรณีที่คลื่นตกกระทบบนอากาศปกตินผิวตัวนำไฟฟ้า คลื่นจะมีการสะท้อนกลับโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ถ้าคลื่นตกกระทบบนผิวของฉนวนไฟฟ้า พลังงานส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านเข้าไปในผิว พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและจะไม่มีการสูญเสียของพลังงานในการดูดกลืน ซึ่งความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบบนและคลื่นสะท้อนแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟรสเนล (Fresnel reflection coefficient :  $\Gamma$ )



รูปที่ 3.2 การสะท้อนของคลื่น

จากรูปที่ 3.2 จะแสดงลักษณะการตกกระทบและสะท้อนของคลื่น โดยตัวห้อย v และ h จะหมายถึงการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้ง (Vertical) และแนวนอน (Horizon) ตามลำดับ และตัวห้อย i และ r จะหมายถึงสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบและสะท้อนตามลำดับ ค่าเพอร์มิตติวิตี้ ค่าความแทรกซึม และสภาพการของการนำของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 จะแทนด้วย  $\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1$  และ  $\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2$  ตามลำดับในกรณีนี้ที่ตัวกลางที่ 1 เป็นอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอน จะแสดงได้ดังสมการที่ (3.14) และสมการที่ (3.15)

$$\Gamma_v = \frac{E_{vr}}{E_{vi}} = \frac{\epsilon_r \sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\epsilon_r \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.14)$$

$$\Gamma_h = \frac{E_{hr}}{E_{hi}} = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.15)$$

เมื่อ  $\epsilon_r$  เป็นค่าเพอร์มิตติวิตี้ที่สัมพันธ์กันระหว่างตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 และ  $\theta_i$  เป็นมุมตกกระทบที่ทำให้สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน  $\Gamma_h$  มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเรียกมุมนี้ว่ามุมของ บรีวสเตอร์ (Brewster angle) โดยสามารถเขียนสมการของมุมบรีวสเตอร์ได้ดังสมการที่ (3.16)

$$\sin \theta_i = \frac{\sqrt{\epsilon_r - 1}}{\sqrt{\epsilon_r^2 - 1}} \quad (3.16)$$

การแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศส่งและตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในเส้นทาง การมองเห็นในระดับสายตาจะเป็นไปตามสมการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิส ซึ่งเป็นการ พิจารณาคลื่นที่เดินทางผ่านสูญญากาศเท่านั้น แต่สำหรับรูปแบบการสะท้อนของคลื่นบนพื้นดินใน รูปที่ 3.3 จะเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาถึงคลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นที่ สะท้อนจากพื้นดิน (Two – Ray Model) โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้ จะสมมุติให้ ความยาวคลื่นมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งกีดขวางทั้งหมด ในกรณีที่ระยะห่างระหว่าง สายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าน้อย และสมมุติให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ค่าของ สนามไฟฟ้าที่รับได้ทั้งหมด จะเป็นผลรวมระหว่างสนามไฟฟ้าในเส้นทางการมองเห็นในระดับ สายตา ( $E_{LOS}$ ) หรือสนามไฟฟ้าที่ได้รับจากคลื่นตรงและค่าของสนามไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นดิน ( $E_r$ ) ที่ระยะทาง  $d_0$  จากรูปกำหนดให้  $h_t$  เป็นความสูงของสายอากาศส่ง และ  $h_r$  เป็นความสูง ของสายอากาศรับ ดังนั้นจากกฎของการสะท้อนจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.17)

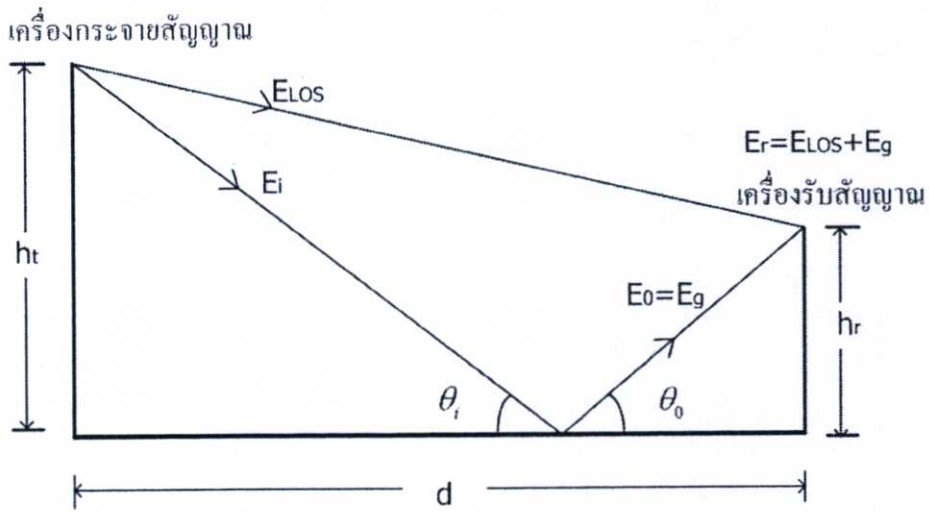
$$\theta_i = \theta_o \text{ และ } E_o = \Gamma E_i \quad (3.17)$$

เมื่อ  $\Gamma$  เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นดิน พิจารณาในกรณีที่ระยะทางระหว่าง สายอากาศส่ง และสายอากาศรับมีระยะทางไกลมาก ดังนั้นจึงสามารถประมาณค่ามุมกระทบ ( $\theta_c$ ) ให้มีค่าเป็น 0 องศา และคลื่นสะท้อนจะมีขนาดเท่ากับคลื่นตกกระทบ แต่จะมีความต่างเฟสเป็น 180 องศา ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการแสดงค่าสนามไฟฟ้าทั้งหมดได้ดังสมการที่ (3.18)

$$|E_r(d)| = \frac{2E_{LOS}d_0}{d} \sin \frac{\theta\Delta}{2} \quad (3.18)$$

โดยค่าความต่างเฟส ( $\theta\Delta$ ) จะสัมพันธ์กับค่าความต่างของเส้นทาง ( $\Delta$ ) ระหว่างเส้นทาง ของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (3.19)

$$\theta\Delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} \quad (3.19)$$



รูปที่ 3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก

จากรูปที่ 3.3 ถ้าระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ( $d$ ) มีค่ามากจะสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (3.20)

$$\sin \frac{\theta \Delta}{2} \approx \frac{\theta \Delta}{2} = \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \quad (3.20)$$

เมื่อ  $\frac{\theta \Delta}{2}$  มีค่าน้อยมากๆ และค่าสนามแม่เหล็กที่รับได้ในหน่วยโวลต์ต่อเมตรจะเป็น

$$E_r(d) \approx 2E_{LOS} \frac{2\pi h_t h_r d_0}{\lambda d^2} \approx \frac{k}{d^2} \quad (3.21)$$

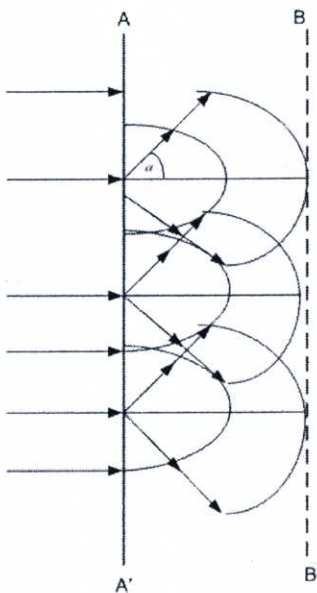
โดย  $k$  เป็นค่าคงที่สัมพันธ์กับ  $E_{i0}$  เป็นสนามไฟฟ้าที่วัดได้ที่ระยะ  $d_0$  จากสายอากาศส่ง ค่าพลังงานที่วัดได้ที่ตำแหน่ง  $d$  จะแปรผันตรงกับค่าสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีค่ามากๆ พลังงานที่ได้รับก็จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 40 dB/decade โดยค่าพลังงานที่รับได้และค่าของการลดทอนของสัญญาณจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจากพื้นดินในหน่วยเดซิเบล ได้ดังสมการที่ (3.22)

$$L(\text{dB}) = -10 \log(G_t) - 10 \log(G_r) - 10 \log(h_t) - 10 \log(h_r) + 40 \log(d) \quad (3.22)$$

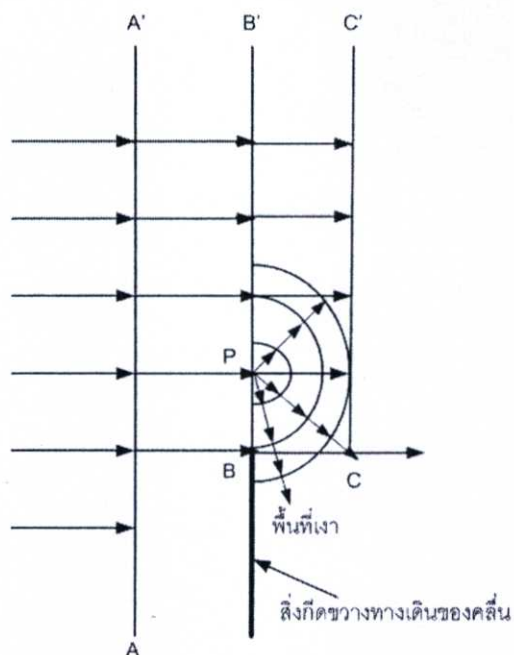
### 3.2.2 การหักเหของคลื่น (Diffraction)

การหักเหของคลื่น (Diffraction) จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างอุปสรรคส่งและรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุมหรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ คลื่นที่มีการหักเหเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง จะมีการคลื่นที่ผ่านอากาศและเคลื่อนที่บริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (ทำให้เกิดพื้นที่เงา) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์หักเหของคลื่นที่ความถี่สูงการหักเหจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของสิ่งกีดขวาง แอมพลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการหักเห ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการหักเหของคลื่น สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเบื้องต้นของฮิวเกน (Huygen's principle) ซึ่งกล่าวไว้ว่า “ทุกๆ จุดบนคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเช่นเดียวกันกับแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สอง ซึ่งสามารถเป็นจุดกำเนิดคลื่นย่อยอื่นๆ และคลื่นย่อยต่างๆ เหล่านี้ จะประกอบกันเป็นหน้าคลื่นใหม่ในเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น การหักเหที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา ซึ่งค่าความหนาแน่นของคลื่นที่เกิดจากการหักเหในเขตพื้นที่เงาจะมีการรวมกันแบบเวกเตอร์ของคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด”

จากรูปที่ 3.4 เมื่อพิจารณา AA' จะเห็นว่ามีเกิดการเกิดคลื่นในแนวต่างๆ ที่แตกกระจายออกไปในมุม  $\alpha$  ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่าแอมพลิจูดของคลื่นต่างๆ เป็น  $(1 - \cos \alpha)$  แต่ในทิศทางตรงข้ามมุม  $\alpha$  จะมีค่าเท่ากับศูนย์องศาและมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดคือเท่ากับ 2 ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งมีมุม เท่ากับ  $\alpha$  จะมีค่าแอมพลิจูดต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 1

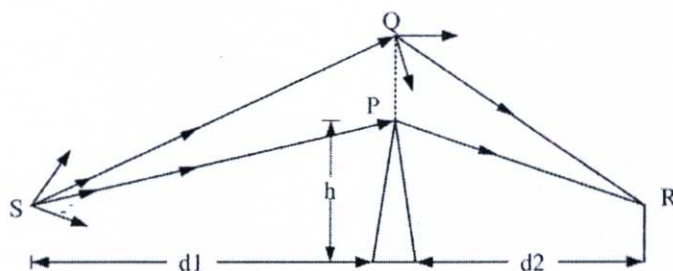


รูปที่ 3.4 หลักการของ Huygen



รูปที่ 3.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง

จากรูปที่ 3.5 เมื่อมีเขตพื้นที่เงาเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เช่น ภูเขา หรืออาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ เหล่านี้ โดยให้ลักษณะของสิ่งกีดขวางเกิดขึ้นบริเวณนี้ จะสามารถอธิบายด้วยหลักการของฮิวเกน



S-แหล่งกำเนิดสัญญาณหรือสายอากาศส่ง

R-สายอากาศรับ

Q-แหล่งกำเนิดคลื่นลำดับที่สองตามทฤษฎีของฮิวเกน

P-บริเวณที่เกิดการหักเหของคลื่น

รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen

จากรูปที่ 3.6 ค่าความแรงของสนามไฟฟ้าที่จุด R ในพื้นที่เงา (จะเรียกว่าโซนการหักเห) จะเป็นผลรวมของเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของฮิวแกนในพื้นที่เหนือสิ่งกีดขวาง โดยค่าความแรงของสนามไฟฟ้า ( $E_d$ ) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการหักเหของคลื่นที่บริเวณสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมแหลม จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.23)

$$E_d = E_0 F(\nu) \quad (3.23)$$

โดย  $E_0$  เป็นความแรงของสนามไฟฟ้าในอากาศในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวางและ  $F(\nu)$  เป็นฟังก์ชันของค่าพารามิเตอร์การหักเหของเฟรสเนลและเคอร์ชอฟฟ์ (Fresnel - Kirchoff diffraction parameter -  $\nu$ ) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (3.24)

$$\nu = h\sqrt{(2/\lambda)(d_1 + d_2)/d_1 d_2} \quad (3.24)$$

โดย  $h$  เป็นความสูงของสิ่งกีดขวาง  $d_1$  และ  $d_2$  เป็นระยะทางของสิ่งกีดขวางจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ตามลำดับ ถ้าสิ่งกีดขวางยื่นออกมาเหนือเส้นทางลากจากจุด S ไปยังจุด R โดยค่าของ  $h$  และ  $\nu$  จะเป็นบวก แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีระดับต่ำกว่าสภาวะการมองเห็นในระดับสายตา ค่าของ  $h$  และ  $\nu$  จะเป็นลบ และค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลจะสามารถหาได้จากตาราง เพื่อใช้ในการหาค่า  $\nu$  โดยสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหในหน่วยเดซิเบลที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.25)

$$L_d = 20 \log |F(\nu)| \quad (3.25)$$

เนื่องจากลักษณะของสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหที่จะนำไปหาค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลนั้นยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้นในปี Lee จึงได้ทำการหาคำตอบโดยประมาณในหน่วยเดซิเบลไว้ดังสมการที่ (3.26) ถึงสมการที่ (3.30)

$$L_d = 0 \quad 1 \leq \nu \quad (3.26)$$

$$L_d = 20 \log(0.5 + 0.62\nu) \quad 0 \leq \nu \leq 1 \quad (3.27)$$

$$L_d = 20 \log(0.5 \exp(0.95\nu)) \quad -1 \leq \nu \leq 0 \quad (3.28)$$

$$L_d = 20 \log\left(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1\nu + 0.38)^2}\right) \quad -2.4 \leq \nu \leq -1 \quad (3.29)$$

$$L_d = 20 \log(-0.225/\nu) \quad \nu \geq -2.4 \quad (3.30)$$

### 3.2.3. การกระเจิงของคลื่น (Scattering)

การกระเจิงหรือการแตกกระจายของคลื่น (Scattering) จะเกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆ มีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นและจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในสิ่งแวดล้อมของคลื่นวิทยุ จะประกอบด้วยค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นควบคู่กันทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระพลังงานสะท้อนจะมีการแตกออกไปในทุกทิศทาง ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ต้นไม้ เสาไฟฟ้าและพื้นที่ผิวขรุขระต่างๆ จะได้รับพลังงานที่กระจายออกมา สำหรับพื้นที่ที่มีความขรุขระมากจะทำการทดสอบโดยหลักการของเรย์เลซ (Rayleigh criterion)

### 3.3 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ

วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุจะสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ อันได้แก่ การอธิบายโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) การลดทอนของสัญญาณและการอธิบายโดยวิธีการสังเกต (Empirical Method) โดยสามารถนำมาใช้ในการอธิบายร่วมกันได้ ซึ่งการอธิบายโดยการสังเกตจะใช้หลักการที่เรียกว่า "Fitting curves" และการอธิบายโดยวิธีการวิเคราะห์จะสามารถทำได้โดยการวัดระดับความแรงของสัญญาณและทำการรวบรวมไว้เป็นข้อมูลทางสถิติ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลทางสถิตินำมาวิเคราะห์เมื่อนำทั้งสองวิธีมารวมกัน ก็สามารถที่จะหาค่าแฟกเตอร์เบื้องต้นของการลดทอนของสัญญาณได้ ตัวอย่างการหาค่าการลดทอนของสัญญาณที่แพร่กระจายดังเช่นในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้วิธีการ Log-Distance Path Loss

การหาค่าการลดทอนสัญญาณของการแพร่กระจายคลื่นด้วยวิธี "Log-Distance Path Loss" จะสามารถทำได้ด้วยการวัดระดับกำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละจุดเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่างๆแล้วหากระดับกำลังงานของสัญญาณที่มีการลดลงหรือค่าการลดทอนสัญญาณจากการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางในลักษณะของฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยการใช้สเกลลอการิทึมในหน่วย dB โดยกำลังของ  $d$  ที่ลำดับ  $n$  จะมีความสัมพันธ์ที่อ้างอิงกับ

ระยะทางคือ รัศมีการแพร่กระจายคลื่นโดยจะมีค่าเท่ากับ 1 กิโลเมตรสำหรับไมโครเซล 100 เมตร สำหรับไมโครเซล และ 1 เมตรสำหรับเซลล์ที่ติดตั้งภายในอาคาร โดยความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนสัญญาณจากการแพร่กระจายคลื่นและระยะทาง จะแสดงได้ดังนี้

$$\overline{L}_p(d) = \frac{d^n}{d_0} \quad (3.31)$$

$$\overline{L}_p(d) = L_s(d_0) + 10n \log \frac{d}{d_0} \quad (3.32)$$

$$L_s(d_0) = \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 \quad (3.33)$$

โดย  $\overline{L}_p(d)$  คือ ค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่ระยะทางใดๆ มีหน่วยเป็นเดซิเบล  $L_s(d_0)$  คือ การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่ระยะทางอ้างอิง ( $d_0$ ) และค่า  $n$  คือค่าความชันของการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่น

### 3.4 แบบจำลองทั้งหมดการแพร่กระจายที่มีผู้นำเสนอไว้

แบบจำลองทั้งหมดการแพร่กระจายสัญญาณในเครือข่ายไร้สาย WLAN ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ มีผู้นำเสนอแบบจำลองที่ได้จากการวัดมากมายแต่ที่ได้รับความนิยมมาใช้งานมีดังนี้

#### 3.4.1 แบบจำลองทั้งหมด Free Space Loss [5]

เป็นแบบจำลองทั้งหมดการกระจายคลื่นวิทยุในทางอุดมคติใช้หาค่าการลดทอนสัญญาณเนื่องจากชั้นบรรยากาศที่มีการสื่อสารจากสถานีฐานไปยังเครื่องรับสัญญาณปลายทางโดยการส่งสัญญาณจะเป็นแบบตรง (Direct path) ใช้ได้กับทุกพื้นที่ที่มีลักษณะโล่งไร้สิ่งกีดขวางไม่มีปัจจัยรบกวนจากสิ่งแวดล้อมมีสมการคือ

$$PL = 32.4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km}) \quad (3.34)$$

เมื่อ  $PL$  คือค่าลดทอนสัญญาณ (หน่วยเป็น dBm)

$d$  คือระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับสถานีฐาน (หน่วยเป็นกิโลเมตร)

$f$  คือ ความถี่ (หน่วยเป็น MHz)

### 3.4.2 แบบจำลองทั้งหมด Lopaz model [6]

เป็นแบบจำลองทั้งหมดที่ได้จากการจำลองสร้างแบบจำลองทั้งหมดการลดทอนสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม NS-2 ในการออกแบบเครือข่าย WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11g ให้กับพื้นที่นอกอาคารของมหาวิทยาลัยการอาชีวะของมณฑล Catalonia ประเทศสเปน โดยการกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้คือ อัตราการรับส่งข้อมูล, เวลาประวิงการส่งสัญญาณเฉลี่ย (Average Transmission Delay), ดีเลย์ที่เกิดจากการรอคิวส่งเฉลี่ย (Average Queue Delay), อัตราการผิดพลาดระดับเฟรม (Frame Error Rate: FER), อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (Signal to Interference and Noise ratio: SINR) สัญญาณได้ จากตัวแปรในข้างต้นใส่ตัวเลขตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวเลขที่ใช้แทนค่าพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองทั้งหมดการลดทอนสัญญาณด้วยโปรแกรม NS-2

Parameter	802.11g (ERP-OFDM)
Transmission data rate (Mbps)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
MAC header	34 bytes
PHY Preamble	16 $\mu$ s
PHY Header	4 $\mu$ s
Slot Time	9 $\mu$ s
SIFS	10 $\mu$ s
DIFS	28 $\mu$ s
Minimum backoff window size	16
Maximum backoff window size	1024
OFDM symbol interval	4 $\mu$ s
Cell radius	200 m
Initial tx power level output	30 dBm
Noise power	-96 dBm

จากข้อมูลในข้างต้นนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยแบบจำลองทั้งหมด Lopaz model [6] สามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$PL(dB) = 7.6 + 40 \log d - 20 \log h_t h_r \quad (3.36)$$

- เมื่อ  $PL$  คือค่าลดทอนสัญญาณ (หน่วยเป็น dB)  
 $d$  คือระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับแอคเซสพ้อย (หน่วยเป็นเมตร)  
 $h_t$  คือระดับความสูงของแอคเซสพ้อย (หน่วยเป็นเมตร)  
 $h_r$  คือระดับความสูงของเครื่องรับสัญญาณ (หน่วยเป็นเมตร)

### 3.4.3 แบบจำลองทั้งหมด Large Scale Fading Modeling [7]

เป็นแบบจำลองทั้งหมดที่ใช้หาค่าการลดทอนสัญญาณสำหรับพื้นที่ภายนอกอาคารแบบชนบท (Rural) สำหรับเครือข่าย WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11g ที่ความถี่ตั้งแต่ 2.35 GHz ถึง 2.65 GHz จากหมู่บ้านในประเทศอินเดียซึ่งมีการและถนนหนทางเป็นลักษณะโดยรวมอุปกรณ์ขยายภาครับมีค่า 30 dB เป็นแบบจำลองทั้งหมดการลดทอนสัญญาณอันเนื่องจากระยะทางได้เป็น

$$PL = P_{L0} + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + S(d); d \geq d_0 = 30m \quad (3.35)$$

- เมื่อ  $PL$  คือ ค่าลดทอนสัญญาณ (หน่วยเป็น dBm)  
 $P_{L0}$  คือ ค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะ  $d_0 = 30$  เมตร  
 $10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$  คือ มัธยฐานการลดทอนสัญญาณที่ระยะ  $d_0 = 30$  เมตร  
 $\gamma$  คือ ค่าความคาดเคลื่อนของการส่งสัญญาณที่สูญเสียไป  
 $d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับแอคเซสพ้อย (หน่วยเป็นเมตร)  
 $d_0$  คือ ระยะทางเริ่มต้นที่ระยะ 30 เมตร  
 $S(d)$  คือ ค่าจางหายของสัญญาณ Lognormal Shadow Fading

### 3.4.4 แบบจำลองทั้งหมด COST231-Walfisch-Ikegami [8]

เป็นแบบจำลองทั้งหมดที่ปรับปรุงจากแบบจำลองทั้งหมดของ COST231 ใช้หาการลดทอนสัญญาณในพื้นที่เมืองและชานเมืองที่มีระยะการกระจายไม่ไกลมาก ที่ระยะทางตั้งแต่ 20 เมตร ถึง 5 กิโลเมตรเป็นแบบจำลองทั้งหมดที่เหมาะสมสำหรับสมการแพร่กระจายคลื่นมาจากแบบจำลองทั้งหมดคุณสมบัติของเมืองที่สิ่งก่อสร้างมีรูปแบบแถวขนานมีความสูงและความกว้างมาตรฐาน แบบจำลองทั้งหมดจะใช้เมื่ออุปกรณ์ส่งสัญญาณและและอุปกรณ์รับสัญญาณอยู่ในตำแหน่ง NLOS สนามจะแพร่กระจายจากตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับได้รับคลื่นหักเหโดยสมมุติ

ให้ระยะห่างระหว่างอาคารมีค่า 30 เมตร ถนนกว้าง 15 เมตร อาคารสูง 25 เมตร และมุมสะท้อนเท่ากับ 90 องศา สามารถเขียนเป็นสมการอันเนื่องมาจากระยะทางได้เป็น

$$PL = 57.9 + (29.5 - \frac{1.5f_c}{925}) \log_{10} f_c + 38 \log_{10} d \quad (3.37)$$

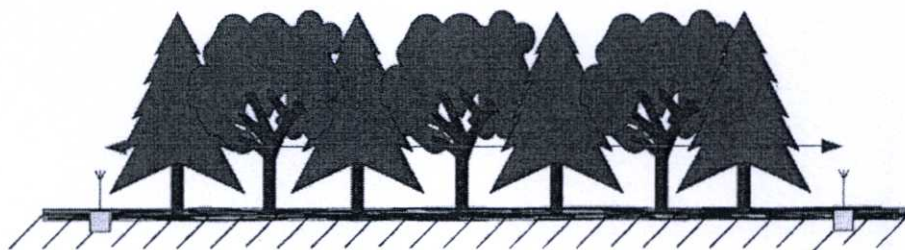
เมื่อ  $PL$  คือค่าลดทอนสัญญาณ (หน่วยเป็น dBm)

$d$  คือระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ (หน่วยเป็นเมตร)

$f_c$  คือ ความถี่ (หน่วยเป็น MHz)

### 3.4.5 แบบจำลองทั้งหมด Weissberger[9]

แบบจำลองทั้งหมดนี้ใช้สำหรับหาการลดทอนสัญญาณอันเนื่องมาจากพื้นที่ป่าที่ประกอบด้วยต้นไม้สูง โดยตัวแปรที่ใช้บอกค่าลดทอนจากต้นไม้ที่ขวางเส้นทางการกระจายคลื่นเรียกว่า Foliage factor



รูปที่ 3.7 การแพร่กระจายคลื่นระหว่างตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณผ่านใบไม้ (Propagation in Foliage)

สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หา Foliage factor สามารถแบ่งเป็นสองช่วงของระยะทางได้ ดังนี้คือ

ตั้งแต่ระยะทาง 0 ถึง 14 เมตรคือ

$$PL = 1.33(f^{0.284})(d_f^{0.588}) \quad (3.38)$$

ตั้งแต่ระยะทางมากกว่า 14 เมตรขึ้นไป

$$PL = 1.33(f^{0.284})(d_f^{0.588}) \quad (3.39)$$

ที่  $PL$  คือค่าลดทอนสัญญาณ (หน่วยเป็น dBm)

$d_f$  คือระยะทางระหว่างตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณที่ผ่านต้นไม้ (Foliage)

$f$  คือ ความถี่ของตัวส่งสัญญาณ (หน่วยเป็น GHz)

ตัวแปรค่าการลดทอนจากต้นไม้ (Foliage factor) สามารถหาค่าลดทอนทั้งหมดของระบบที่ตัวส่งสัญญาณกระจายไปยังตัวรับสัญญาณเป็นสมการดังนี้

$$PL = [10 \log G_{tx} + 10 \log G_{rx} + 20 \log h_{rx} + 20 \log h_{tx} - 40 \log] \\ + [1.33(f^{0.284})(d_f^{0.588})] \\ + *** 20 \log_{10} \left| \left\{ \frac{(1+j)}{2} \left[ \frac{1}{2} - j \frac{1}{2} - (C(v) - jS(v)) \right] \right\} \right| \quad (3.40)$$

เมื่อ  $PL$  คือค่าลดทอนสัญญาณ (หน่วยเป็น dBm)

$d_f$  คือ ระยะทางระหว่างตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณที่ผ่านต้นไม้ (Foliage)

$d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับเครื่องส่งสัญญาณ

$f$  คือ ความถี่ของตัวส่งสัญญาณ (หน่วยเป็น GHz)

$h_{tx}$  คือ ระดับความสูงของแอกเซสพ้อยท์

$h_{rx}$  คือ ระดับความสูงของเครื่องรับสัญญาณ

$G_{tx}$  คือ อัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศเครื่องส่ง

$G_{rx}$  คือ อัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศเครื่องรับ

\*\*\* จากสมการ  $L_{total}$  ไม่ได้นำพจน์ดังกล่าวใช้ในการคำนวณเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเนื่องจากแบบจำลองทั้งหมดการลดทอนสัญญาณที่นำเสนอไม่ได้มีเก็บผลการทดสอบสัญญาณในรูปแบบสถิติจึงแทนค่าเป็นศูนย์

WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ได้แก่ Free Space Loss [5] เป็นแบบจำลองพื้นฐานใช้หาค่าการลดทอนสัญญาณของเครือข่ายไร้สายทุกประเภทที่ไม่คิดค่าลดทอนสัญญาณจากสิ่งแวดล้อม แต่ในพื้นที่การใช้งานจริงสิ่งต่างๆรอบตัวล้วนแต่ทำให้เกิดการลดทอนทั้งสิ้น Lopaz

[6] ใช้แอปพลิเคชัน (Application) ในการจำลองเพื่อสร้างแบบจำลองการกระจายสัญญาณในพื้นที่ภายนอกอาคารของวิทยาลัยช่างในประเทศสเปนตัวแปรในสมการล้วนเกิดจากการจำลองเพื่อให้ได้มาซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์จะเห็นได้ว่า Free Space Loss [5] และ Lopaz [6] ไม่เหมาะสมสำหรับการออกแบบติดตั้งจริงเนื่องจากพื้นที่ภายนอกอาคารมีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการลดทอนสัญญาณซึ่งแบบจำลองทั้งหมดที่ใช้ควรมาจากการวัดสัญญาณจากพื้นที่ที่ใช้งานจริงดังเช่น Large Scale Fading [7] เป็นแบบจำลองที่ใช้การวัดค่าจากพื้นที่จริง แต่ใช้หาค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะทางเริ่มต้น ( $d_0$ ) เท่ากับ 30 เมตรซึ่งในการติดตั้งจริงระยะดังกล่าวถือเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มสัญญาณสูงสามารถรับส่งข้อมูลได้ดีมากหากใช้แบบจำลองดังกล่าวเพื่อการออกแบบทำให้ต้องใช้จำนวนแอสเซสฟ้อยมากขึ้นทั้งยังส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่ระยะทางตั้งแต่ 1 เมตรถึง 30 เมตรได้ ส่วนแบบจำลอง COST-231 Walfisch-Ikegami[8] ใช้สำหรับระบบเครือข่ายไร้สายที่มีการใช้งานย่านความถี่ 800 MHz ถึง 2000 MHz แต่ความถี่ของเครือข่าย WLAN คือ 2400 MHz ซึ่งสูงกว่าค่าความถี่ของแบบจำลองที่กำหนดทำให้ COST-231 Walfisch-Ikegami[8] ไม่เหมาะสำหรับการออกแบบเครือข่าย WLAN ส่วน Weissberger[9] เป็นแบบจำลองที่ใช้หาค่าลดทอนจากพื้นที่ป่าในระบบ Tactical Remote Sensor System (TRSS) Repeater/Relay ซึ่งเป็นระบบทางการทหารที่ใช้ย่านความถี่เดียวกับเครือข่าย WLAN คือ 2400 MHz โดยวัตถุประสงค์หลักออกแบบเพื่อใช้กับระบบนำร่องทางการทหารไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้กับเครือข่าย WLAN ทั้งลักษณะพื้นที่ในการทดสอบสัญญาณยังมีสภาพพื้นที่และสภาพอากาศแตกต่างจากประเทศไทยมากทำให้ได้ผลการคำนวณระดับกำลังรับสัญญาณมีความแตกต่างและคลาดเคลื่อนจากระดับสัญญาณที่วัดได้จริงมาก

จากความไม่เหมาะสมในแบบจำลองทั้งหมดก่อนหน้ามีข้อจำกัดหลายอย่างทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนจากระดับกำลังรับสัญญาณที่วัดได้ส่งผลให้การออกแบบเครือข่าย WLAN มีการใช้จำนวนแอสเซสฟ้อยจำนวนมากเพื่อให้บริการทำให้เปลืองงบประมาณค่าใช้จ่ายเกินความจำเป็น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งศึกษาอัตราการลดทอนสัญญาณในพื้นที่ภายนอกอาคารที่ส่งผลต่อการกระจายคลื่นของแอสเซสฟ้อยเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมตามลักษณะทางสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันสำหรับทำนายระดับกำลังรับสัญญาณเพื่อหาตำแหน่งวางแอสเซสฟ้อยที่เหมาะสมและได้รัศมีการกระจายสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณหรือข้อมูลต่อเนื่อง (Quantitative variables) โดยมีตัวแปรหนึ่งเป็นเหตุเรียกว่าตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (Independent variable; X) อีกตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรตามหรือตัวแปรผล (Dependent variable; Y) สมมติฐานที่ตั้งขึ้นคือเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์หรือศึกษาอิทธิพลระหว่างปัจจัยต่างๆ กับผลที่เกิดขึ้นตัวอย่างเช่น ผู้วิจัยต้องการศึกษาอิทธิพลระหว่างอายุ กับ Systolic Blood pressure หรืออิทธิพลระหว่างความถี่ของการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกับปริมาณสารพิษในเลือดว่ามีรูปแบบความสัมพันธ์อย่างไร ทิศทางใดและมีขนาดมากน้อยเท่าใด ตลอดจนสามารถที่จะทำนายว่าปริมาณของตัวแปรตาม (Y) มีปริมาณเท่าใดถ้าทราบค่าของปริมาณของตัวแปรอิสระ (X) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ Regression และ Correlation การวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรสองฝั่งจึงต้องใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่พิเศษกว่าบัญญัติไตรยางศ์ซึ่งก็คือ Regression Analysis และเรียกการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ว่า การประมาณการ (Prediction) แทนเมื่อเป็นเช่นนี้ตัวแปรฝั่งที่ไม่มีค่าคลาดเคลื่อนจะถูกเรียกว่าตัวประมาณการ (Predictor) โดยใช้สัญลักษณ์แทนคือ X ตัวแปรที่มีความคลาดเคลื่อนและจะเรียกว่าตัวตอบสนอง (Response) โดยสัญลักษณ์แทนคือ Y โดยที่

$$Y = F(X) \quad (4.1)$$

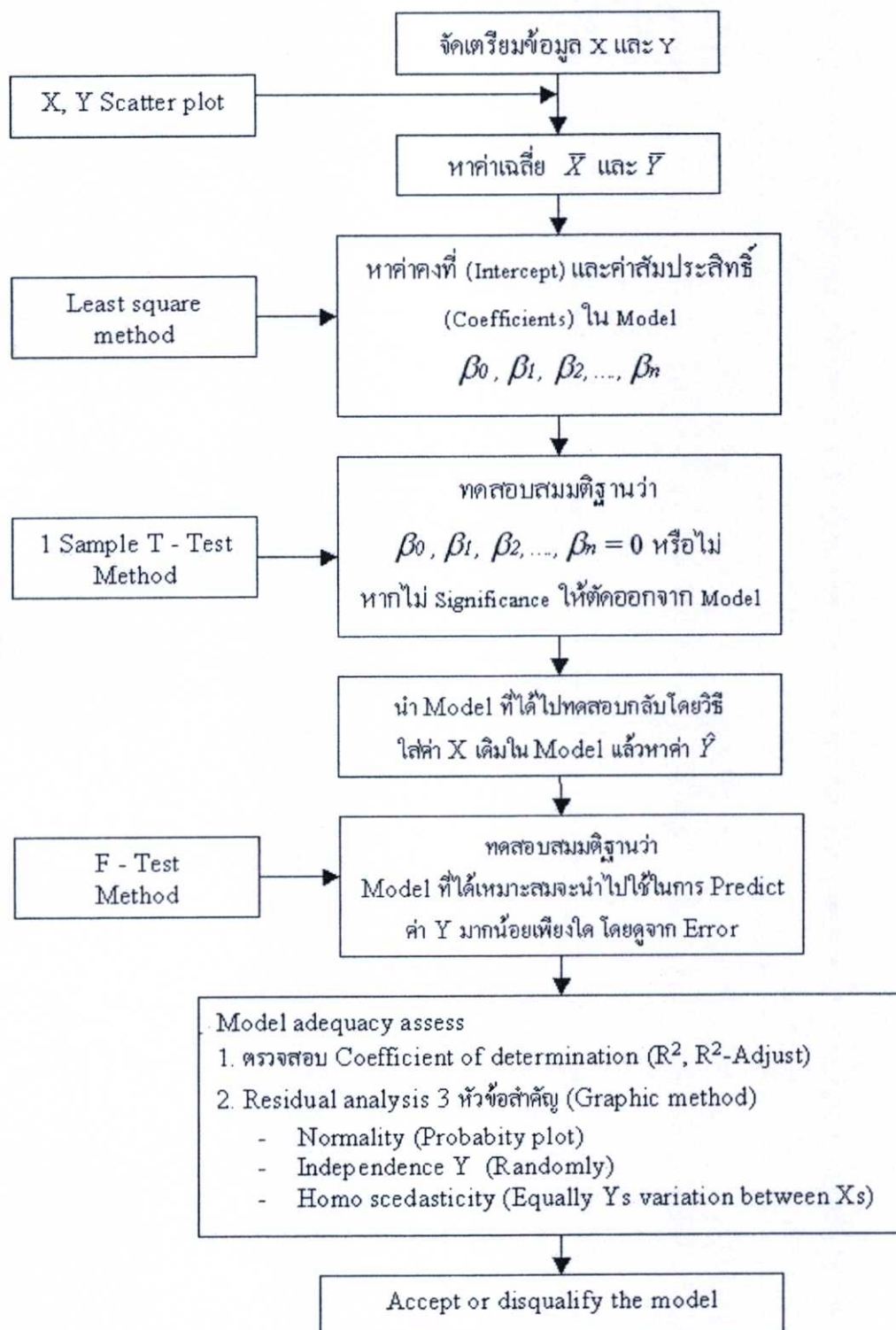
ผลการวิเคราะห์จะได้สมการหรือฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์กันของทั้งสองตัวแปรความสัมพันธ์ที่เขียนแทนด้วยฟังก์ชันคณิตศาสตร์ดังกล่าวจะเรียกว่า Model หรือ Mathematical Model และฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ได้จะสามารถนำไปประมาณการตัวแปรฝั่งที่มีค่าคลาดเคลื่อนได้โดยใช้ค่าของตัวแปรฝั่งที่มีค่าไม่คลาดเคลื่อนแปลว่าเมื่อรู้ค่าตัวแปรที่ค่าไม่คลาดเคลื่อนและรู้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์แล้วสามารถรู้ค่าตัวแปรฝั่งที่มีค่าคลาดเคลื่อนได้จึงเรียกว่า Transfer function ในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรสองฝั่งโดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์สามารถใช้ได้กับหลายลักษณะความสัมพันธ์ และปริมาณตัวแปรเช่น

1) Simple linear regression analysis ใช้เมื่อเราต้องการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรและความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรดังกล่าวจะต้องเป็นในลักษณะเชิงเส้น

2) Multiple linear regression analysis ใช้เมื่อเราต้องการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เมื่อมีตัวแปรที่เป็น Predictor มากกว่า 1 ตัวขึ้นไปความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองฝั่งเป็นแบบเชิงเส้นตรง



## 4.1.1 ลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลโดย Regression Analysis



รูปที่ 4.2 แสดงลำดับการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอย

#### 4.1.2 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical significance)

4.1.2.1 T-Statistic เมื่อเราได้แบบจำลองมาแล้วจะต้องพิสูจน์ทางสถิติค่าคงที่  $\beta_0$  และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระทุกค่า ( $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ ) ว่ามีนัยสำคัญต่อแบบจำลองหรือไม่โดยตั้งสมมติฐานโดยสมมติฐานในการทดสอบ  $\beta_0$  คือ

$$H_0 : \beta_0 = 0 \quad (4.2)$$

$$H_a : \beta_0 \neq 0$$

$$(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$$

$$\bar{Y}$$
(4.3)

การพิสูจน์สมมติฐานจะใช้ t-statistic โดยมีสมการดังนี้

$$\beta_0(i) = Y(i) - \beta_1 X(i) \quad (4.4)$$

$$(\sigma_{\beta_0})^2 = \frac{\sum (\beta_0(i) - \beta_0)^2}{n} \quad (4.5)$$

$$t_{\beta_0} = \frac{\beta_0}{\sigma_{\beta_0}} \quad (4.6)$$

ถ้าต้อง Accept  $H_0$  โดยดูจากค่า T ที่คำนวณได้ถ้าน้อยกว่าค่า T-critical ก็แปลว่าค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระตัวนั้นๆ ไม่มีนัยสำคัญต่อแบบจำลองก็ตัดออกได้โดยจะไม่ทำให้แบบจำลองนั้นเกิดความแตกต่างแต่อย่างใด ในทางตรงกันข้ามต้อง Reject  $H_0$  เมื่อ T ที่คำนวณได้มากกว่า T-critical แปลว่าค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระตัวนั้นๆ มีนัยสำคัญต่อ

แบบจำลองไม่สามารถตัดออกได้ทำให้การวิเคราะห์การถดถอยต้องมี T-test หรือมีค่า t ปรากฏในตารางผลการวิเคราะห์

4.1.2.2 F-Statistic ถ้าได้แบบจำลองที่ถือว่าดีที่สุดเท่าที่จะหาได้แต่ก็ใช้ว่าแบบจำลองดังกล่าวจะใช้ในการทำนายค่า Y ได้ถูกต้องจำเป็นต้องพิสูจน์ทราบว่าแบบจำลองที่ได้นั้นเมื่อนำไปทำนายค่า Y แล้วจะมีความคลาดเคลื่อนมากแค่ไหนหรือก็คือมี Error ระหว่าง Y และ  $\hat{Y}$  มากแค่ไหน

H0: Error ที่เกิดขึ้นที่ (Y) เกือบทั้งหมดมาจากตัวแปรอิสระ

Ha: Error ที่เกิดขึ้นที่ (Y) ส่วนน้อยเท่านั้นที่มาจากตัวแปรอิสระ

หากผลการทดสอบด้วย F-Test พบว่า Accept Ho หรือ F-Statistic ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่า F-critical ก็ให้ถือว่าแบบจำลองนั้นมีความผิดพลาดสูงจนไม่อาจยอมรับให้นำไปใช้ต่อไปได้ก็ถือว่าอย่างอื่นก็ไม่ต้องวิเคราะห์ต่อ ในทางตรงกันข้ามหากผลการทดสอบด้วย F-Test พบว่า Reject Ho หรือ F-Statistic ที่ได้มีค่ามากกว่าค่า F-critical ก็ถือว่าแบบจำลองนั้นเมื่อนำไปทำนายค่า Y แล้วมีความผิดพลาดน้อยสามารถยอมรับได้ จึงเป็นเหตุให้การวิเคราะห์การถดถอยต้องมี ANOVA เพราะใน ANOVA มี F-Test อยู่นั่นเอง

4.1.2.3 Coefficient of determination ใช้พิสูจน์ว่าแบบจำลองที่ได้นั้นมีที่มาจากดีพอจะใช้แบบจำลองจากผลการวิเคราะห์ ไปทำนายค่า Y ในอนาคตได้หรือไม่ แม้ว่า F-Test จะบอกว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดต่ำแค่ไหนก็ตามแต่หากที่มาของการเก็บข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ ไม่เหมาะสมก็ยิ่งถือว่าแบบจำลองนั้นที่ดีได้เพราะเหตุบังเอิญ

-  $R^2$  เป็นค่าที่บ่งบอกว่าข้อมูลดิบของการวิเคราะห์นั้น เหมาะสมหรือไม่ จะมีค่าระหว่าง 0 - 1 ยิ่งเข้าใกล้ 1 ก็ยิ่งดี โดยทั่วไปควรมีค่า 0.6 ขึ้นไปแต่ก็ไม่ได้มีกฎเกณฑ์แน่นอนตายตัว

-  $R^2$  Adjust เป็นค่าที่บ่งบอกว่า  $R^2$  ที่ได้นั้นเหมาะสมหรือไม่โดยจะทำการลด Sample (N) ลง 1 ตัวแล้วหาค่า  $R^2$  ใหม่อีกครั้งเรียกว่า Adjust หากมีค่าต่ำกว่า  $R^2$  มากผิดปกติก็ให้สรุปว่า Sample size ต่ำเกินไปหรือ  $R^2$  มี Sensitivity ต่อการเปลี่ยนแปลง N มากเกินไปมีโอกาสที่แบบจำลองจะผิดพลาดก็สูงทีเดียวที่เหมาะสม ค่า  $R^2$ -Adjust จะต้องต่ำกว่า  $R^2$  เพียงเล็กน้อยเท่านั้นจึงจะถือว่าการทดลองครั้งนี้เก็บข้อมูลมาดี Sample size เหมาะสมหากใช้การวิเคราะห์การถดถอยค่า  $R^2$  และ  $R^2$ -Adjust ทำให้แบบจำลองที่ได้นั้นไม่อาจจะยอมรับให้ใช้ได้ต้องกลับไปดำเนินการเก็บข้อมูลเพิ่มและเริ่มทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้งหนึ่งแม้ว่า F-test จะปรากฏผลว่าแบบจำลองนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำก็ตาม

## 4.2 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูล 2 ตัวแปร

โดยทั่วไปข้อมูลที่พบเห็นมักจะมีตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัวซึ่งค่าเหล่านั้นอาจมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันความรู้เรื่องความสัมพันธ์ของข้อมูลจะช่วยให้เข้าใจสิ่งต่างๆ ได้ดีขึ้นเช่นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีอายุการใช้งานนานขึ้นก็จะมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการอัปเดตเครื่องคอมพิวเตอร์สูงขึ้นเป็นต้น ดังนั้นจากข้อมูลที่มีการจัดบันทึกค่าของตัวแปรตั้งแต่สองตัวแปรขึ้นไปก็สามารถนำข้อมูลที่ได้อมาศึกษาว่าตัวแปรเหล่านั้นมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันหรือไม่ถ้ามีระดับความสัมพันธ์มีมากน้อยเพียงใดและลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบใด การที่ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันหมายความว่าความรู้เกี่ยวกับตัวแปรตัวหนึ่งจะช่วยให้ทราบเรื่องราวเกี่ยวกับตัวแปรอื่นที่สัมพันธ์กันได้ลักษณะของข้อมูลจะจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ข้อมูลเชิงคุณภาพหรือข้อมูลจำแนกประเภทเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างการสูบบุหรี่และการเสื่อมสภาพทางเพศเป็นต้น

2) ข้อมูลเชิงปริมาณเป็นการวัดค่าตัวแปรออกมาเป็นตัวเลขเช่นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชิ้นงาน และจำนวนของแรงงานเป็นต้น

### 4.2.1 ความสัมพันธ์ในข้อมูลเชิงปริมาณ

เมื่อมีข้อมูลของตัวแปร 2 ตัวที่วัดค่าเป็นตัวเลขซึ่งเรียกว่า ข้อมูลเชิงปริมาณ สิ่งที่น่าสนใจจากข้อมูลนี้ ได้แก่

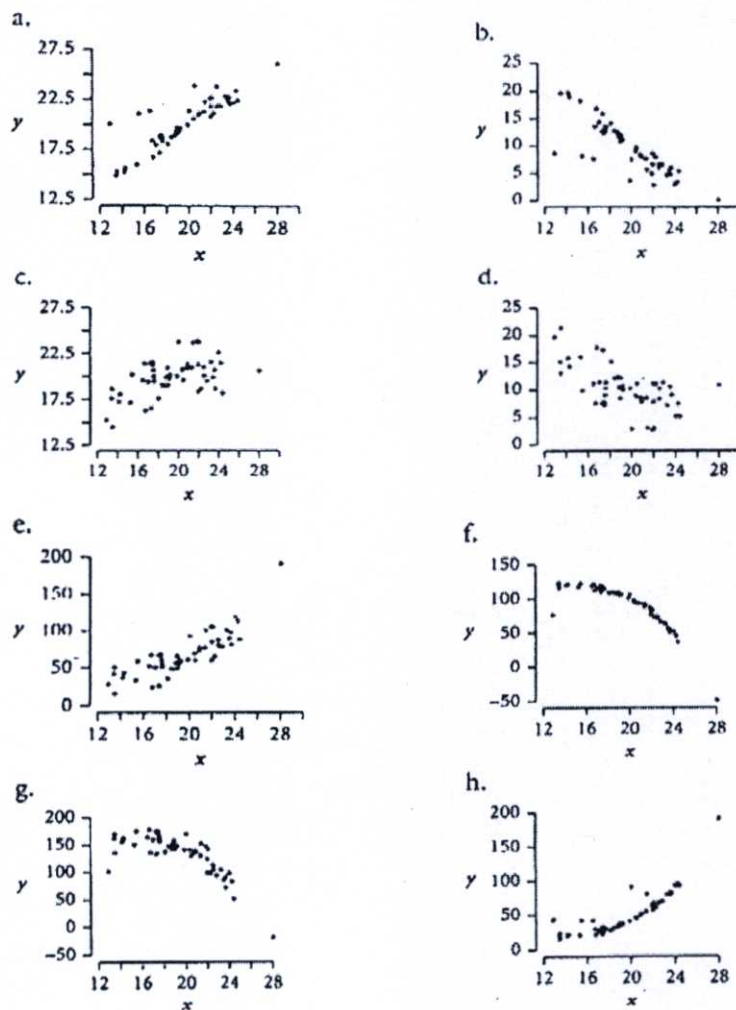
- ตัวแปรทั้งสองเกี่ยวข้องกันหรือไม่
- ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรมีมากน้อยเพียงใด
- ความสัมพันธ์ของตัวแปรอยู่ในรูปใด
- จะคาดคะเนตัวแปรหนึ่งจากอีกตัวแปรหนึ่งได้ หรือไม่

กำหนดตัวแปรทั้ง 2 ชนิดเป็น  $x$  และ  $y$  การพิจารณาค่าข้อมูลของ  $x$  และ  $y$  ที่เป็นตัวเลขไม่สามารถช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ของ  $x$  และ  $y$  ได้มากนักวิธีที่ดีกว่าและเป็นขั้นตอนแรกเริ่มที่สำคัญในการศึกษาหาความสัมพันธ์ในข้อมูลของทั้ง 2 ตัวแปรก็คือการสร้างกราฟแสดงการกระจายของข้อมูลโดยให้ตัวแปร  $x$  อยู่ทางแนวนอนและตัวแปร  $y$  อยู่ทางแนวตั้งพล็อตค่า  $x$  และ  $y$  แต่ละคู่ลำดับลงบนกราฟแผนภาพที่ได้จะเรียกว่าแผนภาพการกระจาย (scatter diagram) ซึ่งการพิจารณาแผนภาพการกระจายจะช่วยให้มองเห็นภาพของรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ดี

### 4.2.2 แผนภาพการกระจาย

ในการสร้างความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันของข้อมูลเชิงปริมาณที่ประกอบด้วยตัวแปรสองตัวจากข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดหรือจากตัวอย่างข้อมูลที่เลือกมาเป็นตัวแทนของข้อมูลที่มีอยู่มีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบรูปแบบของความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างตัวแปรทั้งสองเพื่อที่จะนำมาใช้ในการกำหนดความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันที่จะสร้างขึ้นรูปแบบของความสัมพันธ์นี้พิจารณาได้จากกราฟที่

สร้างจากข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดหรือจากข้อมูลนั้นๆ บางครั้งการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายไม่สามารถบอกลงไปได้แน่นอนว่ามีรูปของความสัมพันธ์เป็นแบบใดเนื่องจากลักษณะการกระจายไม่สามารถจัดเข้าในรูปความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันใดๆ ได้หรืออาจจะมีลักษณะของความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับรูปของความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันที่เป็นเส้นตรงหรือเป็นเอกซ์โพเนนเชียลก็ได้ในกรณีนี้ถ้าผู้สร้างความสัมพันธ์มีความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับข้อมูลชนิดนั้นๆ อาจจะบอกได้ว่าควรจะสร้างความสัมพันธ์ไม่ต้องการความละเอียดถูกต้องจากการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามจากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นนั้นมากนักก็อาจจะเลือกใช้รูปของความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันที่ง่ายต่อการคำนวณ สรุปได้ว่าการกำหนดรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณทั้งสองโดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายจะขึ้นอยู่กับความชำนาญเกี่ยวเรื่องที่น่ามาสร้างความสัมพันธ์ของผู้สร้างความสัมพันธ์นั้นและความละเอียดถูกต้องของค่าพยากรณ์ที่ต้องการเป็นสำคัญ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันจากแผนภาพการกระจาย

จากแผนภาพการกระจายในรูปที่ 4.3 แผนภาพทั้ง 8 รูปนี้แต่ละรูปแสดงแนวโน้ม (trend) ของความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันระหว่างตัวแปรอิสระ(x) และตัวแปรตาม(y) ในรูปของกราฟที่มีแนวโน้ม 2 แบบหลักๆแบบที่ 1 คือแบบเป็นเส้นตรงซึ่งสามารถพิจารณาเป็น 2 กรณีคือกรณีที่มีแนวโน้มเป็นทางบวก (positive trend) หมายความว่าเมื่อค่าของ x เพิ่มขึ้นค่าของ y จะเพิ่มขึ้นด้วย และกรณีที่มีแนวโน้มทางลบ(negative trend) หมายความว่าเมื่อค่าของ x เพิ่มขึ้นค่าของ y กลับลดลง ส่วนแนวโน้มของความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันแบบที่ 2 คือแบบไม่เป็นเส้นตรงซึ่งก็พิจารณาเป็น 2 กรณี เช่นเดียวกันกับแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงคืออาจมีแนวโน้มทางบวกหรือทางลบได้

## 4.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression)

เป็นวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการหาเกณฑ์หรือสมการเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการศึกษากับปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยที่ปัจจัยที่ต้องการศึกษานั้นจะต้องเป็นตัวแปรที่ต่อเนื่องวิธีการในการวิเคราะห์การถดถอย

1) นำข้อมูลที่จะทำการศึกษามาพล็อตดูการกระจายของข้อมูลเพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม เรียกว่าแผนภาพการกระจาย (scatter plot)

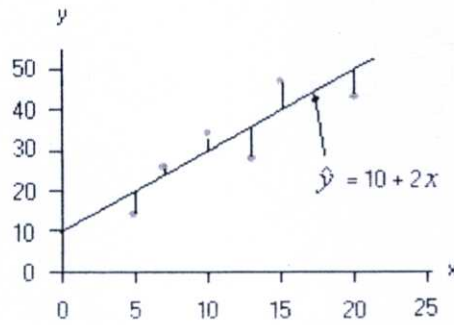
2) หาสมการที่ใช้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองเรียกสมการนี้ว่าสมการถดถอยเส้นที่เป็นตัวแทนของสมการถดถอยจะเรียกว่าเส้นถดถอย (regression line) หรือเส้นแห่งการประมาณค่า (estimation line) เพื่อการควบคุมและการพยากรณ์

3) หาความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (The standard error of estimate ; SYX) ซึ่งเป็นตัวที่ใช้วัดการกระจายของค่าจริงแต่ละค่าว่าเบี่ยงเบนไปจากเส้นถดถอยที่ประมาณขึ้นมาเล็กน้อยเพียงใดถ้าทุกจุดอยู่ใกล้เส้นถดถอย SYX จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากยิ่งขึ้นแต่ถ้าค่าแต่ละค่าแตกต่างกันไปจากเส้นมากส่งผลให้ SYX มีค่ามากตามไปด้วย

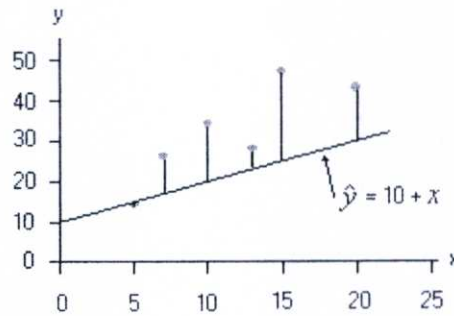
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ (x) และตัวแปรตาม (y) สมการถดถอยอยู่ในรูปเส้นตรง คือ

$$y = a + bx \quad (4.7)$$

a คือ y - intercept ซึ่งเป็นความสูงของเส้น (ค่า y) เมื่อ x = 0 และ b คือความชันของเส้นตรงที่บอกอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตามเมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนแปลงค่าไป 1 หน่วยกล่าวคือ y จะมีค่าเปลี่ยนไป b หน่วยต่อทุกหน่วยของ x ที่เปลี่ยนค่าไปเครื่องหมายของค่า b สอดคล้องกับค่าสหสัมพันธ์ r โดยจะบอกว่าค่าของตัวแปร x และ y แปรผันตามกันหรือมีทิศทางสวนกัน



a) เส้นกำลังสองน้อยที่สุด



b) ไม่ใช่เส้นกำลังสองน้อยที่สุด

รูปที่ 4.4 แผนภาพการกระจายของจุดรอบเส้นถดถอย

เมื่อทราบค่าข้อมูลเส้นตรง เราสามารถใช้วิธี least square โดยเริ่มจากสมการที่ได้

$$y - bx - na = 0$$

$$\sum x^2$$

$$\sum y$$
(4.10)

เมื่อ  $y$  คือ ค่าผลบวกของจำนวน  $y$  ทุกตัวที่มี ( $n$  ตัว)

$x$  คือ ค่าผลบวกของจำนวน  $x$  ทุกตัวที่มี ( $n$  ตัว)

หาค่า  $m$  และ  $c$  จากสมการของกราฟที่ได้

$$y = mx + c$$
(4.11)

เมื่อนำค่า  $x$  คุณทั้งสองข้าง

$$xy = mx^2 + cx \quad (4.12)$$

พล็อตค่าที่จุด  $(x_n, y_n)$  บนเส้นตรงเราจะได้

$$x_n y_n - mx_n - cx_n = R_n \quad (4.13)$$

เมื่อ  $R_n$  คือค่า residual และถ้าตัวที่ได้ดีที่สุดเมื่อ  $R_n = 0$  ดังนั้น

$$(x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n) - m(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2) - c(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = 0 \quad (4.14)$$

เขียนใหม่ได้เป็น

$$\sum xy - m \sum x^2 - c \sum x = 0 \quad (4.12)$$

ดังนั้นเราต้องหาค่า  $\sum xy$ ,  $\sum x^2$  และ  $\sum x$  เพื่อหาตัวแปร  $m$  ซึ่งเป็นความชันของเส้นตรงที่ดีที่สุดที่ลากผ่านข้อมูลบนกราฟได้ดังสมการ

$$m = \frac{(\sum x_i^2)(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (4.13)$$

และสามารถหาค่าคงที่ของความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองได้เป็น

$$c = \frac{(\sum x_i^2)(\sum y_i) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (4.14)$$

มีอีกหนึ่งวิธีในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์  $m$  และ  $c$  สอดคล้องกับสมการที่ (4.11) ดังนั้น

$$y_i = mx_i + c, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$$

เมื่อ

$$A = [1 \mid x]$$

โดยทรานสโพสท์ของเมตริกซ์  $A, \bar{A}^T$  แล้วจะได้

$$\begin{aligned}A^T y &= A^T Ax \\ (\bar{A}^T \bar{A})^{-1} \bar{A}^T \bar{y} &= \bar{k} \\ (A^T A)^{-1} A^T y &= x\end{aligned}\tag{4.15}$$

ดังนั้นเวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์  $x$  เท่ากับ

$$(A^T A)^{-1} A^T y = x\tag{4.16}$$

## บทที่ 5

### วิธีการนำเสนอและผลการทดสอบ

การออกแบบวางแอคเซสพอยท์ของเครือข่าย WLAN สิ่งแรกที่ต้องรู้คือรัศมีของแอคเซสพอยท์ที่กระจายสัญญาณไปยังพื้นที่ให้บริการและระยะห่างในการติดตั้งระหว่างแอคเซสพอยท์แต่ละตัวที่ติดตั้งบนเครือข่ายเนื่องจากระยะทางจะสัมพันธ์กับความสามารถในการรับส่งข้อมูล ถ้าระยะทางยิ่งห่างอัตราการรับส่งข้อมูลจะยิ่งลดน้อยลงโดยรัศมีของพื้นที่ให้บริการ โดยทั่วไปอยู่ที่ 20-200 เมตรขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสิ่งกีดขวางแอคเซสพอยท์หนึ่งตัวสนับสนุนผู้ใช้งานได้ 15 ถึง 250 คนขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี การคอนฟิกและการใช้ การครอบคลุมพื้นที่ให้บริการของแอคเซสพอยท์เหมือนกับเซลล์ (Cell) ในเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สายแบบเซลล์ลูล่า (Cellular) การครอบคลุมของเซลล์ (Cell Coverage) เปรียบแอคเซสพอยท์เหมือนเซลล์ไซต์ (Cell Site) ส่วนมากยึดหลักการครอบคลุมตามระดับสัญญาณ (Signal Coverage) ดังนั้นการคำนวณหาพื้นที่ที่ครอบคลุมของแอคเซสพอยท์เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการทั้งการแพร่กระจายไปตามเส้นทางในระดับแนวสายตา (Line-Of-Sight: LOS) และเส้นทางในระดับแนวนอกสายตา (Non-Line-Of-Sight: NLOS) ควรใช้วิธีการที่เหมาะสม การติดตั้งแอคเซสพอยท์จำนวนมากกว่าหนึ่งตัวแต่ละตัวควรให้สัญญาณเหลื่อมกัน (Overlap) หรือส่วนที่สัญญาณมาทับกันประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของช่องสัญญาณ (Channel) จากแอคเซสพอยท์ตัวแรกในการใช้งานแอคเซสพอยท์ในที่ติดๆกันเพื่อขยายความสามารถในการใช้งานจำเป็นจะต้องเซ็ทให้แอคเซสพอยท์ที่อยู่ติดกันใช้ช่องสัญญาณที่ห่างกันซึ่งควรห่างกันอย่างน้อย 3 ช่องสัญญาณเพื่อลดปัญหาการชนกันของข้อมูลและการสื่อสารล้มเหลวจะเห็นว่าช่องสัญญาณตัวที่ ติดกันจะไม่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันเลย โดยสามารถใช้ช่องสัญญาณซ้ำได้เมื่อสัญญาณแอคเซสพอยท์ตัวอื่นๆ ที่ช่องสัญญาณเดียวกันกระจายสัญญาณมาไม่ถึงขอบเขตที่แอคเซสพอยท์ตัวนั้นกระจายได้

การทดสอบสัญญาณทำการวัดค่ากำลังรับสัญญาณในหน่วย dBm ที่ระดับความสูงของแอคเซสพอยท์ 2 เมตร โดยอุปกรณ์รับสัญญาณห่างจากพื้นดิน 0.1 เมตร การทดสอบทำในพื้นที่ภายนอกอาคารที่ต่างกันทางสภาพแวดล้อมซึ่งมีการใช้เครือข่าย WLAN ในการสื่อสารข้อมูลสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ได้แบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ประเภทคือ

- 1) พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวางได้แก่สนามฟุตบอลโรงเรียนบดินทรเดชา สนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสวนสวนพรรณภิรมย์ โดยมีลักษณะของสภาพแวดล้อมดังรูปที่ 5.1 แสดงเป็นตัวอย่างของสภาพโดยรวม



รูปที่ 5.1 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ไร่สังคังขวางบริเวณสนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) พื้นที่โล่งใกล้แอ่งน้ำ ได้แก่ เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ริมสระน้ำอาคารหกชั้น สจล. สระน้ำสวนหลวงร.9 โดยมีลักษณะของสภาพแวดล้อมดังรูปที่ 5.2 ล้อมรอบด้วยแอ่งน้ำขนาดใหญ่



รูปที่ 5.2 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำบริเวณเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

- 3) พื้นที่ป่าไม้ ได้แก่สวนจตุจักร หุ่นแปลงหลวง สวนป่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีลักษณะของสภาพแวดล้อมดังรูปที่ 5.3 ซึ่งมีต้นไม้สูงประมาณ 2 เมตรถึง 10 เมตร



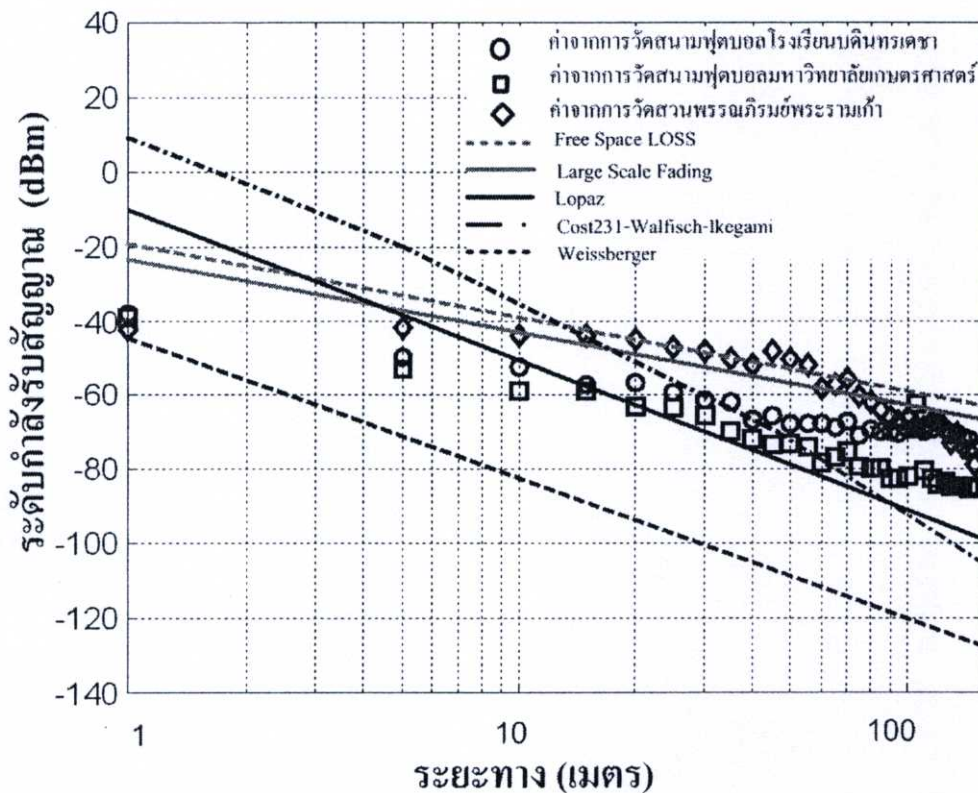
รูปที่ 5.3 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ป่าไม้บริเวณทุ่งแสลงหลวง

- 4) พื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง ได้แก่ ลานจอดรถชอยลาดพร้าว 78 อาคารจอดรถบริเวณหลังคัก KPN สนามเด็กเล่นสวนหลวงร.9 โดยมีลักษณะของสภาพแวดล้อมดังรูปที่ 5.4



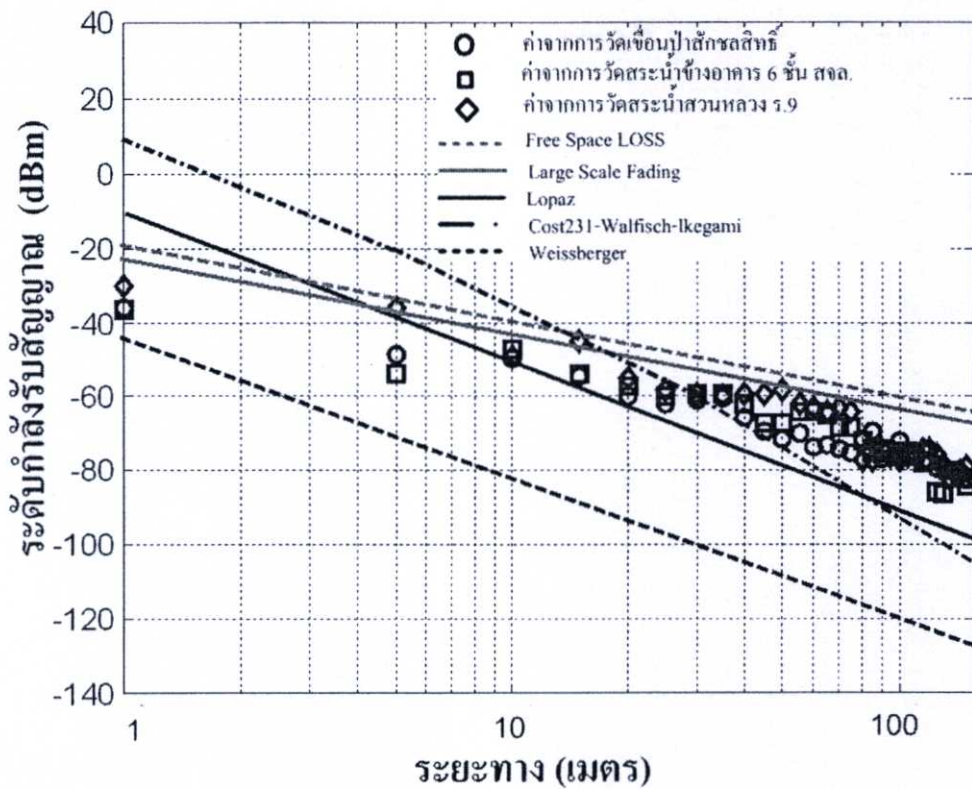
รูปที่ 5.4 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างบริเวณลานจอดรถคัก KPN

ทำการวัดค่าตำแหน่งละ 10 ครั้งนำข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยแต่ละครั้งมาพล็อตกราฟได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5.5-5.8 แล้วเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณโดยแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น Free Space LOSS ,Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger



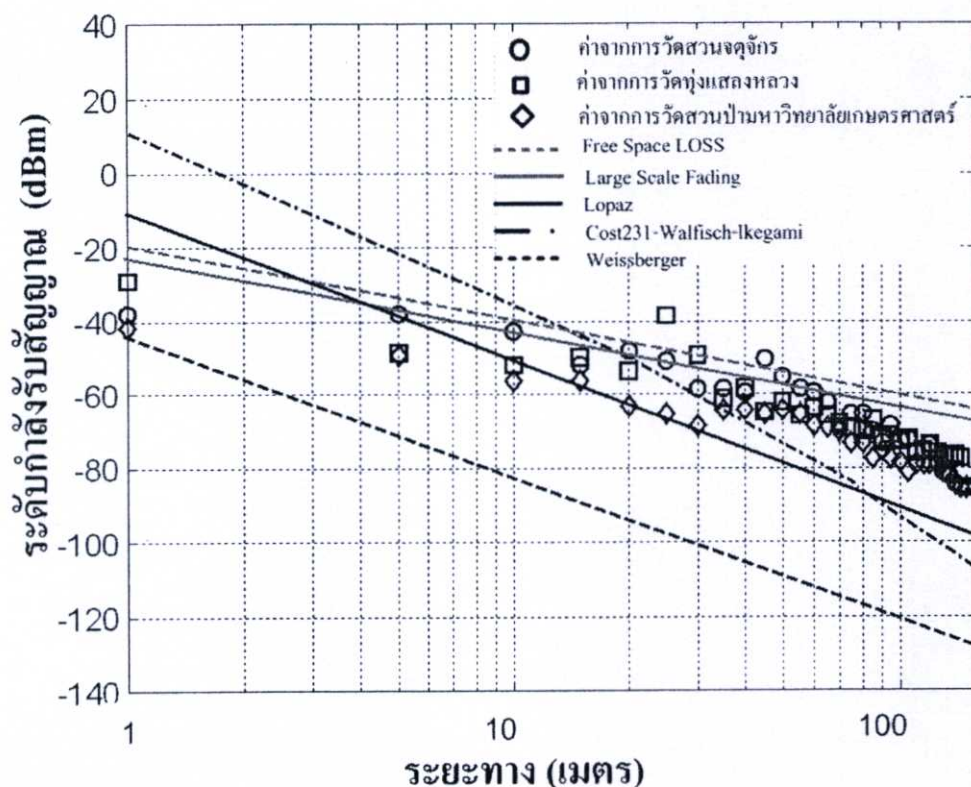
รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ไร้สิ่งกีดขวางกับการคำนวณโดยแบบจำลอง Free Space LOSS ,Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger

จากรูปที่ 5.5 เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับแบบจำลอง Free Space LOSS ,Lopez , Large Scale Fading และ Weissberger เห็นได้ว่าการวัดสัญญาณในบริเวณสวนสวนพรรณภิรมย์มีค่าใกล้เคียงจากการคำนวณจากแบบจำลอง Free Space LOSS ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายกำลังงานในอากาศอิสระที่ระยะทาง 5-80 เมตร ส่วนค่าที่วัดได้จากสนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลอง Lopez ที่ระยะทาง 7-80 เมตร ส่วนพื้นที่สนามฟุตบอลโรงเรียนบดินทรเดชามีความใกล้เคียงกับแบบจำลอง Cost231-Walfisch-Ikegami ที่ระยะทาง 20-50 เมตร



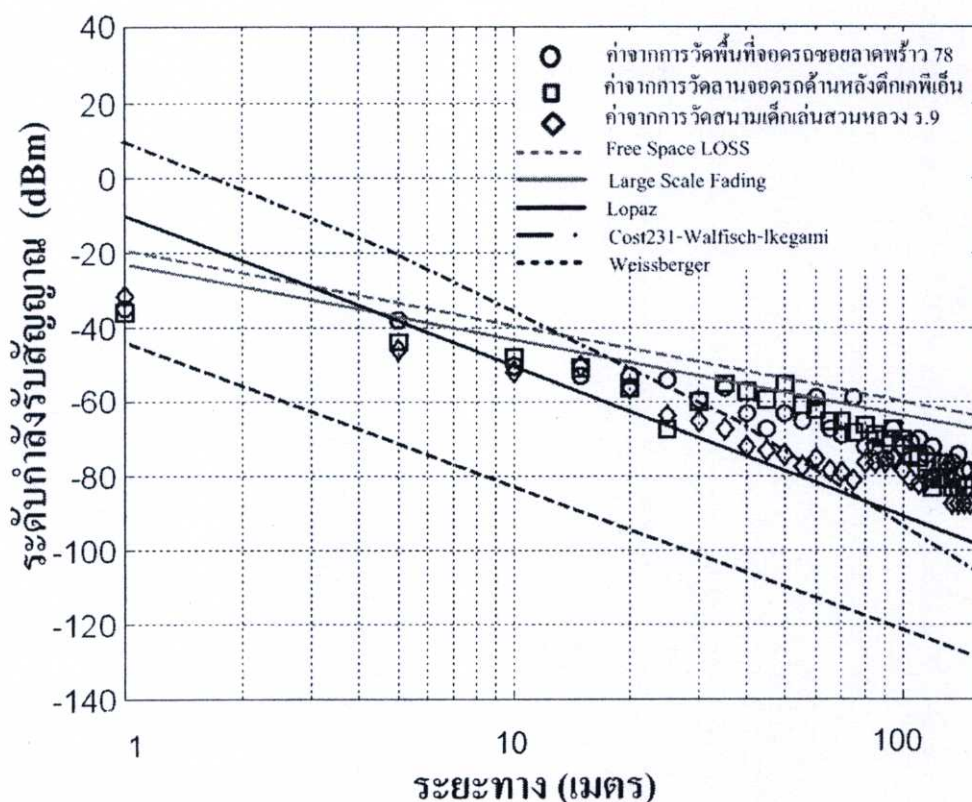
รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงน้ำกับการคำนวณโดยแบบจำลอง Free Space LOSS , Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger

จากรูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณของพื้นที่ใกล้เคียงน้ำเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณโดยแบบจำลองของ Lopez ซึ่งมีความใกล้เคียงเพียงช่วงระยะทางสั้นประมาณ 15 เมตร ส่วนแบบจำลอง Free Space LOSS, Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger มีความแตกต่างกันมาก



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ป่าไม้การคำนวณโดยแบบจำลอง Free Space LOSS ,Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger

จากรูปที่ 5.7 เห็นได้ว่าข้อมูลจากการวัดบริเวณสวนจตุจักรมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง Large Scale Fading ที่ระยะทาง 5-90 เมตรและแบบจำลอง Free Space LOSS ที่ระยะ 5-60 เมตร ส่วนบริเวณสวนป่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีความใกล้เคียงกับค่าการคำนวณโดยแบบจำลอง Lopez ที่ระยะ 10-30 เมตร ซึ่งเป็นช่วงระยะที่สั้นมากสำหรับบริเวณทุ่งแสงหลวงไม่มีความใกล้เคียงกับแบบจำลองใดๆเลยเนื่องจากพื้นที่ที่เป็นป่าสนค่อนข้างที่บทั้งแบบจำลองที่นำมาใช้เปรียบเทียบมีที่มาจากการวัดในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันมากแม้แบบจำลอง Weissberger จะเป็นการคำนวณเพื่อใช้ออกแบบเครือข่ายสำหรับเครือข่ายไร้สายในสภาพพื้นที่ป่า แต่ค่าที่คำนวณได้มีความแตกต่างจากค่าที่วัดได้สูงมาก



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างกับการคำนวณด้วยแบบจำลอง Free Space LOSS ,Lopez , Large Scale Fading, Cost231-Walfisch-Ikegami และ Weissberger

จากรูปที่ 5.8 ผลจากการวัดสัญญาณบริเวณลานจอร์จทาวน์ 78 และอาคารจอร์จทาวน์หลังตึก KPN มีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยแบบจำลอง Large Scale Fading ที่ระยะทาง 5-90 เมตร ส่วนการวัดบริเวณสนามเด็กเล่นสวนหลวง 3.9 มีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยแบบจำลอง Lopez ที่ระยะ 5-80 เมตรและใกล้เคียงกับการคำนวณโดยแบบจำลอง Cost231-Walfisch-Ikegami ที่ระยะ 15-80 เมตร

จากรูปที่ 5.5-5.8 เห็นได้ว่าที่ระยะทางตั้งแต่ 90 เมตรขึ้นไปไม่มีแบบจำลองใดสามารถคำนวณกำลังรับได้ใกล้เคียงกับผลจากการวัดสัญญาณถึงแม้จะบางแบบจำลองจะมีการคำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้แต่หากมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ถือว่ามีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแบบจำลองการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นย่านความถี่ 2400 MHz ของเครือข่าย WLAN พื้นที่ภายนอกอาคารมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g เพื่อนำมาใช้ในการหาตำแหน่งในการติดตั้งแอคเซสพ้อยโดยสร้างแบบจำลองจากผลการวัดทดสอบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

## 5.1 การออกแบบวางตำแหน่งแอคเซสพ้อยในพื้นที่ภายนอกอาคาร

การออกแบบติดตั้งแอคเซสพ้อยของเครือข่าย WLAN สำหรับใช้งานในพื้นที่นอกอาคารที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ได้แก่ พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ พื้นที่ป่า และพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง โดยทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังนี้คือ แอคเซสพ้อยมีกำลังส่ง 16.89 dBm ใช้สายอากาศภายในอุปกรณ์ที่มีอัตราขยาย 2.2 dBi ติดตั้งที่ระดับความสูงของแอคเซสพ้อยที่ระยะ 1 เมตรถึง 5 เมตร โดยหันหน้าแอคเซสพ้อยไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแล้วทำการวัดผลระดับกำลังรับสัญญาณ (Signal Level) เพื่อเก็บข้อมูลในการใช้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือ Symbol รุ่น MC3090 และแอคเซสพ้อย Cisco 1121b/g ที่กระจายสัญญาณออกมาดังแสดงในรูปที่ 5.9 ตามลำดับ



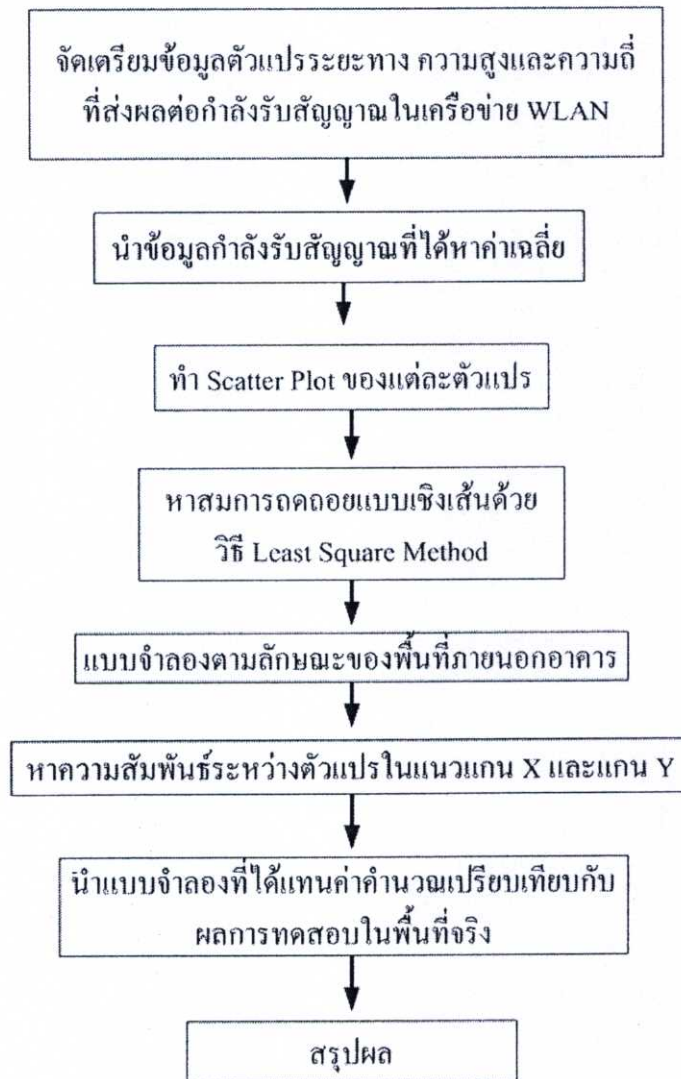
a) คอมพิวเตอร์มือถือ Symbol MC3090 และแอคเซสพ้อย Cisco 1121 b/g

Wireless Status	
1) Signal Strength	
Signal:	
Status:	Associated
Signal Quality:	Very Good
Tx Retries:	9%
Missed Beacons:	2%
Signal Level:	-53 dBm
Noise Level:	-101 dBm
SNR:	48 dB
Association Count:	30
AP MAC Address:	00:A0:F8:6E:3C:DD
Transmit Rate:	54 Mbps

b) โปรแกรม Fusion สำหรับวัดค่ากำลังรับของสัญญาณ

รูปที่ 5.9 อุปกรณ์วัดค่าสัญญาณและอุปกรณ์กระจายสัญญาณ

ภายในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือ Symbol MC3090 มีโปรแกรมที่ใช้ในการวัดสัญญาณ ทุกๆ 1 วินาทีซึ่งมีความสะดวกต่อการพกพาจึงเป็นเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์ดังกล่าวสำหรับงานวิจัยนี้ การเก็บผลใช้โปรแกรม Fusion บนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือดังรูปที่ 5.9 ในการเก็บข้อมูลค่าระดับกำลังรับของสัญญาณ (dBm) ทำการเก็บผลกำลังรับของสัญญาณที่ตำแหน่งเดียวกัน 10 ครั้งแล้วมาข้อมูลเฉลี่ยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยแบบสหสัมพันธ์ (Linear Regression) ตามขั้นตอนในรูปที่ 5.10 ที่อธิบายไว้



รูปที่ 5.10 ลำดับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการลดทอนสัญญาณทางคณิตศาสตร์

ทำการทดสอบตัวแปรที่ตั้งสมมุติฐานไว้ได้แก่ ระยะทาง ความสูงของเสาอากาศ และ ความถี่โดยมีการวัดในแต่ละตัวแปรของแต่ละพื้นที่ที่มีการกำหนดสิ่งต่างๆไว้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) ระยะทางที่ 1 เมตรถึง 150 เมตรเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เมตร ที่ความสูง 1 เมตรกำหนดความถี่ 2462 MHz
- 2) ความสูงของแอคเซสพ้อยที่ 1 เมตรถึง 5 เมตรเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เมตรที่ระยะทาง 1 เมตรกำหนดความถี่ 2462 MHz
- 3) ความถี่ของแอคเซสพ้อยที่ 2412 MHz ถึง 2462 MHz ซึ่งเป็นความถี่ของช่องสัญญาณ (Channel) ที่ 1 ถึงช่องสัญญาณ (Channel) ที่ 11 ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 ช่องสัญญาณซึ่งมีช่วงห่างของความถี่ 5 MHz ที่ระยะทางและความสูง 1 เมตร

ทำการวัดระดับกำลังรับของสัญญาณจากการเปลี่ยนค่าตัวแปรระยะทาง ความสูง และความถี่ที่ตำแหน่งเดียวกัน 10 ครั้งนำค่าที่ได้จากการวัดซึ่งเป็นค่ากำลังรับสัญญาณที่เฉลี่ยต่อระยะทางในแต่ละพื้นที่จากข้อมูลในตารางที่ 5.1-5.7 เพื่อพล็อตกราฟหาความชันจากทุกพื้นที่ตามลักษณะที่กำหนดไว้คือลักษณะพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง ลักษณะพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ ลักษณะพื้นที่ป่าไม้และลักษณะพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างและการหาค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรโดยใช้วิธีการทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรระยะทาง ความสูง และความถี่ที่มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับสัญญาณจากการกระจายคลื่นของแอคเซสพ้อยในเครือข่าย WLAN

ตารางที่ 5.1 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยต่อระยะทาง (เมตร) ในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง

ระยะทาง (เมตร)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)			
	สนามฟุตบอลดินทรเดชา	สนามฟุตบอลเกษตรศาสตร์	สวนพรรณภิรมย์	ทุกพื้นที่
1	-37.89	-39.44	-42.22	-39.85
5	-49.67	-52.89	-42	-48.19
10	-52.56	-58.89	-44	-51.82
15	-57	-58.67	-44	-53.22
20	-56.78	-62.78	-45	-54.85
25	-59.33	-63.67	-47	-56.67
30	-61.11	-65.78	-48	-58.30
35	-61.89	-69.78	-50	-60.56
40	-66.44	-71.67	-52	-63.37
45	-65.63	-73.44	-48	-62.36
50	-67.56	-72.89	-50	-63.48
55	-67.56	-74	-52	-64.52
60	-67.88	-78.11	-58	-68.00
65	-68.67	-76.78	-57	-67.48
70	-67.33	-74.89	-55.33	-65.85
75	-70.78	-79.56	-60.11	-70.15
80	-69.33	-79.78	-62	-70.37
85	-69.56	-79.67	-64	-71.08
90	-70	-82.33	-66	-72.78
95	-70.33	-82.44	-67.34	-73.37
100	-69.22	-81.89	-66	-72.37
105	-69.11	-62.56	-68	-66.56
110	-69.89	-80.22	-69	-73.04
115	-69.22	-82.56	-67	-72.93
120	-67.33	-84.22	-67	-72.85
125	-69.22	-83.67	-69.11	-74.00
130	71.11	84.78	73	76.30
135	70.11	84.56	70.11	74.93
140	71.44	84.33	74	76.59
145	71.78	84.89	75	77.22
150	74.56	84.78	79	79.45

ตารางที่ 5.2 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยต่อระยะทาง (เมตร) ในพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ

ระยะทาง (เมตร)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)			
	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	สระน้ำอาคาร 6 ชั้น สจล.	สระน้ำสวนหลวง ร.9	ทุกพื้นที่
1	36.11	36.33	30	34.15
5	48.44	54	36	46.15
10	49.78	47	49	48.59
15	54.67	54	45	51.22
20	59.89	57	55	57.30
25	61.67	59.67	58	59.78
30	60.56	59.11	59	59.56
35	60.33	59	60	59.78
40	65.56	62	59	62.19
45	69.33	67	59	65.11
50	71.56	67	58	65.52
55	69.67	64	61.89	65.19
60	73.33	64	62.89	66.74
65	72.89	65	64	67.30
70	73.89	68	62.89	68.26
75	74.89	68	64.11	69.00
80	71.22	72	77.33	73.52
85	69.44	74.23	77	73.56
90	76.67	74.22	74	74.96
95	74.11	74.89	76.11	75.04
100	72.11	76	77	75.04
105	75.89	74.49	75.89	75.42
110	76	74.89	76	75.63
115	77.22	77.45	74.11	76.26
120	77.44	77	74.11	76.18
125	79.22	85.89	75.66	80.26
130	78.89	86	78	80.96
135	79.89	80	82	80.63
140	79.89	79.89	80.89	80.22
145	80.89	81.98	79.93	80.93
150	82.22	83.89	78.89	81.67

ตารางที่ 5.3 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยต่อระยะทาง (เมตร) ในพื้นที่ป่าไม้

ระยะทาง (เมตร)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)			
	สวนจัดจักร	ทุ่งแสงหลวง	สวนป่าเกษตรศาสตร์	ทุกพื้นที่
1	-38	-29.22	-42	-36.41
5	-38	-48.78	-49	-45.26
10	-43	-51.67	-56	-50.22
15	-52	-49.56	-56	-52.52
20	-48	-53.44	-63	-54.81
25	-51	-38.78	-65	-51.59
30	-58	-49.11	-68	-58.37
35	-58	-61	-64	-61.00
40	-59	-58.22	-64	-60.41
45	-50	-64.78	-65	-59.93
50	-55	-62.11	-64	-60.37
55	-58	-65.56	-65	-62.85
60	-59	-63.44	-68	-63.48
65	-62	-65.56	-69	-65.52
70	-69	-67.89	-70	-68.96
75	-65	-68.67	-73	-68.89
80	-65	-69.67	-73	-69.22
85	-70	-66.56	-77	-71.19
90	-73	-72.11	-75	-73.37
95	-68	-71.11	-77	-72.04
100	-72.33	-72.33	-78	-74.22
105	-71.67	-71.67	-81	-74.78
110	-75.44	-75.44	-79	-76.63
115	-75.11	-75.11	-79	-76.41
120	-73.56	-73.56	-79	-75.37
125	-79	-75.78	-79	-77.93
130	-81	-76	-81	-79.33
135	-82	-76.89	-82	-80.30
140	-84	-76	-84	-81.33
145	-85	-77	-85	-82.33
150	-85	-85	-85	-85.00

ตารางที่ 5.4 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยต่อระยะทาง (เมตร) ในพื้นที่ใกล้สิ่งปลูกสร้าง

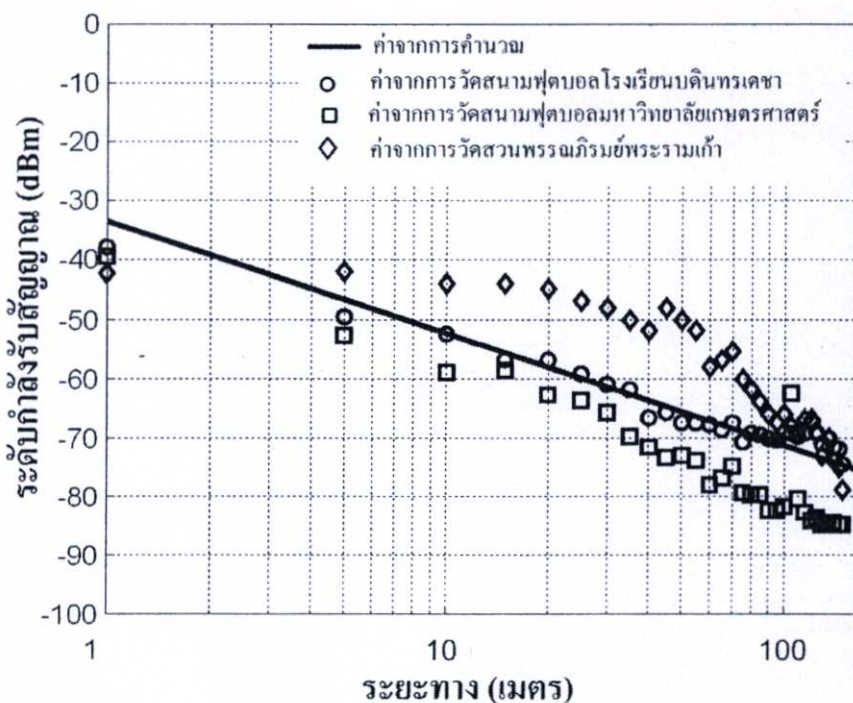
ระยะทาง (เมตร)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)			
	ลาดพร้าว 78	หลังดึก KPN	สนามเด็กเล่นสวนหลวง ร.9	ทุกพื้นที่
1	-35.11	-36	-31.89	-34.33
5	-38.22	-44	-46.11	-42.78
10	-50.11	-47.89	-52	-50.00
15	-53	-51	-50	-51.33
20	-53	-56	-56	-55.00
25	-54	-67	-63.22	-61.41
30	-59	-60	-65	-61.33
35	-56	-55	-67	-59.33
40	-63	-57	-72	-64.00
45	-67	-59	-73	-66.33
50	-63	-54.89	-74	-63.96
55	-65	-61	-77	-67.67
60	-58.89	-61.94	-75	-65.28
65	-67	-65	-78	-70.00
70	-69	-65	-79	-71.00
75	-58.89	-68	-81	-69.30
80	-72	-66	-76	-71.33
85	-72	-69	-76	-72.33
90	-75	-70	-76	-73.67
95	-67	-67	-75.11	-69.70
100	-72	-70	-78.11	-73.37
105	-71	-74	-81	-75.33
110	-69.89	-75	-82	-75.63
115	-73.89	-76	-81	-76.96
120	-72	-83	-80	-78.33
125	-76	-81	-81	-79.33
130	-75.89	-81.11	-77.89	-78.30
135	-76	-83	-87	-82.00
140	-74.11	-83	-87	-81.37
145	-78	-83	-87	-82.67
150	-78	-85	-87	-83.33

จากข้อมูลที่ทำการเฉลี่ยแต่ละสภาพแวดล้อมดังตารางที่ 5.1-5.4 หาค่ากึ่งกลางที่ลากผ่านข้อมูลทุกค่าในแผนภาพการกระจายของตัวแปรระยะทางโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาค่าคงที่  $m$  และ  $c$  ที่ทำให้ได้เส้นตรง  $\hat{y} = a + bx$  ที่ fit กับข้อมูลที่สอดคล้องกับสมการที่ (4.17) ซึ่งอยู่ในเนื้อหาบทที่ 4 ในรูปเมตริกซ์คือ

$$(A^T A)^{-1} A^T y = x$$

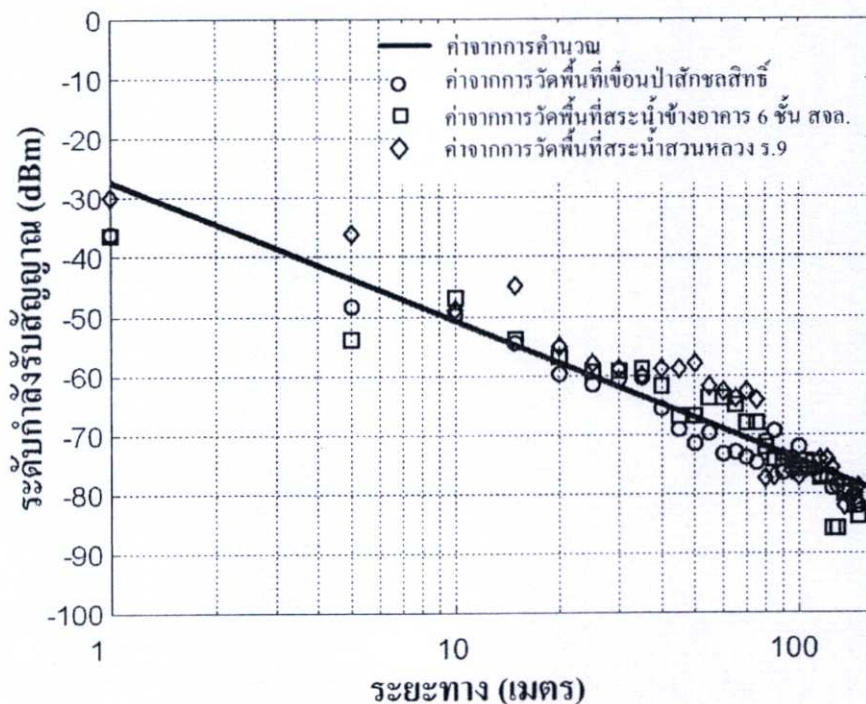
$$\text{โดย } A = [1 | x]$$

นำค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณทุกสถานที่ในสภาพพื้นที่โล่งไว้สังเกตขวางจากตารางที่ 5.1 มาหาค่าสัมประสิทธิ์  $m$  และ  $c$  ของสมการเส้นตรงจากข้อมูลโดยให้ระยะทางเป็นค่า  $x$  และระดับกำลังรับสัญญาณที่เปลี่ยนเนื่องจากระยะทางเป็น  $y$  แทนค่าข้อมูลด้วยเส้นกราฟแบบ least square โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ด้วยคำสั่ง  $k = \text{polyfit}(x, y, 1)$  ตามโปรแกรม MATLAB ในดัชนีท้ายเล่มแทนค่าตัวแปรระยะทางและระดับกำลังรับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงด้วยคำสั่ง MATLAB ได้กราฟข้อมูลแบบกระจายที่แสดงค่ากำลังรับสัญญาณเฉลี่ยลากเส้นตรงผ่านข้อมูลที่ความชัน  $m$  เท่ากับ 18.94 และค่าคงที่  $c$  เป็นการลดทอนที่ระยะทาง 1 เมตรเท่ากับ -33.58 สามารถเขียนเป็นกราฟเพื่อแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 5.11

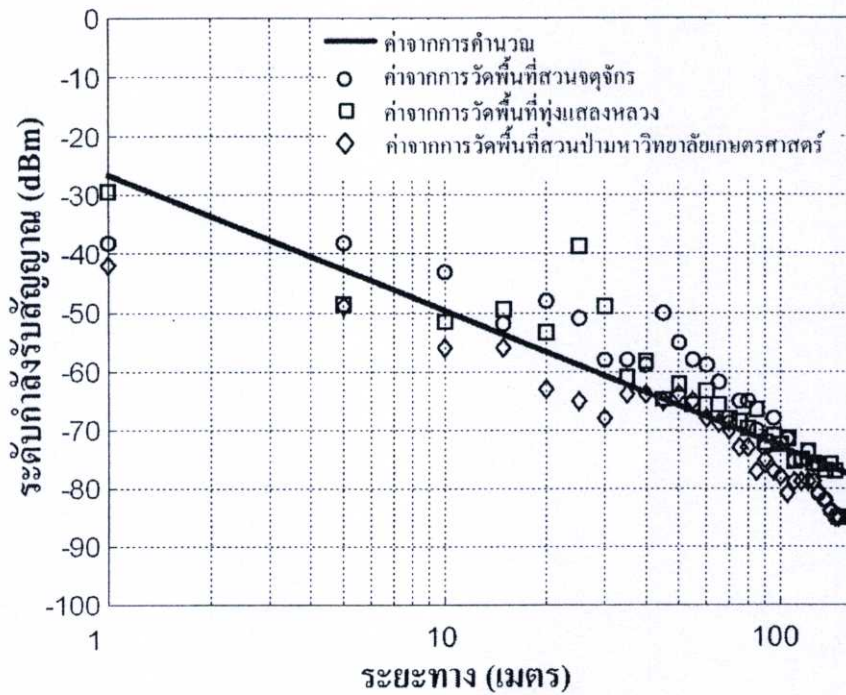


รูปที่ 5.11 กราฟแสดงระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรและความชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางจากพื้นที่โล่งไว้สังเกตขวาง

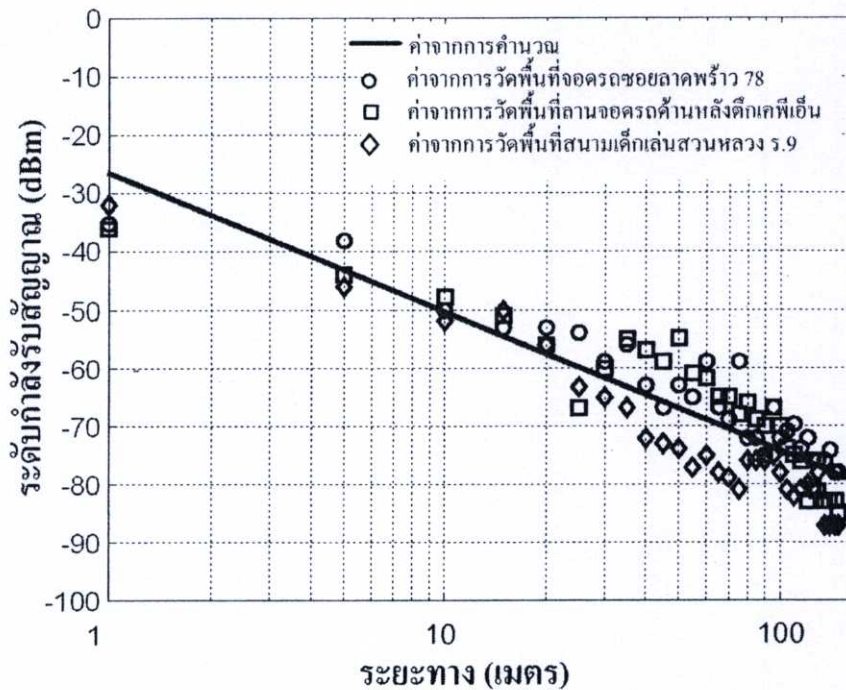
จากค่าเฉลี่ยของกำลังรับสัญญาณเนื่องจากระยะทางของพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ พื้นที่ป่าและพื้นที่ใกล้อาคารดังข้อมูลในตารางที่ 5.2-5.4 เมื่อนำค่าแทนลงในสมการ (4.17) สามารถหาค่า  $m$  และ  $c$  จากกราฟข้อมูลแบบกระจายได้เส้นตรงลากผ่านข้อมูลดังรูปที่ 5.12-5.14 สามารถสรุปค่าความชันและค่าลดทอนที่ระยะทาง 1 เมตรดังค่าที่แสดงในตารางที่ 5.10



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรและความชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางจากพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรและความชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางจากพื้นที่ป่าไม้



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตรและความชันที่ได้จากค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางจากพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงในการติดตั้งแอกเซสพ้อยกับระดับกำลังรับสัญญาณที่วัดที่ความสูงตั้งแต่ 1-5 เมตรทำการวัดตำแหน่งละ 10 ครั้งแล้วนำค่าที่วัดได้มาเฉลี่ยเป็นค่ากำลังรับสัญญาณของแต่ละพื้นที่ที่มีความต่างกันทางสภาพแวดล้อมได้แก่ พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ พื้นที่ป่าและพื้นที่ใกล้สิ่งปลูกสร้างดังข้อมูลในตารางที่ 5.5-5.8 หากค่าที่ลากผ่านข้อมูลทุกค่าโดยวิธีการถดถอยเชิงเส้นในการหาความชันที่ทำให้ได้เส้นตรง  $\hat{y} = a + bx$  ที่ fit กับข้อมูลที่สุดท้ายที่สอดคล้องกับสมการที่ (4.11) โดยโปรแกรม MATLAB สามารถหาค่าความชันของกราฟได้ค่าที่แสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.5 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระดับความสูงของแอกเซสพ้อยที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง

ความสูง (เมตร)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)			
	สนามฟุตบอลดินทรเดชา	สนามฟุตบอลเกษตรศาสตร์	สวนพรรณภิรมย์	ทุกพื้นที่
1	-32.78	-39.44	-34.22	-35.48
2	-42.33	-27.89	-38.54	-36.25
3	-43.44	-34	-45.44	-40.96
4	-40	-46.11	-47.58	-44.56
5	-41.67	-52.44	-51.67	-48.59

ตารางที่ 5.6 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระดับความสูงของแอกเซสพ้อยที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ

ความสูง (เมตร)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)			
	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	สระน้ำอาคาร 6 ชั้น สจล.	สระน้ำสวนหลวง ร.9	ทุกพื้นที่
1	-27.78	-36.33	-30.29	-31.47
2	-31.11	-44.22	-36.69	-37.34
3	-37.22	-47	-45	-43.07
4	-39.22	-54.69	-49	-47.64
5	-41.67	-57	-55	-51.22

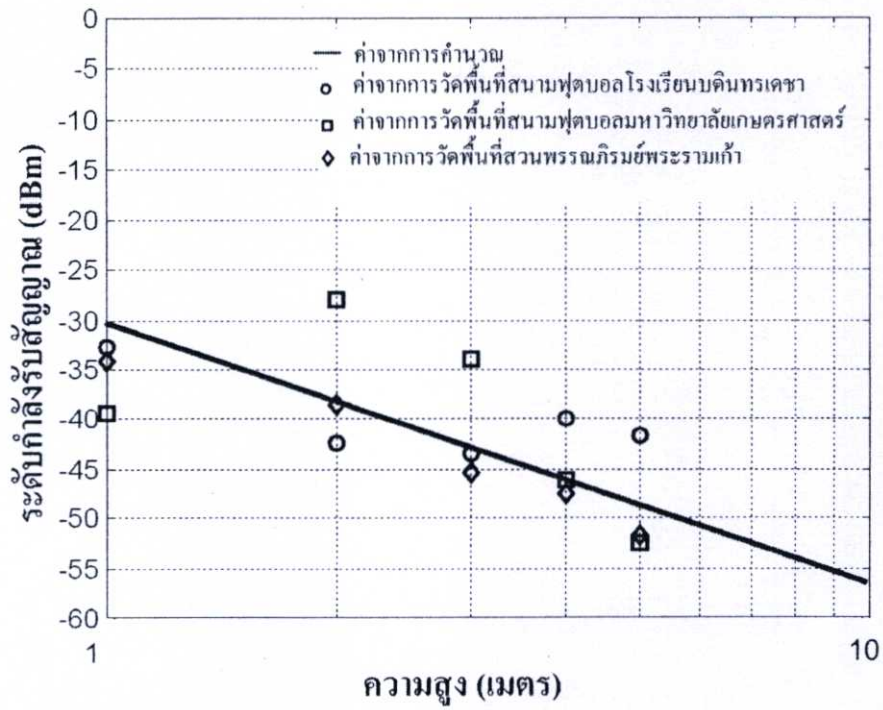
ตารางที่ 5.7 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระดับความสูงของแอคเซสพ้อยที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ป่า

ความสูง (เมตร)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)			
	สวนจตุจักร	ทุ่งแสงหลวง	สวนป่าเกษตรศาสตร์	ทุกพื้นที่
1	-32.34	-32	-34.28	-32.87
2	-36.67	-46	-38.44	-40.37
3	-42.44	-50.22	-42.65	-45.10
4	-47.48	-52.69	-46.53	-48.90
5	-52.84	-54.67	-54.83	-54.11

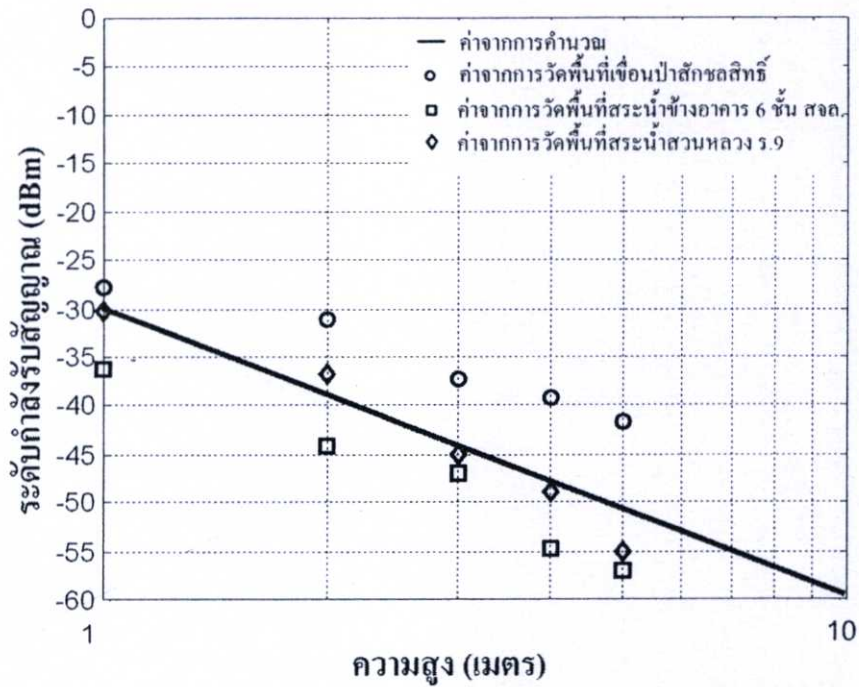
ตารางที่ 5.8 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระดับความสูงของแอคเซสพ้อยที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

ความสูง (เมตร)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)			
	ลาดพร้าว 78	หลังตึก KPN	สนามเด็กเล่นสวนหลวง ร.9	ทุกพื้นที่
1	-35	-36	-43.11	-38.04
2	-46	-44	-45.44	-45.15
3	-49	-48	-52.69	-49.90
4	-53	-48	-52.54	-51.18
5	-53	-54	-54.56	-53.85

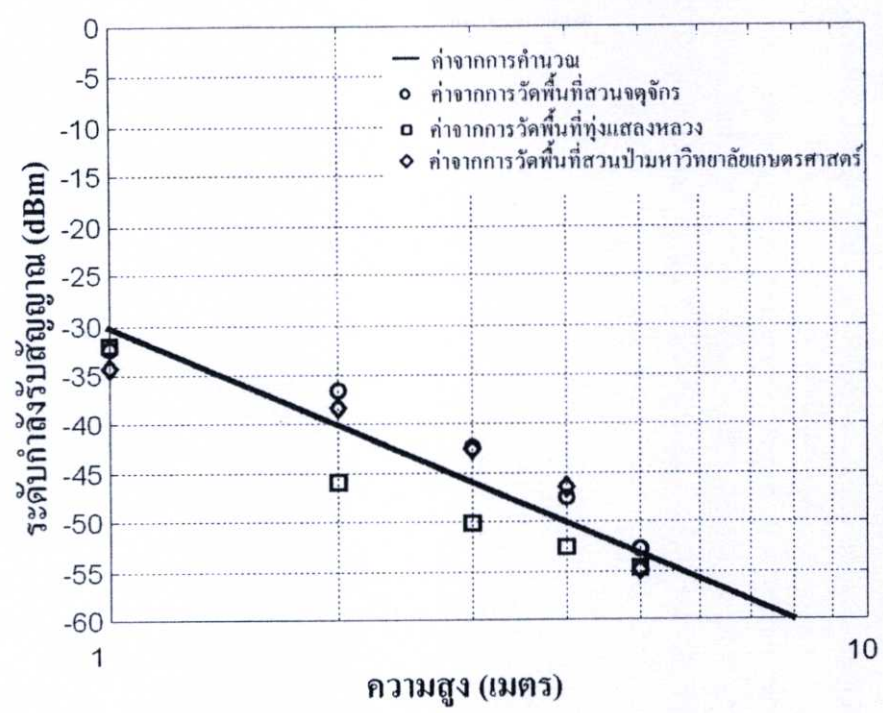
จากข้อมูลในตารางที่ 5.5-5.8 เมื่อนำมาพล็อตกราฟข้อมูลแบบกระจายได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังรับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละความสูงของจุดติดตั้งแอคเซสพ้อยในแต่ละพื้นที่ดังรูปที่ 5.15-5.18



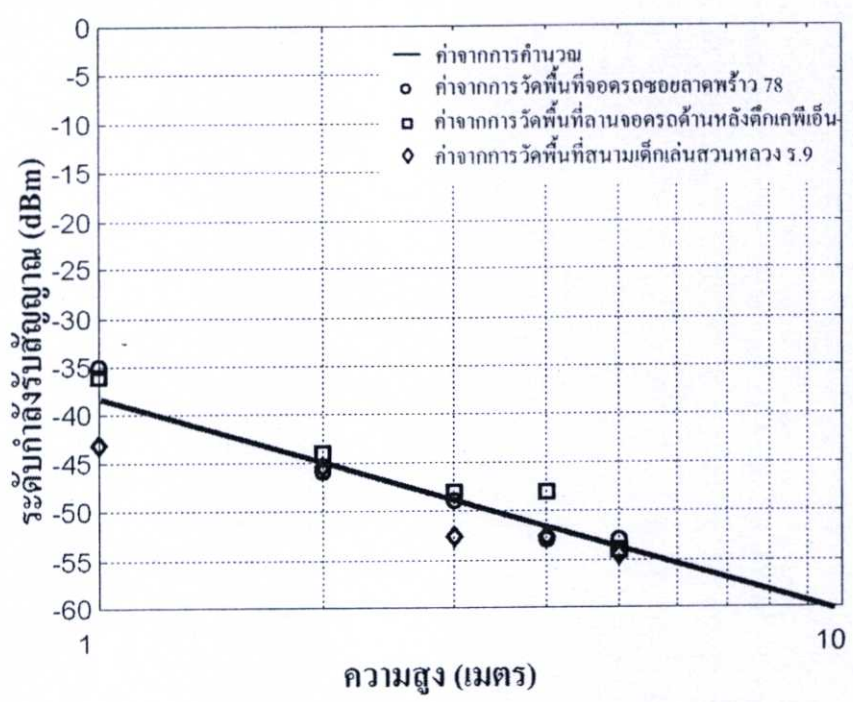
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระดับความสูงในการติดตั้งเสาเสฟยอกจากพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระดับความสูงในการติดตั้งเสาเสฟยอกจากพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระดับความสูงในการติดตั้งแอกเซสพ้อยจากพื้นที่ป่าไม้



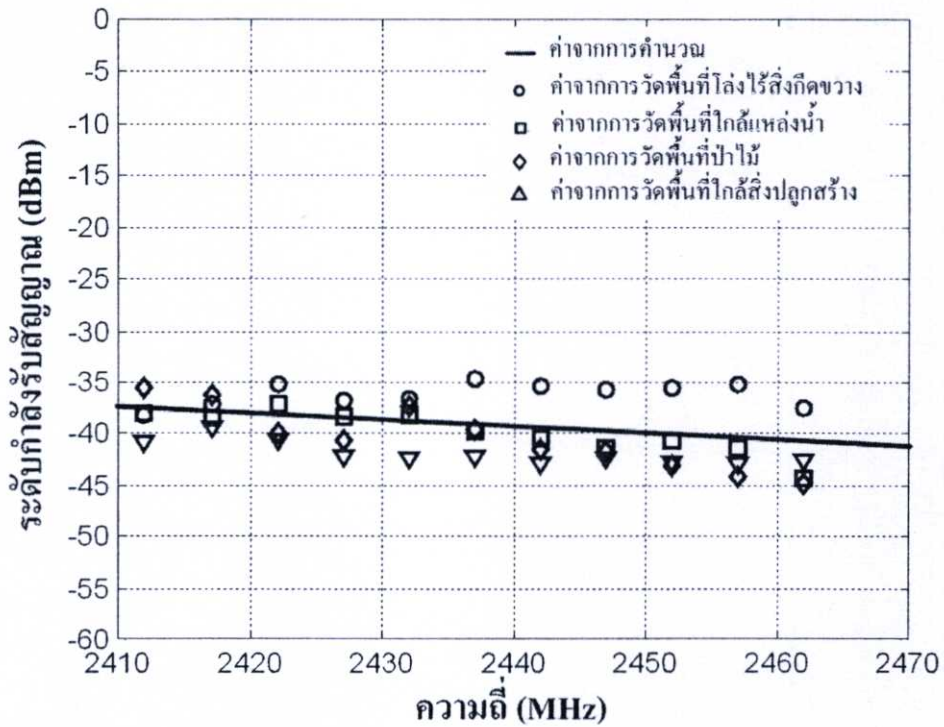
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อระดับความสูงในการติดตั้งแอกเซสพ้อยจากพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

ตัวแปรสุดท้ายที่ส่งผลให้เกิดอัตราการลดทอนของสัญญาณในเครือข่าย WLAN คือความถี่ของแอกเซสพ้อยเนื่องจากช่องสัญญาณของมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g มีเพียง 11 ช่องสัญญาณที่ค่าความถี่ 2412 MHz ถึง 2462 MHz ซึ่งมีช่วงห่างของความถี่ไม่ต่างกันมากคือ 5 MHz ดังนั้นการหาค่าเฉลี่ยเพื่อวิเคราะห์แต่ละพื้นที่จึงเป็นการเฉลี่ยจากพื้นที่ทั้งหมดได้แก่พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ พื้นที่ป่าและพื้นที่ใกล้สิ่งปลูกสร้างดังข้อมูลในตารางที่ 5.9 หาค่าที่ลากผ่านข้อมูลทุกค่าเพื่อหาค่าความชันที่ทำให้ได้เส้นตรงที่ fit กับข้อมูลที่สุดที่สอดคล้องกับสมการที่ (4.17) โดยโปรแกรม MATLAB สามารถหาค่าความชันของกราฟได้ค่าที่แสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.9 ผลกำลังรับสัญญาณเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่เปรียบเทียบกับความถี่ของแอกเซสพ้อยในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อรวมรวมเป็นค่าเฉลี่ยของระดับกำลังรับสัญญาณสำหรับใช้งานทุกพื้นที่

Frequency (MHz)	กำลังรับสัญญาณเฉลี่ย (dBm)				
	พื้นที่โล่ง	พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ	พื้นที่ป่า	พื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง	ทุกพื้นที่
2412	-38.18	-38.07	-35.48	-40.89	-38.16
2417	-37.11	-38.52	-36.3	-39.37	-37.83
2422	-35.26	-37.07	-39.89	-40.63	-38.21
2427	-36.74	-38.33	-40.63	-42.26	-39.49
2432	-36.52	-38.19	-37.3	-42.42	-38.61
2437	-34.74	-39.82	-39.56	-42.19	-39.08
2442	-35.33	-40.44	-41.44	-42.85	-40.02
2447	-35.78	-41.33	-41.78	-42.41	-40.33
2452	-35.52	-40.59	-43.15	-42.7	-40.49
2457	-35.15	-41.3	-44.15	-42.93	-40.88
2462	-37.52	-44.37	-44.81	-42.65	-42.34

จากข้อมูลในตารางที่ 5.9 เมื่อพล็อตกราฟหาความชันด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังรับสัญญาณที่เปลี่ยนตามในแต่ละช่องสัญญาณของแอกเซสพ้อยตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g ได้ลักษณะของเส้นกราฟดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความชันที่ได้จากการพล็อตค่าเฉลี่ยกำลังรับสัญญาณต่อความถี่ของแอกเซสพ้อยจากทุกสถานที่ของพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ พื้นที่ป่าและพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

การสร้างและวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างแบบจำลองการลดทอนสัญญาณจากการกระจายคลื่นวิทยุสำหรับทำนายค่าระดับกำลังรับสัญญาณ โดยใช้ค่าเฉลี่ยระดับกำลังรับสัญญาณที่ระยะทางเริ่มต้น 1 เมตรและความชันเนื่องจากระยะทางแสดงรายละเอียดตามตาราง 5.10 โดย A เป็นจุดตัดแกนที่แสดงระดับกำลังรับสัญญาณเมื่อระยะทางเป็นศูนย์ ( $x=0$ ) และ  $B_d$  เป็นค่าความชันจากระยะทาง  $B_h$  เป็นค่าความชันจากความสูง และ  $B_c$  เป็นค่าความชันจากความถี่ของเส้นตรง (slope) การหาสมการเส้นตรงโดยการประมาณที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรระยะทาง ความสูงของสายอากาศและความถี่ ด้วยเทคนิคการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method)

ตารางที่ 5.10 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตร ( $A_0$ ) และค่าความชันจากระยะทาง ( $B_d$ ) ความสูง ( $B_{ht}$ ) และความถี่ ( $B_{fc}$ )

ตัวแปรที่ทำให้เกิดการลดทอนในเครือข่าย WLAN					
ลักษณะพื้นที่	ค่าลดทอน ระยะทาง 1 เมตร	ความชันของกราฟ			ค่าคงที่
		ระยะทาง	ความสูง	ความถี่	
	$A_0$ (dBm)	$B_d$	$B_{ht}$	$B_{fc}$	K
ไร้สิ่งกีดขวาง	-33.58	18.94	25	16.45	29.72
ใกล้แหล่งน้ำ	-27.39	23.54	32.45	16.45	38.14
ป่าไม้	-26.83	23.19	32.45	16.45	38.71
ใกล้สิ่งก่อสร้าง	-26.95	23.81	21.25	16.45	35.22

จากรายละเอียดในตารางที่ 5.10 เส้นตรงที่ลากผ่านข้อมูลบนแผนภาพแบบกระจายดังรูปที่ 5.11-5.19 เห็นได้ว่าเมื่อระยะทาง ความสูงของสายอากาศและความถี่เมื่อค่าตัวแปรเพิ่มขึ้น ระดับกำลังรับของสัญญาณมีค่าลดลงหมายถึงเกิดการลดทอนในเครือข่าย WLAN เพิ่มขึ้น

## 5.2 สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ

การหาค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการแพร่กระจายคลื่นเมื่อพิจารณาค่ากำลังงานประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น (ERP: Effective Radiated Power) ซึ่งเท่ากับกำลังงานของเครื่องส่งคูณกับอัตราขยายของสายอากาศ กำลังงานประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไอโซโทรปิก (EIRP : Effective Isotropic Radiated Power ) เมื่อมีกำลังส่งเป็น  $P_t$  มีหน่วยเป็น (dBm: EIRP) และมีการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศเครื่องส่งและรับเป็น  $L$  มีหน่วยเป็น ( dBm) ถ้า  $A_{eff}$  คือพื้นที่ในการรับสัญญาณ (absorption cross-section) ของสายอากาศไอโซโทรปิก,  $P_u$  เป็นความหนาแน่นของกำลังงานที่รับได้ กำลังงานที่รับได้เป็น  $P_r$  หาได้ผลคูณของความหนาแน่นของกำลังที่รับได้กับพื้นที่ในการรับสัญญาณดังสมการ

$$P_r = P_u * A_{eff} \quad (5.1)$$

$$P_r \text{ (dBm)} = P_u \text{ (dBm / m}^2\text{)} * A_{eff} \text{ (m}^2\text{)} \quad (5.2)$$

$$10 \log P_r = 10 \log P_u + 10 \log A_{eff} \quad (5.3)$$

$$P_r \text{ (dBm)} = P_u \text{ (dBm / m}^2\text{)} + 10 \log A_{eff} \quad (5.4)$$

เมื่อ  $A_{eff} = \lambda^2 / 4\pi$  เป็นความยาวคลื่น

ความหนาแน่นกำลังงานที่รับได้จะหาได้จากความแรงของสัญญาณที่รับได้หารด้วยอิมพีแดนซ์เสมือนของอากาศจะเขียนสมการได้

$$\begin{aligned} P_r &= P_u + 10 \log A_{eff} \\ &= E(dB\mu V / m) - 10 \log(120\pi) - 90 + 10 \log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) \end{aligned} \quad (5.5)$$

เมื่อการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นเป็นความแตกต่างระหว่างกำลังงานการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้สายอากาศไอโซโทรปิกกับกำลังที่รับได้จะได้จากสมการที่ (5.5) และแทนสมการที่ (5.5) ลงในสมการที่ (5.6)

$$\begin{aligned} L(dB) &= P_t(dB) - P_r(dBm) \\ &= P_T(dBW : EIRP) - E(dB\mu V / m) - 10 \log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + 115.8 \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$P_T(dBW : EIRP) = P_t G_t = P_t(dB) + G_t(dBi) \quad (5.7)$$

จากราฟระดับกำลังรับสัญญาณที่เฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ภายนอกอาคารทั้ง 4 แบบดังรูปที่ 5.11-5.18 เส้นตรงที่ลากผ่านค่าเฉลี่ยข้อมูลจากการวัดโดยสมการลดทอนที่ 4.17 สามารถกำหนดได้ระยะหน่วยเป็นเมตรได้ดังนี้

$$L = A + B \log d(m) \quad (5.8)$$

เมื่อ A เป็นค่าการลดทอนที่ระยะทาง 1 เมตร B คือค่าความชันกราฟ จากค่าในตารางที่ 5.10 โดยพื้นที่ไร่สิ่งกีดขวาง  $P_r = -33.58$  dBm, พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ  $P_r = -27.39$  dBm, พื้นที่ป่าไม้  $P_r = -26.83$  dBm, พื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง  $P_r = -26.95$  dBm ที่กำลังส่ง  $P_t = -16.89$  dBm ซึ่งนำมาแทนในสมการ (5.8) ที่ระยะทางที่ 1 เมตรจะสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองการลดทอนสัญญาณของพื้นที่นอกอาคารทั้ง 4 แบบได้เป็น

$$L(dB) = B_d \log d(m) + B_{h_t} \log h_t(m) + B_{f_c} \log f_c(MHz) - K \quad (5.9)$$

เมื่อ  $f_c$  คือความถี่ใช้งาน (MHz)

$d$  คือระยะทาง (เมตร)

$h_t$  คือความสูงในการติดตั้งเสาเสตพ้อย (เมตร)

ภายใต้เงื่อนไขอัตราขยายสัญญาณ (Gain) ของเสาอากาศแอคเซสพ้อยเป็น 2.2 dBi และความสูงของอุปกรณ์รับ 0.1 เมตร เมื่อนำค่าการลดทอนที่ระยะทาง 1 เมตร และค่าความชันของตัวแปรระยะทาง ความสูง ความถี่ต่อค่ากำลังรับสัญญาณเฉลี่ยจากตารางที่ 5.10 แทนลงในสมการที่ 5.9 สามารถเขียนสมการใหม่แยกตามลักษณะสภาพพื้นที่ได้ดังนี้

พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง

$$\text{Pr}(dBm) = 29.72 - 18.94 \log d(m) - 25 \log h_t(m) - 16.45 \log f_c(\text{MHz}) \quad (5.10)$$

พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

$$\text{Pr}(dBm) = 38.14 - 23.54 \log d(m) - 32.45 \log h_t(m) - 16.45 \log f_c(\text{MHz}) \quad (5.11)$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\text{Pr}(dBm) = 38.71 - 23.19 \log d(m) - 32.45 \log h_t(m) - 16.45 \log f_c(\text{MHz}) \quad (5.12)$$

พื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

$$\text{Pr}(dBm) = 35.22 - 23.81 \log d(m) - 21.25 \log h_t(m) - 16.45 \log f_c(\text{MHz}) \quad (5.13)$$

เมื่อ Pr คือค่ากำลังรับของสัญญาณ (dBm)

$f_c$  คือความถี่ใช้งาน (MHz)

$d$  คือระยะทาง (เมตร)

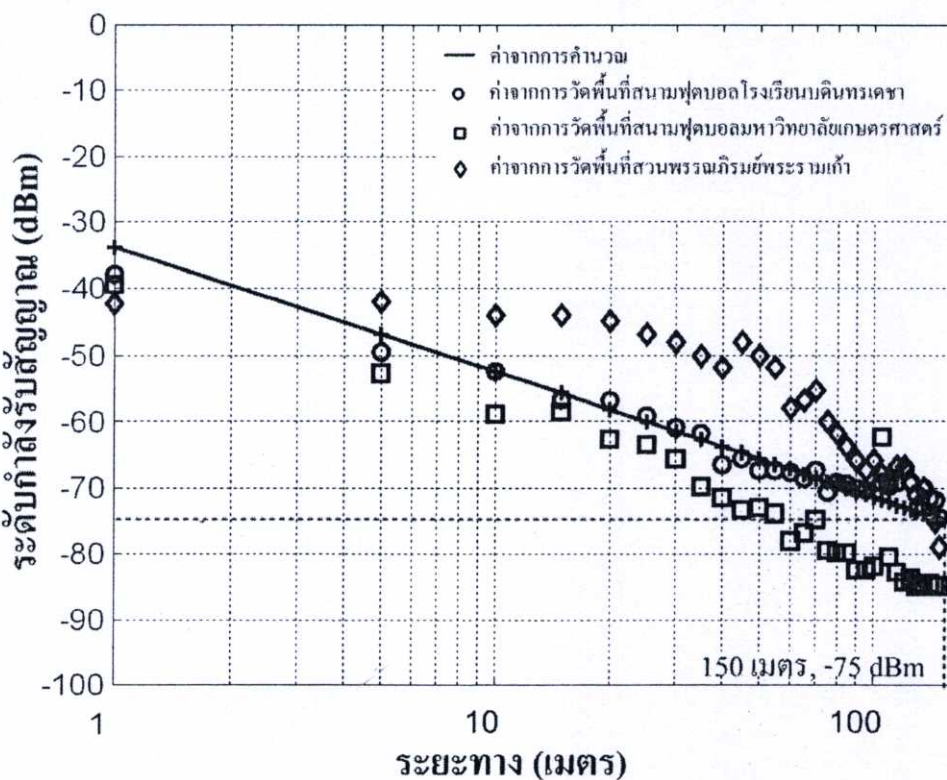
$h_t$  คือความสูงในการติดตั้งเสาเสตพ้อย (เมตร)

### 5.3 การทดสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ

เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ใช้การรับส่งข้อมูลแบบ OFDM โดยทั่วไปค่าความเข้มสัญญาณต่ำสุดที่ใช้ในการออกแบบเครือข่าย WLAN อยู่ที่ -82 dBm โดยอัตราการรับส่งข้อมูลเป็น 2 Mbps ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงใช้ -82 dBm เป็นขอบของสัญญาณ แล้วจึงนำผลการทดลองจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการออกแบบเครือข่าย WLAN ในพื้นที่ภายนอกอาคาร ตามลักษณะที่ต่างกันของสภาพแวดล้อมดังสมการที่ 5.10-5.13 มาทดสอบความแม่นยำระหว่างค่ากำลังรับสัญญาณที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองที่นำเสนอ กับค่ากำลังรับสัญญาณที่ได้จากการวัดสัญญาณในพื้นที่การทดสอบจริง

#### 5.3.1 พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง

นำค่ากำลังรับสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่คำนวณจากสมการที่ 5.10 เปรียบเทียบกับผลการวัดในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวางบริเวณ สนามฟุตบอลโรงเรียนบดินทรเดชา สนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสวนสวนพรรณภิรมย์ ได้ผลดังรูป 5.20

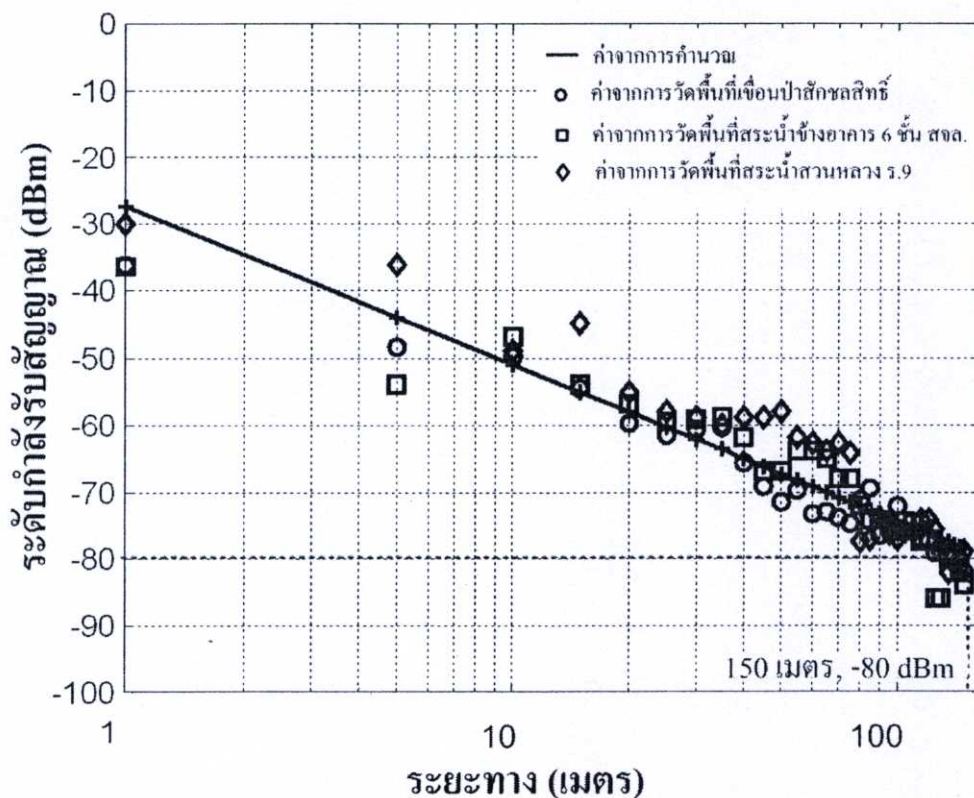


รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง

จากรูปที่ 5.20 จะเห็นได้ว่าในผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับการวัดบริเวณสนามฟุตบอลโรงเรียนบดินทรเดชามากที่สุด โดยพื้นที่สนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จะมีความใกล้เคียงที่ระยะมากกว่า 80 เมตรขึ้นไปสำหรับบริเวณสวนสวนพรรณภิรมย์มีค่าใกล้เคียงที่ 5-25 เมตร โดยรัศมีการกระจายสัญญาณมีระยะทาง 150 เมตรที่กำลังรับสัญญาณ -75 dBm พื้นที่โล่งเป็นบริเวณที่แอกเซสพ้อยกระจายสัญญาณได้ดีเนื่องจากไม่มีสิ่งใดขวางทำให้มีลักษณะการแพร่กระจายแบบเส้นตรงแนวระดับสายตา (Line Of Sight: LOS)

### 5.3.2 พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

นำค่ากำลังรับสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่คำนวณได้จากสมการที่ 5.11 เปรียบเทียบกับผลการวัดในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำบริเวณ เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ริมสระน้ำอาคารหกชั้น สจล. สระน้ำสวนหลวงร.9 ได้ผลดังรูป 5.21



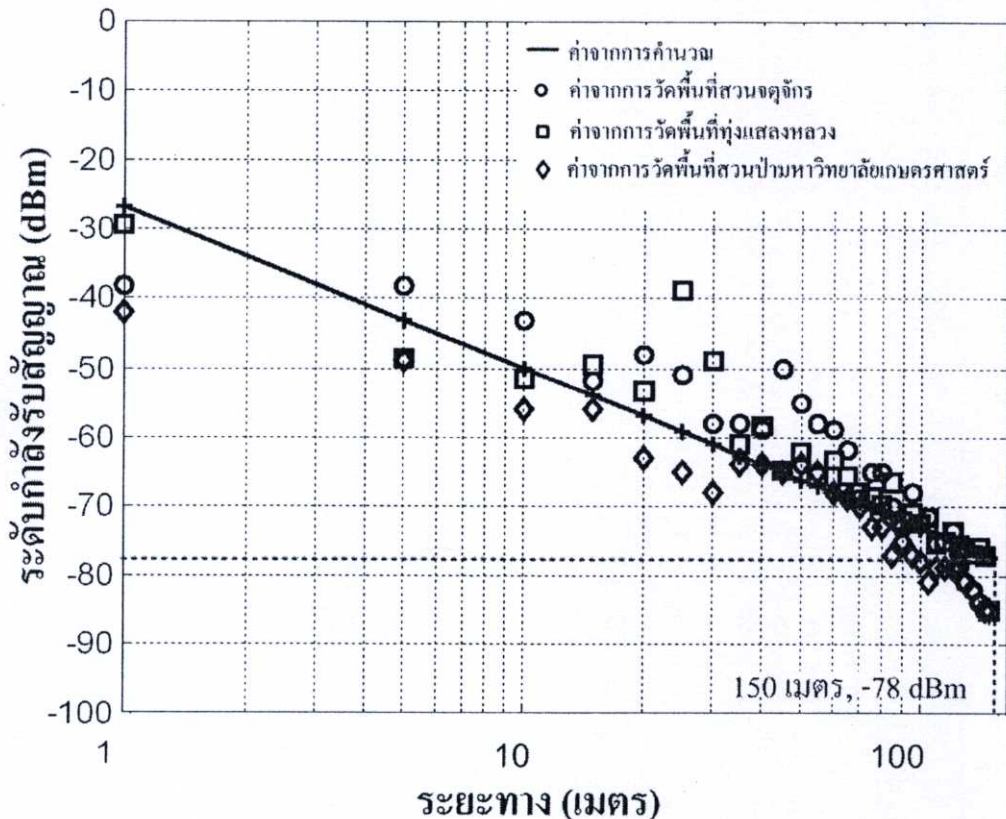
รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

จากรูปที่ 5.21 เห็นได้ว่าผลการทดสอบสัญญาณที่ได้จากพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำทั้ง 3 พื้นที่มีค่ากำลังรับสัญญาณใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองของพื้นที่ป่าไม่มีความ

ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ซึ่งมีค่าใกล้เคียงมากที่สุดที่ระยะทางตั้งแต่ 80 เมตรขึ้นไปได้รับมีการกระจายสัญญาณมีระยะทาง 150 เมตรที่กำลังรับสัญญาณ -80 dBm

### 5.3.3 พื้นที่ป่าไม้

นำค่ากำลังรับสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่คำนวณได้จากสมการที่ 5.13 เปรียบเทียบกับผลการวัดในพื้นที่ป่าไม้บริเวณสวนจตุจักร หุ่นแสดงหลวง สวนป่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ผลดังรูป 5.22

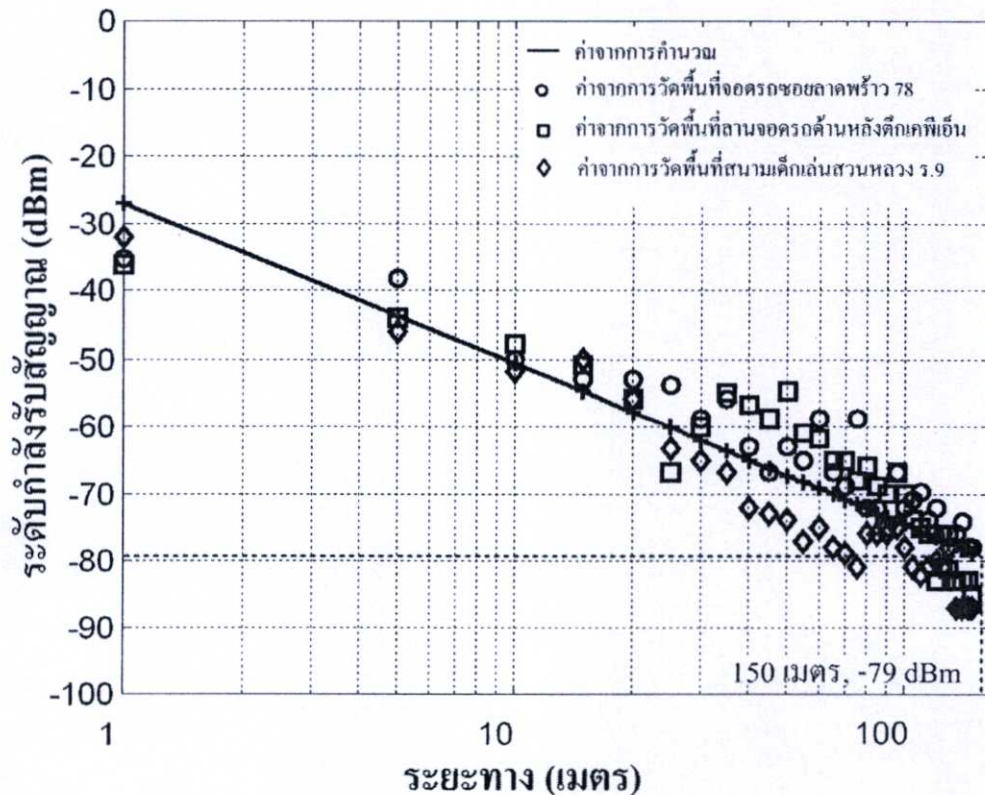


รูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่ป่าไม้

จากรูปที่ 5.22 เห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองในพื้นที่ป่าไม้มีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบสัญญาณที่ระยะทาง 60 เมตรขึ้นไปโดยผลการวัดสัญญาณที่ใกล้เคียงมากที่สุดเป็นบริเวณหุบแสงหลวงซึ่งรัศมีการกระจายสัญญาณมีระยะทาง 150 เมตรที่กำลังรับสัญญาณ -78 dBm เนื่องจากป่าสนมีโปร่งของต้นไม้ทำให้ช่องทางให้คลื่นจากแอกเซสพอยต์ไปยังเครื่องรับ ความหนาของใบไม้เป็นส่วนสำคัญต่อการลดทอนสัญญาณในพื้นที่ป่า

### 5.3.4 พื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

นำค่ากำลังรับสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่คำนวณได้จากสมการที่ 5.14 เปรียบเทียบกับผลการวัดในพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างบริเวณลานจอดรถชอยลาดพร้าว 78 อาคารจอดรถบริเวณหลังตึก KPN สนามเด็กเล่นสวนหลวง ร.9 ได้ผลดังรูป 5.23



รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

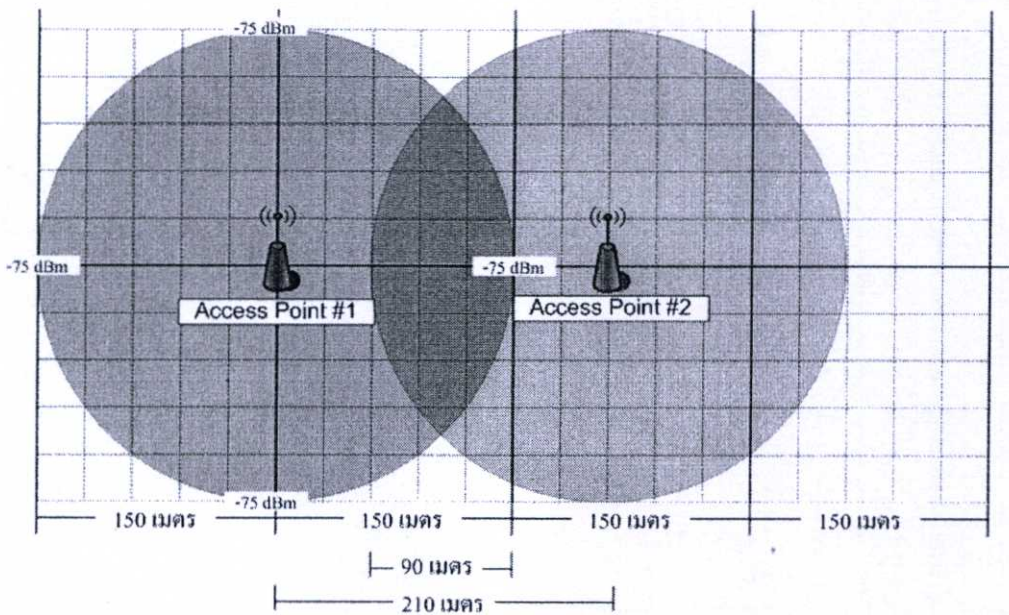
จากรูปที่ 5.23 เห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองในพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างมีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบสัญญาณในช่วงระยะเริ่มต้น 1-20 เมตรแล้วค่อยๆกระจายออกซึ่งรัศมีการกระจายสัญญาณมีระยะทาง 150 เมตรที่กำลังรับสัญญาณ -79 dBm เนื่องจากมีสิ่งต่างๆในสภาพแวดล้อมทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณ เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางเส้นทางการเดินทางของคลื่นที่กระจายมาจากแอคเซสพ้อย

จากรูปที่ 5.20-5.23 จะเห็นได้ว่าพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวางแอคเซสพ้อยกระจายสัญญาณได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่ภายนอกอาคารลักษณะอื่นๆ ส่วนพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำส่งผลให้เกิดการลดทอนสัญญาณสูงเนื่องจากแอ่งน้ำที่อยู่รอบๆทำให้เกิดการดูดซับสัญญาณส่งผลให้แอคเซสพ้อยกระจาย

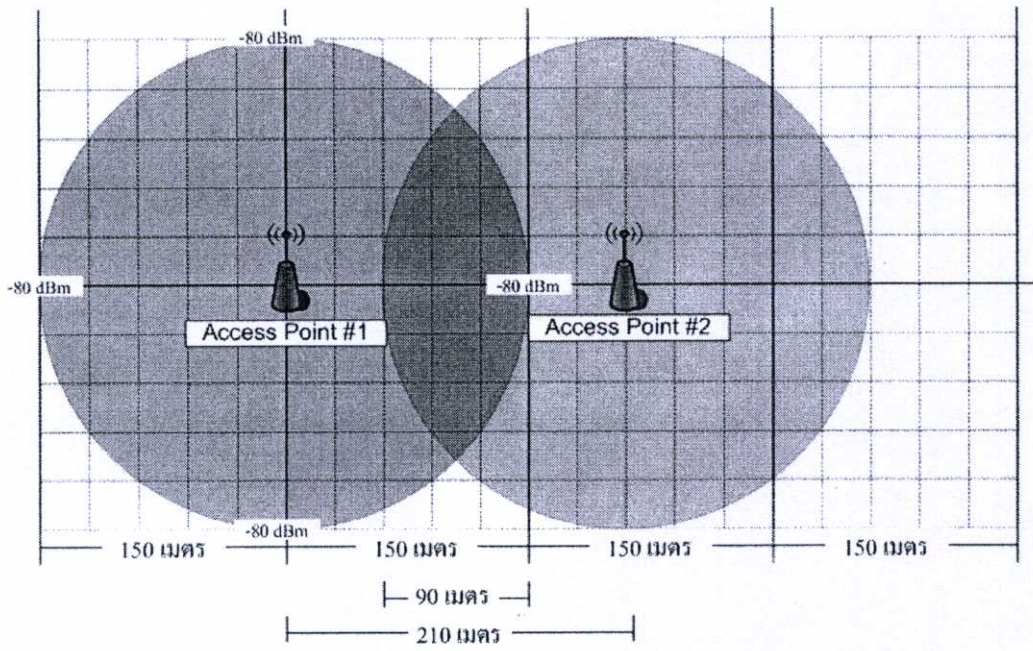
สัญญาณได้ระยะทางน้อย สำหรับในบางพื้นที่ที่ผลการวัดสัญญาณในลักษณะพื้นที่แบบเดียวกันมีลักษณะกระจุกกระจายคาดว่าเกิดจากตัวแปรอื่นๆที่ส่งผลในการวัดแต่ค่าที่วัดได้มีคลาดเคลื่อนไม่เกิน  $\pm 10$  dBm

#### 5.4 การติดตั้งแอคเซสพ้อยในพื้นที่ต่างๆ

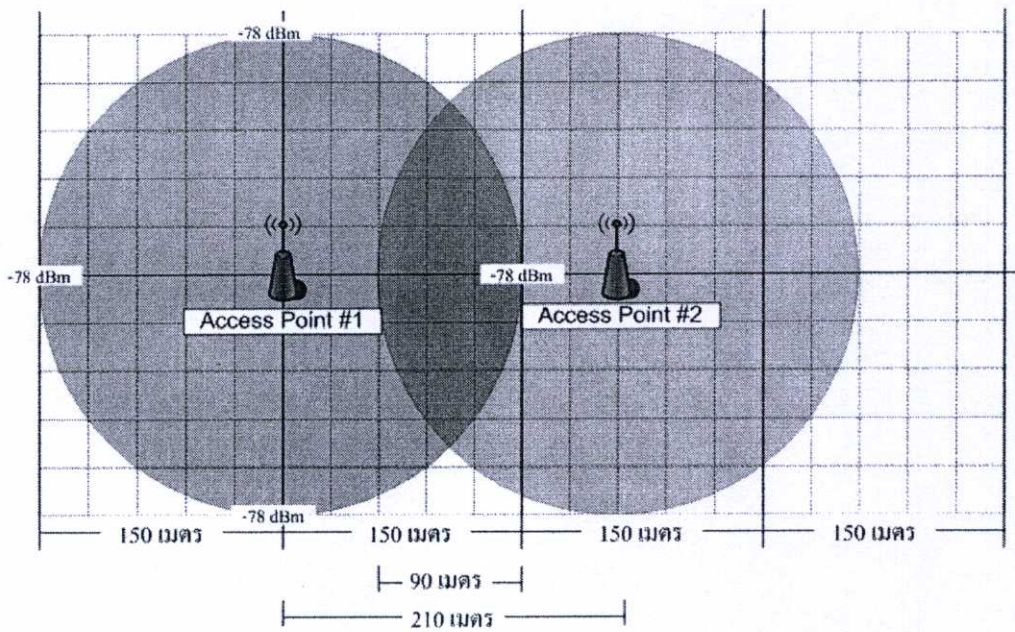
การติดตั้งแอคเซสพ้อยจำนวนมากกว่าหนึ่งตัวแต่ละตัวควรให้สัญญาณเหลื่อมกัน (Overlap) หรือส่วนที่สัญญาณมาทับกันประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของช่องสัญญาณ (Channel) จากแอคเซสพ้อยตัวแรก ในการใช้งานแอคเซสพ้อยในที่ติดกันเพื่อขยายความสามารถในการใช้งานจำเป็นจะต้องเซตให้แอคเซสพ้อยที่อยู่ติดกันใช้ช่องสัญญาณที่ห่างกันซึ่งควรห่างกันอย่างน้อย 3 ช่องสัญญาณเพื่อลดปัญหาการชนกันของข้อมูลและการสื่อสารล้มเหลว ถ้าสัญญาณต่ำกว่า  $-82$  dBm เครื่องอุปกรณ์รับสัญญาณจะโอนย้ายข้ามเซลล์ (Handoffs) เพื่อรับสัญญาณจากแอคเซสพ้อยตัวที่มีความเข้มกว่า ดังนั้นระดับความเข้มของสัญญาณที่ยังสามารถใช้งานรับส่งข้อมูลได้เท่ากับ  $-80$  dBm ดังนั้นควรวางแอคเซสพ้อยห่างกัน 300 เมตรสำหรับการโรมมิ่ง (Roaming) ของสัญญาณ ดังรูปที่ 5.24-5.27 จะเห็นระดับกำลังรับสัญญาณค่าที่ต่างกันในแต่ละสภาพแวดล้อมที่รัศมีของแอคเซสพ้อยเป็น 150 เมตร ดังนั้นการออกแบบควรเป็นดังนี้



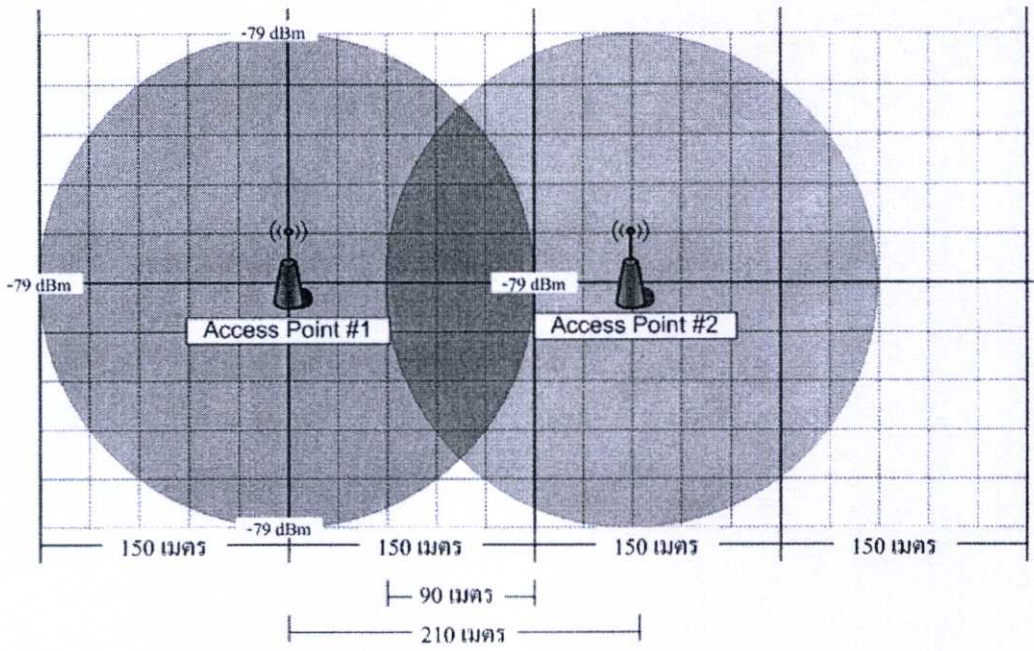
รูปที่ 5.24 ระยะการติดตั้งแอคเซสพ้อยในพื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง



รูปที่ 5.25 ระยะการติดตั้งแอคเซสพอยท์ในพื้นที่โถงน้ำ



รูปที่ 5.26 ระยะการติดตั้งแอคเซสพอยท์ในพื้นที่ป่าไม้



รูปที่ 5.27 ระยะการติดตั้งแอคเซสพ้อยในพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การออกแบบเครือข่าย WLAN ให้ครอบคลุมพื้นที่และให้บริการได้กว้างไกลนอกจากการปรับเปลี่ยนสายอากาศของแอคเซสพ้อยให้มีกำลังส่งที่สูงแล้วยังมีอีกวิธีหนึ่งที่ทำได้คือการติดตั้งแอคเซสพ้อยเพิ่มเข้าไปในบริเวณที่เป็นจุดอับสัญญาณและให้รัศมีการส่งคลื่นของแอคเซสพ้อยแต่ละตัวคาบเกี่ยวกันเหมือนโครงข่ายโทรศัพท์มือถือแบบเซลลูลาร์ซึ่งการขยายพื้นที่ให้บริการด้วยวิธีนี้เรียกว่าการทำโรมมิ่ง (Roaming) ผู้ใช้งานระบบเครือข่าย WLAN สามารถเคลื่อนย้ายไปทำงานยังจุดใดๆ ก็ได้อยู่ในรัศมีการให้บริการของแอคเซสพ้อยโดยที่การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับระบบจะไม่ขาดช่วงแอคเซสพ้อยที่ติดตั้งเพิ่มจะช่วยทำให้เครือข่าย WLAN สามารถรองรับจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้มากขึ้นและแอคเซสพ้อยยังสามารถเป็นแบ็คอัพซึ่งกันและกันหากเกิดกรณีที่มีแอคเซสพ้อยตัวใดตัวหนึ่งเกิดเสียระบบก็ยังสามารถให้บริการได้อย่างต่อเนื่อง

#### 6.1 สรุปผลการทดสอบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการศึกษาค่าการลดทอนสัญญาณของเครือข่าย WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11b/g ในพื้นที่นอกอาคารที่มีความแตกต่างกันทางสภาพแวดล้อม สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การแบ่งพื้นที่ภายนอกอาคาร 4 แบบคือ พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างในการสร้างแบบจำลองเพื่อออกแบบการติดตั้งแอคเซสพ้อยจำนวนมากว่าหนึ่งตัวแต่ละตัวส่วนที่สัญญาณมาทับกันประมาณ 30 เฮอร์เซ็นของช่องสัญญาณจากแอคเซสพ้อยตัวแรกในการใช้งานแอคเซสพ้อยในที่ติดๆกันในการรับส่งข้อมูลบนเครือข่าย WLAN ถ้าความเข้มของสัญญาณที่รับได้มีค่าต่ำกว่า -82 dBm เครื่องอุปกรณ์รับสัญญาณจะโอนย้ายข้ามเซลล์เพื่อรับสัญญาณจากแอคเซสพ้อยตัวที่มีความเข้มกว่า จากการใช้แบบจำลองเพื่อหาระดับความเข้มของสัญญาณที่ยังสามารถใช้งานรับส่งข้อมูลได้กำหนดเป็น -80 dBm ทำให้ได้ระยะห่างในการวางแอคเซสพ้อยที่ระยะ 300 เมตรสำหรับการโรมมิ่งที่การซ้อนทับของสัญญาณเป็น 30 เฮอร์เซ็น โดยในแต่ละสภาพแวดล้อมมีความเข้มของสัญญาณที่คำนวณได้ในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวางสามารถติดตั้งเครือข่าย WLAN ที่แอคเซสพ้อยกระจายได้รัศมีไกลที่สุดโดยระดับกำลังรับที่คำนวณได้เท่ากับ -75 dBm ซึ่งต่างจากพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำแม้จะมีลักษณะพื้นที่โล่งแต่เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างพื้นที่โล่งแบบพื้นดินกับพื้นที่โล่งใกล้แหล่งน้ำระดับกำลังรับสัญญาณต่อระยะทางมีค่าลดลงทำให้แอคเซสพ้อยกระจายสัญญาณได้

ระยะน้อยลงเนื่องจากเกิดการดูดซับสัญญาณ โดยความชื้นจากแหล่งน้ำประมาณ -5 dBm สำหรับพื้นที่ป่าไม้เนื่องจากมีสิ่งต่างๆวางเส้นทางการกระจายคลื่นของแอกเซสพ้อยนั้นคือต้นไม้เห็นได้ว่าความหนาแน่นของใบไม้ส่งผลต่อการลดทอนสูงมากเห็นได้ความแตกต่างจากการวัดสัญญาณบริเวณทุ่งแสงหลวงซึ่งมีต้นไม้ที่มีความโปร่งมีช่องว่างสำหรับคลื่นเดินทางไปยังเครื่องรับต่างกับบริเวณสวนป่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ซึ่งต้นไม้มีขนาดใบที่บดและหนาแน่นทำให้ค่ากำลังรับสัญญาณที่วัดได้มีค่าลดลงถึง -88 dBm ซึ่งไม่สามารถใช้งานเครือข่าย WLAN ได้ จากพื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้างซึ่งประกอบด้วยหลายตัวแปรทางสภาพแวดล้อมได้แก่ อาคาร ต้นไม้ บ่อน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้คลื่นเกิดการสะท้อนและการดูดซับของสัญญาณทำให้ระดับกำลังรับต่อระยะทางมีค่าต่ำลงและค่าที่วัดได้กระจายไม่แน่นอน

## 6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการติดตั้ง แอกเซสพ้อย(Access Point) ที่เหมาะสมสำหรับการให้บริการในพื้นที่ภายนอกอาคารที่นำเสนอ ในวิทยานิพนธ์ มีตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดการลดทอนสัญญาณในพื้นที่ภายนอกอาคารที่ไม่สามารถควบคุมตัวแปรได้ ทั้งสภาพอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นและต้นไม้ในแต่ละพื้นที่มีระดับความสูงและระยะห่างที่ต่างกันมาก ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้ทำการออกแบบไว้สามารถแก้ไขโดยหาอุปกรณ์สำหรับใช้วัดตัวแปรดังกล่าวแล้วเก็บผลการทดสอบเพื่อปรับปรุงโมเดลการลดทอนสัญญาณที่ทำไว้ก่อนหน้า

## 6.3 ข้อเสนอแนะ

การนำเสนอโครงการคล้ายกับการนำเสนอทฤษฎี หรือความรู้ใหม่ๆ จึงยากที่จะจัดให้อยู่ในรูปของสิ่งประดิษฐ์หรือการทดลอง เพราะยังมีความคิดอยู่ว่าภาคทฤษฎีนั้นมีผลที่แตกต่างหรือคลาดเคลื่อนกับความเป็นจริงสูง จึงยากที่จะนำเสนอในส่วนของวิธีการหลักการมากกว่าผลการทดลอง แต่ถ้ามีการพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบ Graphic User Interface หรือ GUI ก็ให้เห็นทฤษฎีเป็นรูปธรรมมากขึ้น ง่ายต่อการติดตามศึกษาความเปลี่ยนแปลง

## บรรณานุกรม

- [1] S. Seybold , **Introduction to RF Propagation** , John Wiley & Sons INC, 2005.
- [2] Griffiths, **Radio Wave Propagation and Antennas an Introduction** , Prentice-Hall International (UK), 1987
- [3] N. Blaunstein, **Radio Propagation and Adaptive antennas for wireless communication link**, John Wiley & Sons INC, 2007
- [4] C. Salema, **Microwave Radio Links From Theory to Design**, John Wiley & Sons INC, 2003
- [5] H. Levesque, **Wireless Information Networks** , John Wiley & Sons INC, 1995
- [6] E. Lopez-Aguilera, J. Casademont, J. Cotrina, "A Transmit Power Control Proposal for IEEE 802.11 Cellular Networks", Wireless Networks Group – Telematics Department, Technical University of Catalonia Barcelona, Spain, page 2, 2007
- [7] V. Dasarathan, M.Muthukumar, K.N.Elankumaran, "Outdoor Channel Measurement, Pathloss Modelling and System Simulation of 2.4 GHz WLAN IEEE 802.11g in Indian Rural Environments", Department of ECE, Thiagarajar College of Engineering, Madurai, India, Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, page 2, 2007
- [8] A Furuskär, Cost efficient capacity expansion strategies using multi-access networks, Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC). Spring., page 2, 2008
- [9] M. Dapper, J. Wells, T. Schwallie, and L. Huon, "RF propagation in short-range sensor communications, "Proceedings of the SPIE Conference on Unattended Ground Sensor Technologies and Applications V. , E. Carapezza Ed. , vol. 5090, Orlando, FL, page 6-9 Sept. 2003
- [10] N. Skomal, **MEASURING THE RADIO FREQUENCY ENVIRONMENT** , Van Nostrand Reinhold Company Inc., Newyork 1985
- [11] William C.Y. Lee. "Mobile Communications Design Fundamentals". Howard W. Sams & Co., A Division of Macmillan Inc. 1986
- [12] อำนาง มีมงคล, อรรถณพ ชันธิกุล, ออกแบบและติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN อินโฟเพรส, หน้า 77-130
- [13] S. Seybold, **Introduction to RF Propagation** , John Wiley & Sons INC, 2005

- [14] John Griffith, **Radio Wave Propagation and Antennas an Introduction**, Prentice-Hall International (UK) Ltd, 1987
- [15] N. Blaunstein, **Radio Propagation and Adaptive antennas for wireless communication link**, John Wiley & Sons INC, 2007

## ภาคผนวก ก.

## 1. ค่าคงที่ของระยะทาง

## พื้นที่ไร่ถึงกีดขวาง

```

x=[0.00 0.70 1.00 1.18 1.30 1.40 1.48 1.54 1.60 1.65 1.70 1.74 1.78 1.81 1.85 1.88 1.90
1.93 1.95 1.98 2.00 2.02 2.04 2.06 2.08 2.10 2.11 2.13 2.15 2.16 2.18];
y=[-39.85 -48.19 -51.82 -53.22 -54.85 -56.67 -58.30 -60.56 -63.37 -62.36 -63.48 -64.52 -
68.00 -67.4 -65.85 -70.15 -70.37 -71.08 -72.78 -73.37 -72.37 -66.56 -73.04 -72.93 -72.85
-74.00 -76.30 -74.93 -76.59 -77.22 -79.45];
[x,i]=sort(x);
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';
k=(A'*A)\(A'*y);
fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);
beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on
x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);
ys=alpha*xs+beta;
plot(xs,ys,'r')
if beta<0
title({'A Plot of Least Square Estimation',...
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',...

```

```

['Y=',num2str(alpha),'X '], 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
end
ylabel('Receiving Power(dBm)');
xlabel('Distance(m)');
grid on

```

### พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

```

x=[0.00 0.70 1.00 1.18 1.30 1.40 1.48 1.54 1.60 1.65 1.70 1.74 1.78 1.81 1.85 1.88 1.90
1.93 1.95 1.98 2.00 2.02 2.04 2.06 2.08 2.10 2.11 2.13 2.15 2.16 2.18];
y=[-34.15 -46.15 -48.59 -51.22 -57.30 -59.78 -59.56 -59.78 -62.19 -65.11 -65.52 -65.19 -
66.74 -67.30 -68.26 -69.00 -73.52 -73.56 -74.96 -75.04 -75.04 -75.42 -75.63 -76.26 -76.18
-80.26 -80.96 -80.63 -80.22 -80.93 -81.67];
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';
k=(A'*A)\(A'*y);
fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);
beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on
x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);
ys=alpha*xs+beta;
plot(xs,ys,'r')
if beta<0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....

```

```

['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)], 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ']}, 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)], 'FontSize',[8])
end;
grid on

```

### พื้นที่ป่าไม้

```

x=[0.00 0.70 1.00 1.18 1.30 1.40 1.48 1.54 1.60 1.65 1.70 1.74 1.78 1.81 1.85 1.88 1.90
1.93 1.95 1.98 2.00 2.02 2.04 2.06 2.08 2.10 2.11 2.13 2.15 2.16 2.18];
y=[-36.41 -45.26 -50.22 -52.52 -54.81 -51.59 -58.37 -61.00 -60.41 -59.93 -60.37 -62.85 -
63.48 -65.52 -68.96 -68.89 -69.22 -71.19 -73.37 -72.04 -74.22 -74.78 -76.63 -76.41 -75.37
-77.93 -79.33 -80.30 -81.33 -82.33 -85.00];
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';
k=(A'*A)\(A'*y);
fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);
beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on
x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);
ys=alpha*xs+beta;
plot(xs,ys,'r')
if beta<0

```

```

title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ']}, 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
end
ylabel('Receiving Power(dBm)');
xlabel('Distance(m)');
grid on

พื้นที่ใกล้สิ่งก่อสร้าง
x=[0.00 0.70 1.00 1.18 1.30 1.40 1.48 1.54 1.60 1.65 1.70 1.74 1.78 1.81 1.85 1.88 1.90
1.93 1.95 1.98 2.00 2.02 2.04 2.06 2.08 2.10 2.11 2.13 2.15 2.16 2.18];
y=[ -34.33 -42.78 -50.00 -51.33 -55.00 -61.41 -61.33 -59.33 -64.00 -66.33 -63.96 -67.67 -
65.28 -70.00 -71.00 -69.30 -71.33 -72.33 -73.67 -69.70 -73.37 -75.33 -75.63 -76.96 -
78.33 -79.33 -78.30 -82.00 -81.37 -82.67 -83.33];
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';
k=(A'*A)\(A'*y);
fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);
beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on
x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);

```

```

ys=alpha*xs+beta;
plot(xs,ys,'r')
if beta<0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ']}, 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
end
ylabel('Receiving Power(dBm)');
xlabel('Distance(m)');
grid on

```

## 2. ความสูงของสายอากาศ

### พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง

```

x=[0.00 0.30 0.48 0.60 0.70];
y=[-35.48 -36.25 -40.96 -44.56 -48.59];
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';
k=(A'*A)\(A'*y);
fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);
beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on

```

```

x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);
ys=alpha*xs+beta;
plot(xs,ys,'r')
if beta<0
title({'A Plot of Least Square Estimation',...
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',...
['Y=',num2str(alpha),'X ']}, 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',...
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
end
ylabel('Receiving Power(dBm)');
xlabel('Distance(m)');
grid on

```

### พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

```

x=[0.00 0.70 1.00 1.18 1.30 1.40 1.48 1.54 1.60 1.65 1.70 1.74 1.78 1.81 1.85 1.88 1.90
1.93 1.95 1.98 2.00 2.02 2.04 2.06 2.08 2.10 2.11 2.13 2.15 2.16 2.18];
y=[-34.15 -46.15 -48.59 -51.22 -57.30 -59.78 -59.56 -59.78 -62.19 -65.11 -65.52 -65.19 -
66.74 -67.30 -68.26 -69.00 -73.52 -73.56 -74.96 -75.04 -75.04 -75.42 -75.63 -76.26 -76.18
-80.26 -80.96 -80.63 -80.22 -80.93 -81.67];
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';
k=(A'*A)\(A'*y);
fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);

```

```

beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on
x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);
ys=alpha*xs+beta;
plot(xs,ys,'r')
if beta<0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ']}, 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
grid on

```

### พื้นที่ป่าไม้

```

x=[0.00 0.70 1.00 1.18 1.30 1.40 1.48 1.54 1.60 1.65 1.70 1.74 1.78 1.81 1.85 1.88 1.90
1.93 1.95 1.98 2.00 2.02 2.04 2.06 2.08 2.10 2.11 2.13 2.15 2.16 2.18];
y=[-36.41 -45.26 -50.22 -52.52 -54.81 -51.59 -58.37 -61.00 -60.41 -59.93 -60.37 -62.85 -
63.48 -65.52 -68.96 -68.89 -69.22 -71.19 -73.37 -72.04 -74.22 -74.78 -76.63 -76.41 -75.37
-77.93 -79.33 -80.30 -81.33 -82.33 -85.00];
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';
k=(A'*A)\(A'*y);
fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);

```

```

beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on
x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);
ys=alpha*xs+beta;
plot(xs,ys,'r')
if beta<0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ']}, 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
end
ylabel('Receiving Power(dBm)');
xlabel('Distance(m)');
grid on

```

### พื้นที่ใกล้ถึงก่อสร้าง

```

x=[0.00 0.70 1.00 1.18 1.30 1.40 1.48 1.54 1.60 1.65 1.70 1.74 1.78 1.81 1.85 1.88 1.90
1.93 1.95 1.98 2.00 2.02 2.04 2.06 2.08 2.10 2.11 2.13 2.15 2.16 2.18];
y=[-34.33 -42.78 -50.00 -51.33 -55.00 -61.41 -61.33 -59.33 -64.00 -66.33 -63.96 -67.67 -
65.28 -70.00 -71.00 -69.30 -71.33 -72.33 -73.67 -69.70 -73.37 -75.33 -75.63 -76.96 -
78.33 -79.33 -78.30 -82.00 -81.37 -82.67 -83.33];
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';
k=(A'*A)\(A'*y);

```

```

fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);
beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on
x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);
ys=alpha*xs+beta;
plot(xs,ys,'r')
if beta<0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ']}, 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
end
xlabel('Distance(m)');
grid on

```

### 3. ความถี่

```

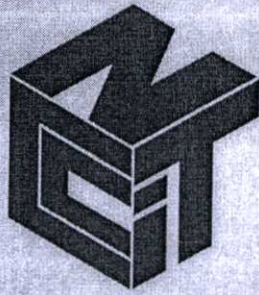
x=[2412 2417 2422 2427 2432 2437 2442 2447 2452 2457 2462];
y=[-38.16 -37.83 -38.21 -39.49 -38.61 -39.08 -40.02 -40.33 -40.49 -40.88 -42.34];
[x,i]=sort(x);
y=y(i);
l=ones(length(x));
A=[x',l(:,1)];
y=y';

```

```

k=(A'*A)\(A'*y);
fprintf('\n The first coefficient is alpha=%10.6f \n',k(1,1))
fprintf('\n The second coefficient is beta=%10.6f \n\n',k(2,1))
alpha=k(1,1);
beta=k(2,1);
plot(x,y,'x')
hold on
x_incr=(max(x)-min(x))/100;
xs=min(x):1:max(x);
ys=alpha*xs+beta;
semilogx(xs,ys,'r')
if beta<0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
elseif beta==0
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ']}, 'FontSize',[8])
else
title({'A Plot of Least Square Estimation',....
['Y=',num2str(alpha),'X ',num2str(beta)]}, 'FontSize',[8])
end
ylabel('Receiving Power(dBm)');
xlabel('Distance(m)');
grid on

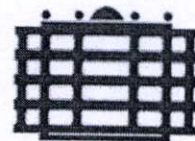
```



# NCCIT2009

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

May 22-23, 2009



# แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายไวร์เลสแลนพื้นที่ภายนอกอาคาร

## มาตรฐาน IEEE 802.11b/g

### Outdoor Propagation Models for WLAN Standard IEEE 802.11b/g

นุชนาฏ ทิพกองลาด, พิเชฐ ม่วงนวล

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[nuchanath.tipk@gmail.com](mailto:nuchanath.tipk@gmail.com), [phichet@telecom.kmitl.ac.th](mailto:phichet@telecom.kmitl.ac.th)

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันคนส่วนใหญ่มีความสนใจใช้ระบบไวร์เลสแลนในการทำงานเนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่าย, ใช้งานง่ายและรวดเร็ว การทำนายตำแหน่งติดตั้งแอกเซสพ้อยเป็นส่วนสำคัญในการบอกประสิทธิภาพและระดับสัญญาณที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. ออกแบบติดตั้งแอกเซสพ้อยเพื่อให้บริการเครือข่ายไวร์เลสแลนภายนอกอาคาร 2. นำเสนอแบบจำลองการทำนายการกระจายคลื่นของเครือข่ายไวร์เลสแลน(Wireless LAN: WLAN) มาตรฐานIEEE802.11b/g ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่ต่างกัน

วิธีการดำเนินการวิจัย 1. ติดตั้งแอกเซสพ้อย (Access Point)

2. ทดสอบสัญญาณเพื่อเก็บข้อมูลจากตัวแปรระยะทาง ความสูง และความถี่ เพื่อสร้างแบบจำลองการลดทอนสัญญาณเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ 3. ทดสอบการครอบคลุมของสัญญาณ 4. จัดทำรายงานสรุปผลการดำเนินการและนำไปเผยแพร่

ผลการดำเนินการวิจัยได้สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับหาค่าลดทอนสัญญาณที่เหมาะสมตามลักษณะของสิ่งแวดล้อม เพื่อทำนายระดับกำลังรับสัญญาณ ในการหาตำแหน่งติดตั้งแอกเซสพ้อยที่ให้บริการไวร์เลสแลนพื้นที่นอกอาคารที่สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: WLAN, Propagation model, Access Point

#### Abstract

Nowadays most of people are interested in using WLAN for their work because it's more economical, easier and consumes less time. The prediction of access point

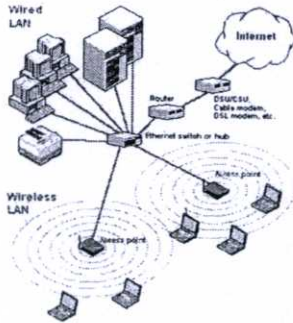
position is very important for specifying the performance and signal coverage area. The main proposes of this research were to 1) design the access point installation for serving in outdoor WLAN, 2) present the propagation prediction model for WLAN standard IEEE802.11b/g for different environments. The research methodology were 1) installing a access point, 2) performing experiment. Three parameters including distance frequency and antenna height will be adjusted. The results will be recorded accordingly and synthesizes a mathematical model to predict this loss. 3) Define signal coverage. 4) conclusion and dissemination. The result of research showed that path loss calculation proper to characteristic of environment which predict received power in order to search the deployment position of access point in WLAN outdoor where the signal coverage is the most efficiency.

Keyword: WLAN, Propagation model, Access Point

#### 1. บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานอินเทอร์เน็ตและทรัพยากรเครือข่ายร่วมกันเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ให้บริการและการติดตั้งที่ยุ่งยาก ทำให้ไม่สามารถขยายได้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เครือข่ายไร้สาย(Wireless LAN: WLAN) เริ่มเข้ามามีบทบาทสามารถทดแทนและเพิ่มต่อกับ

เครือข่ายแลนใช้สายแบบเดิม โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้งยังมีประสิทธิภาพเหมือนเครือข่ายมีสายแต่มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายไปยังจุดต่างๆ และลดต้นทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์อีกด้วย



ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่าย WLAN

สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงในการติดตั้งเครือข่าย WLAN คือการออกแบบให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่บริการ เนื่องจากระดับความแรงของสัญญาณ (Field Strength) ที่อุปกรณ์รับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการรับส่งข้อมูล (Data Connection) การติดตั้งเครือข่าย WLAN จะต้องมีการสำรวจสัญญาณ (Site survey) เพื่อหารัศมีการกระจายสัญญาณของแอคเซสพอยท์ (Access Point :AP) ในการระบุตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมทำให้ประหยัดจำนวนอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายต่างๆ

ก่อนหน้าได้มีการนำเสนอวิธีออกแบบติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สายในพื้นที่ภายนอกอาคาร [1], [2], [3], [4], [5] ได้แก่ Free Space Loss [1] เป็นแบบจำลองพื้นฐานใช้หาค่าการลดทอนสัญญาณของเครือข่าย WLAN ทุกประเภทที่ไม่มีค่าลดทอนสัญญาณแต่ในพื้นที่การใช้งานจริงสิ่งต่างๆรอบตัวทำให้เกิดการลดทอนทั้งสิ้น Lopaz [2] ใช้แอปพลิเคชันจำลองลักษณะพื้นที่ภายนอกอาคารของวิทยาลัยเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเห็นได้ว่า [1] [2] ไม่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งจริงเนื่องจากพื้นที่ภายนอกอาคารมีหลายๆสิ่งซึ่งผลต่อการลดทอนสัญญาณซึ่งควรเป็นแบบจำลองที่ได้จากการทดสอบสัญญาณของพื้นที่ใช้งานจริงดังเช่นแบบจำลองของ Large Scale Fading [3] หาค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะทางเริ่มต้น ( $P_{L0}$ ) ที่ 30 เมตร ซึ่งในการติดตั้งจริงระยะดังกล่าวถือเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มของสัญญาณสูง หากใช้แบบจำลอง

ดังกล่าวเพื่อการออกแบบทำให้ใช้จำนวนแอคเซสพอยท์มากขึ้นสำหรับแบบจำลองของ COST-231 Walfisch-Ikegami [4] ใช้สำหรับเครือข่ายไร้สายย่านความถี่ 800 MHz และ 2000 MHz เนื่องจากความถี่ของเครือข่าย WLAN คือ 2400 MHz ทำให้ไม่เหมาะสำหรับการออกแบบเครือข่าย WLAN ส่วนแบบจำลอง Weissberger [5] ใช้หาค่าลดทอนจากพื้นที่ป่าในระบบ Tactical Remote Sensor System (TRSS) Repeater/Relay ทางทหารที่ย่านความถี่ 2400 MHz ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้กับระบบ WLAN

จากความไม่เหมาะสมของแบบจำลองก่อนหน้ามีข้อจำกัดหลายอย่างทำให้เกิดความไม่แม่นยำของแบบจำลองการกระจายสัญญาณเครือข่าย WLAN ทำให้ใช้แอคเซสพอยท์ในการออกแบบจำนวนเพิ่มขึ้นซึ่งเปลืองงบประมาณค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยขึ้นนี้ที่ต้องการสร้างแบบจำลองการกระจายคลื่นวิทยุสำหรับการออกแบบเครือข่าย WLAN เพื่อใช้ทำนายตำแหน่งติดตั้งแอคเซสพอยท์ที่มีความเหมาะสมแม่นยำในพื้นที่ภายนอกอาคารต่อไปนี้ได้แก่ พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ พื้นที่ป่าและพื้นที่ชนบท โดยทำการปรับค่าตัวแปรระยะทาง ความสูง และความถี่เพื่อเก็บผลสัญญาณในแต่ละตำแหน่งของแต่ละตัวแปรมาหาค่าเฉลี่ยแล้วพล็อตกราฟหาความชันแล้วสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองการกระจายคลื่นของเครือข่าย WLAN ในพื้นที่นอกอาคารเพื่อทำนายตำแหน่งติดตั้งแอคเซสพอยท์ที่เหมาะสม

2.2 เพื่อหารัศมีการกระจายสัญญาณที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้ไกลที่สุดของพื้นที่ภายนอกอาคาร ได้แก่ พื้นที่โล่ง ไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แอ่งน้ำขนาดใหญ่ พื้นที่ป่า และพื้นที่ชนบท

## 3. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

3.1 แบบจำลองการลดทอนสัญญาณที่นำเสนอค่ากำลังรับสัญญาณที่ได้จากการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไอโซโทรปิก (EIRP : Effective Isotropic Radiated Power) มีกำลังส่งเป็น  $P_t$  หน่วยเป็น (dBm : EIRP) เราสามารถหาค่าความ

หนาแน่นของกำลังรับ  $P_d$  (Power Flux Density) ที่รัศมี  $r$  จากตำแหน่งที่แอกเซสพ้อยกระจายสัญญาณโดย  $A_{eff}$  (Effective aperture area) คือพื้นที่ในการรับสัญญาณของสายอากาศไอโซโทรปิกมีค่าเท่ากับ  $4\pi r^2$  เป็น

$$P_t = P_d * 4\pi d^2 \tag{1}$$

$$P_r = P_d A_{eff} \tag{2}$$

$$P_r = \frac{P_t A_{eff}}{4\pi r^2} = \left(\frac{P_t}{4\pi d^2}\right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) \tag{3}$$

เมื่อ  $\lambda$  เป็นค่าความยาวคลื่นที่แพร่กระจายเพื่อหาพลังงานที่ใช้ในการรับสัญญาณ โดยอัตราขยายสัญญาณของเสาอากาศขยาย  $P_d$  คือ  $G_t$  และส่วนขยาย  $A_{eff}$  คือ  $G_r$  ดังนั้นเมื่อเขียนสมการการแพร่กระจายคลื่นของฟรีอิส (Friis free-space equation) ใหม่ได้เป็น

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

จากสมการที่ (4) เขียนให้อยู่ใน หน่วย dBm ได้เป็น

$$PL = P_t (dBm) - P_r (dBm) \tag{5}$$

จากทฤษฎีของฟรีส (Friis transmission formula) ถือเป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นวิทยุโดยอันดับที่เพิ่มขึ้นของสมการฟรีอิส (Friis free-space equation) เป็นตัวบอกความแม่นยำของสมการ พจน์เลขชี้กำลัง (Exponential term) แทนด้วย  $n$  คือค่าความคลาดเคลื่อนของการส่งสัญญาณที่สูญเสีย (Path loss exponent) ในสภาพสุญญากาศ  $n=2$  มีความแตกต่างจำเพาะขึ้นกับระยะทาง และหนึ่งในตัวแปรอื่นๆที่สำคัญรวมไว้กับค่าความคลาดเคลื่อนของการส่งสัญญาณที่สูญเสียไป (Path loss exponent) สามารถเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการการลดทอนสัญญาณได้เป็น

$$PL = 10 \log \left(\frac{d}{d_0}\right) + 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + \chi_\sigma \tag{6}$$

เมื่อ  $d_0$  คือระยะทางเริ่มต้นที่วัดสัญญาณที่ 1 เมตร

$d$  คือระยะทางที่ทำการวัด (เมตร)

$\chi_\sigma$  คือค่า log-normal แทนด้วย 0

3.2 แบบจำลองการลดทอนสัญญาณที่ได้จากการทดสอบ (Empirical Model) มีผู้นำเสนอไว้มากมายแต่ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานมีดังนี้

3.2.1 แบบจำลอง Free Space Loss [1] ใช้หาค่าการลดทอนสัญญาณเนื่องจากชั้นบรรยากาศทุกพื้นที่ที่มีลักษณะโค้งไร้สิ่งกีดขวาง สมการคือ

$$FSL = 32.4 + 20 \log f (MHz) + 20 \log d (Km) \tag{7}$$

เมื่อ  $d$  คือ ระยะทาง (กิโลเมตร)

$f$  คือ ความถี่ (MHz)

3.2.2 แบบจำลอง Large Scale Fading Modeling[3]

ใช้หาค่าการลดทอนสัญญาณสำหรับเครือข่าย WLAN ในพื้นที่ชนบทของประเทศอินเดีย ลักษณะทั่วไปประกอบด้วยกระโจมที่ทำจากดินและป่าไม้มีความถี่ตั้งแต่ 2.35 GHz ถึง 2.65 GHz สมการคือ

$$PL = PL_{L0} + 10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0}\right) + S(d); d \geq d_0 = 30m \tag{8}$$

โดย

$10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0}\right)$  คือมาตรฐานการลดทอนสัญญาณที่  $d_0=30$  เมตร

$PL_{L0}$  คือค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะ  $d_0=30$  เมตร

$\gamma$  คือค่าความคลาดเคลื่อนของการส่งสัญญาณที่สูญเสียไป

$S(d)$  คือค่าจางหายของสัญญาณ Lognormal shadow fading

3.2.3 แบบจำลอง Lopaz model [2] ใช้หาค่าการลดทอนสัญญาณที่จำลองจากพื้นที่วิทยาลัยช่างมณฑลเกาะโล-

เนียะในสเปนเป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์โดย

ไม่ต้องผ่านอุปกรณ์ตัวกลาง (Ad-hoc) ที่มีรัศมีการรับส่งอยู่ใน

ลักษณะระดับสายตา (Line-Of-Sight: LOS) หาได้จาก

$$PL(dB) = 7.6 + 40 \log d - 20 \log h_t h_r \tag{9}$$

เมื่อ  $d$  คือระยะทาง (เมตร)

$h_t$  คือระดับความสูงของแอกเซสพ้อย (เมตร)

$h_r$  คือระดับความสูงของเครื่องรับสัญญาณ (เมตร)

3.2.4 แบบจำลอง COST-231 Walfisch-Ikegami [4]

พัฒนามาจากโมเดลของ COST231 หากการลดทอนสัญญาณของ

พื้นที่สภาพเมืองที่ระยะทางตั้งแต่ 20 เมตรถึง 5 กิโลเมตร

สมการคือ

$$PL = 57.9 + (29.5 - \frac{1.5f_c}{925}) \log_{10} f_c + 38 \log_{10} d \tag{10}$$

เมื่อ  $d$  คือระยะทาง (เมตร)

$f_c$  คือความถี่ (MHz)

3.2.5 แบบจำลอง Weissberger[5] ใช้หาการลดทอนสัญญาณพื้นที่ป่าซึ่งมีต้นไม้ขวางเส้นทางการกระจายคลื่น เรียกว่า Foliage factor โดยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สามารถแบ่งเป็น 2 ช่วงระยะทางคือ

ตั้งแต่ระยะทาง 0 ถึง 14 เมตร

$$PL = 1.33(f^{0.284})(d_f^{0.588}) \quad (11)$$

ตั้งแต่ระยะทางมากกว่า 14 เมตรขึ้นไป

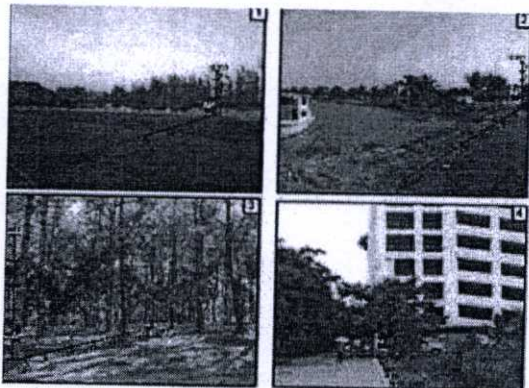
$$PL = 0.45(f^{0.284})(d_f) \quad (12)$$

ที่  $d_f$  คือระยะทางที่ผ่านต้นไม้ (Foliage) (เมตร)

$f$  คือความถี่ของตัวส่งสัญญาณหน่วยเป็น (GHz)

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบสัญญาณใช้พื้นที่ภายนอกอาคาร ได้แก่ 1. พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวางสนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Stadium) เพื่อหาลักษณะการกระจายแบบเส้นตรง 2. พื้นที่ใกล้แอ่งน้ำเพื่อหาการดูดซับสัญญาณของน้ำบริเวณเขื่อนป่าสักสิทธิ์ (Water reservoir) 3. พื้นที่ป่าเพื่อศึกษาค่าลดทอนจากต้นไม้ที่ขวางเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นบริเวณอุทยานทุ่งแสงหลวง (Forest) 4. พื้นที่ลานจอดรถเพื่อศึกษาการลดทอนจากสิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ แอ่งน้ำและอื่นๆบริเวณหลังอาคาร KPN พระรามเก้า (Parking lot) ลักษณะดังภาพที่ 2 ทำการวัดสัญญาณ Cisco 1121 b/g ที่กำลังส่ง -16.97 dBm เสาอากาศภายในอุปกรณ์เท่ากับ 2.2 dBi



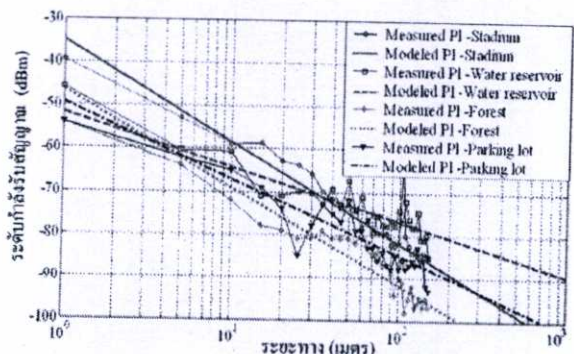
ภาพที่ 2 พิกัดตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลสัญญาณและลักษณะพื้นที่ภายนอกอาคาร

ใช้โปรแกรมฟิวชั่น (Fusion) บนคอมพิวเตอร์มือถือ Symbol MC3090 เพื่อบอกรายละเอียดระดับกำลังรับสัญญาณ (Signal

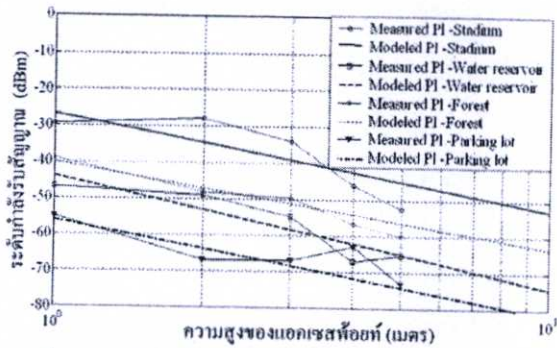
Level) ดังภาพที่ 3 วางแอกเซสพ้อยท์ที่ความสูง 1 เมตรถึง 5 เมตร กำหนดความถี่ 2462 MHz ทดสอบตัวแปรระยะทางโดยวางแอกเซสพ้อยท์สูงจากพื้น 1 เมตร หันแอกเซสพ้อยท์ไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งมีระยะห่างจากพื้น 0.1 เมตรเก็บข้อมูลที่ระยะเริ่มต้น 1 เมตรวัดค่าทุกระยะ 5 เมตรจนถึง 150 เมตร การทดสอบตัวแปรความสูงและความถี่ กำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณกับแอกเซสพ้อยท์เป็น 1 เมตร แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าและตำแหน่งที่ต้องการทดสอบดังภาพที่ 2 ทำการทดสอบแต่ละตัวแปรตำแหน่งละ 10 ครั้งแล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อพล็อตกราฟหาความชันจากเส้นตรงดังภาพที่ 4-6 ก่อนสร้างแบบจำลองการกระจายคลื่นของเครือข่าย WLAN ในพื้นที่นอกอาคาร



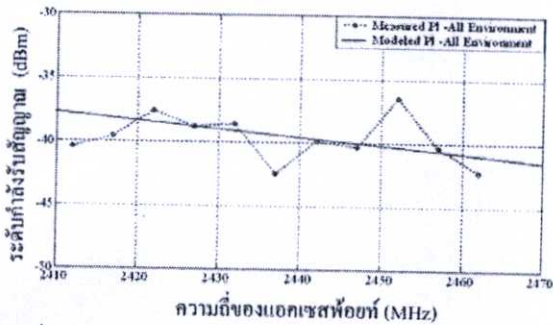
ภาพที่ 3 เครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 4 ความชันกราฟเส้นตรงของกำลังรับสัญญาณ (Received Power) ที่ระยะทาง 1-150 เมตร



ภาพที่ 5 ความชันกราฟเส้นตรงของกำลังรับสัญญาณ(Received Power) ที่ระดับความสูงเสาเสฟพ้อยท์ 1-5 เมตร



ภาพที่ 6 ความชันกราฟเส้นตรงของกำลังรับสัญญาณ(Received Power) ที่ความถี่ 2412 MHz ถึง 2462 MHz

จากภาพที่ 4 เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทำให้ระดับกำลังสัญญาณที่ได้รับได้ (Received Power) มีค่าลดลงเกิดการลดทอนเนื่องจากระยะทาง เมื่อแทนค่า  $\chi_{\sigma} = 0$  ลงในสมการที่ 6 แล้วเขียนให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงโดยนำมาเทียบความชันของกราฟ L ภาพที่ 4 สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$PL = A + B \log d(m) \quad (13)$$

จากภาพที่ 4-6 สามารถหาการลดทอนสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตร ( $A_0$ ) และค่าความชันจากกราฟเนื่องจากระยะทาง( $B_d$ ) ความสูง ( $B_h$ ) และความถี่( $B_{fc}$ ) ตามลักษณะพื้นที่การทดสอบสัญญาณดังตารางที่ 1 โดยกำหนดการลดทอนสัญญาณเนื่องจากสภาพแวดล้อมเป็นค่าคงที่ K

ตารางที่ 1 ค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตร( $A_0$ ) และค่าความชันจากระยะทาง( $B_d$ ) ความสูง ( $B_h$ ) และความถี่( $B_{fc}$ )

ตัวแปรที่ทำให้เกิดการลดทอนในระบบ Wireless LAN					
ลักษณะพื้นที่	ค่าลดทอน ระยะ 1 เมตร $A_0$ (dBm)	ความชันของกราฟ			ค่าคงที่ K
		ระยะทาง $B_d$	ความสูง $B_h$	ความถี่ $B_{fc}$	
ไร่สีสุกขาว	51.17	23.77	26.28	0.075	115.98
ใกล้แม่น้ำ	68.67	12.52	32.17	0.075	121.68
ป่าทึบ	62.97	23.2	22.60	0.075	121.68
ลานจอดรถ	66.27	17.69	19.85	0.075	118.38

### 5. ผลการดำเนินการ

จากความชันที่หาได้ค้ค่าในตารางที่ 1 เมื่อแทนลงในสมการที่ (13) สามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองการลดทอนสัญญาณของพื้นที่นอกอาคารทั้ง 4 แบบใหม่ได้เป็น

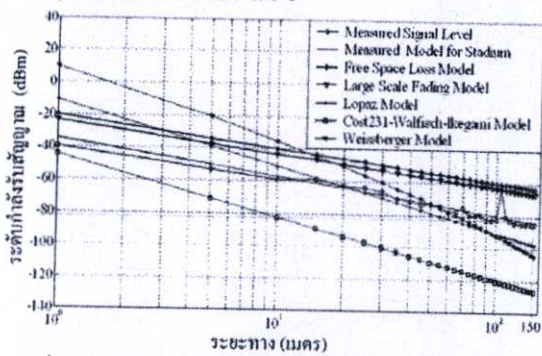
$$PL = B_d \log d(m) + B_{fc} \log f(MHz) + B_h \log h(m) - K \quad (14)$$

เมื่อ  $f$  คือความถี่ใช้งาน (MHz)

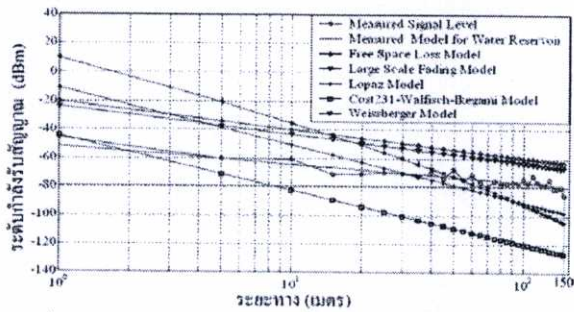
$d$  คือระยะทาง (เมตร)

$h$  คือความสูงในการติดตั้งเสาเสฟพ้อยท์ (เมตร)

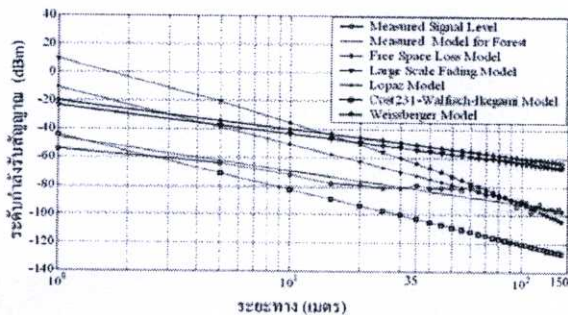
ภายใต้เงื่อนไขข้อดีการขยายสัญญาณ(Gain) ของเสาอากาศเสาเสฟพ้อยท์เป็น 2.2 dBi และความสูงของอุปกรณ์รับ 0.1 เมตร เมื่อแทนค่าคงที่จากตารางที่ 1 ลงในสมการที่ 14 คำนวณหาระดับกำลังรับสัญญาณแล้วทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่เคยมักศึกษา [1], [2], [3], [4], [5]



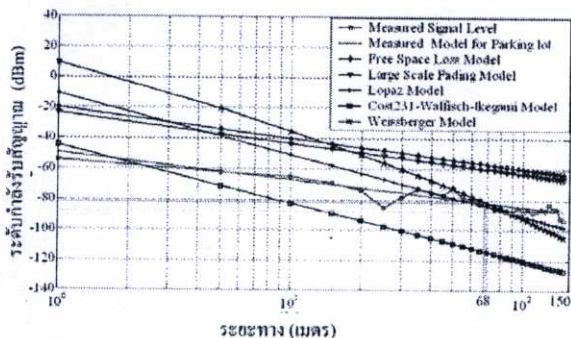
ภาพที่ 7 เปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากการทดสอบสัญญาณของพื้นที่ไร่สีสุกขาว (Stadium) และแบบจำลอง [1], [2], [3], [4], [5]



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากการทดสอบสัญญาณของพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ(Water reservoir)และแบบจำลอง [1], [2], [3], [4], [5]



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากการทดสอบสัญญาณของพื้นที่ต้นไม้หนาแน่น(Forest) และแบบจำลอง[1], [2], [3], [4], [5]



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากการทดสอบสัญญาณของบริเวณลานจอดรถ(Parking lot) และแบบจำลอง[1], [2], [3], [4], [5]

ระดับความเข้มสัญญาณที่แอคเซสพ้อยสามารถรับส่งข้อมูลได้มีค่าต่ำสุดที่ -82 dBm มีรัศมีครอบคลุมพื้นที่ให้บริการดังภาพที่ 7-10 สรุปเป็นระยะห่างในการวางแอคเซสพ้อยดังนี้

5.1 พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง(Stadium) และพื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ (Water reservoir) ควรวางแอคเซสพ้อยห่างกันที่ระยะ 300

เมตร จากภาพที่ 7 และ 8 สังเกตได้ว่าแบบจำลองของพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำมีเส้นตรงลาดเอียงน้อยเนื่องจากเกิดการดูดซับสัญญาณทำให้ระดับความเข้มสัญญาณลดลง

5.2 พื้นที่ป่า(Forest) ควรวางแอคเซสพ้อยห่างกัน 70 เมตร ระดับกำลังรับสัญญาณของการวัดขึ้นลงไม่คงที่และยังไม่ผู้ศึกษารายใดสร้างแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับผลการวัดจริงเนื่องจากต้นไม้มีรูปแบบต่างกันซึ่งสิ่งกีดขวางเส้นทางการกระจายคลื่นวิทยุ

5.3 พื้นที่ชนบท(Parking lot) ควรวางแอคเซสพ้อยห่างกัน 136 เมตร

## 6. บทสรุป

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาแพร่กระจายคลื่นของเครือข่าย WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11b/g ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยสร้างแบบจำลองการลดทอนสัญญาณของพื้นที่ภายนอกอาคารแล้วนำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวที่ 14 เพื่อทำนายกำลังรับสัญญาณสำหรับระบุตำแหน่งติดตั้งแอคเซสพ้อยที่สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้แก่พื้นที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง พื้นที่ใกล้แอ่งน้ำ พื้นที่ป่าและพื้นที่ลานจอดรถที่มีความแม่นยำทำให้บริเวณที่ไม่สามารถให้บริการเครือข่ายแบบมีสาย(LAN Network) จากเดิมที่มีความยุ่งยากสามารถให้บริการสารสนเทศ สื่อสิ่งพิมพ์และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเพื่อสนองตามนโยบายขององค์กรได้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kaveh Pahlavan, "Wireless Information Networks", John Wiley & Sons INC, pp 37-76, 1995
- [2] E. Lopez-Aguilera, "A Transmit Power Control Proposal for IEEE 802.11 Cellular Networks", Wireless Networks Group – Telematics Department, Technical University of Catalonia Barcelona, Spain, pp 2
- [3] V.Dasarathan, "Outdoor Channel Measurement, Pathloss Modelling and System Simulation of 2.4 GHz WLAN IEEE 802.11g in Indian Rural Environments", Department of ECE, Thiagarajar College of Engineering, Madurai, India, Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2007, pp 2
- [4] Johansson & Furuskär, A. (2005). Cost efficient capacity expansion strategies using multi-access networks. In Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC). Spring., pp2
- [5] M. Dapper, "RF propagation in short-range sensor communications," in Proceedings of the SPIE Conference on Unattended Ground Sensor Technologies and Applications V,E. Carapezza, Ed., vol. 5090, Orlando, FL, Sept. 2003, pp. 6-9

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวนุชนาฏ ทิพกองลาด เกิดเมื่อวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ.2521 ที่จังหวัดสตูลสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2548 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรเครือข่าย (Senior Network Engineer) สังกัดหน่วยงาน Business Data Services บริษัท True Universal Convergence Co., Ltd