แนวทางการจัดการระบบกระจายสัญญาณไร้สายในห้องเรียนขนาดใหญ่อย่างคุ้มค่า

ธนศักดิ์ วุฒิวโรภาส

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤษภาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของของมหาวิทยาลัยบูรพา

A GUIDELINE FOR COST EFFECTIVENESS WI-FI SOLUTION FOR A BIG CLASSROOM

TANASAK WUTHIWAROPAS

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE MASTER DEGREE OF SCIENCE
IN INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATICS
BURAPHA UNIVERSITY
MAY 2017

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ธนศักดิ์ วุฒิวโรภาส ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

.....ประธาน
(ดร.ภารุจ รัตนวรพันธุ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิสา ริมเจริญ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล)

คณะวิทยาการสารสนเทศ อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาการสารสนเทศ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณะ ชินสาร)
วันที่ ๒๐ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา ช่วยเหลือ และคำปรึกษาอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความกรุณา แนะนำวิธีการ หลักการแนวคิดในการสร้างสรรค์งานนิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขปัญหาและตรวจสอบแก้ไขเป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้และวิชาการต่างๆ เอื้อเฟื้อสถานที่และให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี

ธนศักดิ์ วุฒิวโรภาส

56920003: สาขาวิชา: เทคโนโลยีสารสนเทศ; วท.ม. (เทคโนโลยีสารสนเทศ)
คำสำคัญ: การบริหารจัดการระบบกระจายสัญญาณไร้สาย/ แนวทางการจัดการระบบกระสัญญาณไร้สายในห้องเรียนขนาดใหญ่/ การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า/ เทคโนโลยีสารสนเทศ

ธนศักดิ์ วุฒิวโรภาส: แนวทางการจัดการระบบกระจายสัญญาณไร้สายในห้องเรียนขนาดใหญ่อย่างคุ้มค่า (A GUIDELINE FOR COST EFFECTIVENESS WI-FI SOLUTION FOR A BIG CLASSROOM) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล, Ph.D. 63 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

ในงานนิพนธ์นี้ผู้จัดทำงานนิพนธ์ศึกษาแนวทางการจัดการกระจายสัญญาณ Wi-Fi ของจุดเข้าถึงสัญญาณ Wi-Fi (Access Point: AP) ที่ถูกติดตั้งในห้องเรียนขนาดใหญ่อย่างคุ้มค่า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาลักษณะของคลื่นสัญญาณไร้สาย (Wi-Fi) และแนวทางการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ 2) ศึกษาขั้นตอนการเชื่อมต่อของ AP 3) ศึกษาการติดตั้งเฟิร์มแวร์และตั้งค่าพารามิเตอร์ของ AP 4) พัฒนาเครือข่าย Wi-Fi ต้นแบบที่สามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่ โดยใช้งบประมาณที่เหมาะสม ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า การกระจายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพนั้นประกอบด้วยปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับระบบกระจายสัญญาณไร้สายได้แก่ 1) Power Transmission 2) ACK Timing 3) การกำหนดสายอากาศส่งและสายอากาศรับสัญญาณ และ 4) จำนวนผู้ใช้งานต่อหนึ่ง AP จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อทำตามแนวทางการจัดการระบบกระจายสัญญาณไร้สายในห้องเรียนขนาดใหญ่แล้วสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 2 – 10 เท่า และสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี เมื่อทดสอบการใช้งานในสถานการณ์จริงกับ พบว่า Client ทั้งหมด สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายได้ และสามารถดาวโหลดไฟล์ที่กำหนดได้ นอกจากนี้เมื่อทำการทดสอบโดยการเล่นไฟล์มัลติมีเดียแบบสตรีมมิ่ง (Streaming) บน YouTube พบว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด (ระดับ 5) คิดเป็น 33.33 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ มีความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานอยู่ในระดับมาก (30 เปอร์เซ็นต์), ระดับปานกลาง (18.33 เปอร์เซ็นต์), ระดับน้อย (15 เปอร์เซ็นต์), และระดับน้อยที่สุด (3.33 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามแนวทางการจัดการระบบกระจายสัญญาณไร้สายในห้องเรียนขนาดใหญ่ดังกล่าวนั้น มีความเหมาะสมกับองค์กรขนาดเล็กที่มีความต้องการประหยัดงบประมาณ

56920003: MAJOR: INFORMATION TECHNOLOGY; M.Sc (INFORMATION TECHNOLOGY)
KEYWORDS: WI-FI SYSTEM MANAGEMENT / WI-FI SYSTEM FOR A BIG CLASSROOM
COST EFFECTIVENESS / INFORMATION TECHNOLOGY

TANASAK WUTHIWAROPAS: A GUIDELINE FOR COST EFFECTIVENESS WI-FI SOLUTION FOR A BIG CLASSROOM ADVISORY COMMITTEE: NUTTHANON LEELATHAKUL, Ph.D. 63 P. 2017.

This independent study provides a guideline for a cost-effective Wi-Fi solution for a big classroom. Our aims are to 1) study the Wi-Fi signal characteristic and power transmission, 2) study an access point connection procedure, 3) study the access point firmware installation and configuration, 4) develops the prototype of the cost-effective Wi-Fi solution using low-end Wi-Fi access points. We found that effective Wi-Fi connections depend on 4 factors: 1) power transmission, 2) ACK Timing, 3) antenna placement, and 4) the number of clients per AP. Our study also indicates that our guideline could reduce the installation cost about 2 – 10 times. In the experiments, all 60 clients using Wi-Fi in a big classroom are able to connect to the internet, access the website, and download files. Additionally, all of the clients are able to receive multimedia streaming via YouTube; most of clients are satisfied at the highest level (33.33 percent), high level (30 percent), medium level (18.33 percent), low level (15 percent), and lowest level (2 percent), respectively. In conclusion, our guideline is suitable for small-sized organization with limited budget.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ค
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ฌ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 เครือข่ายไร้สาย 4
2.2 สายอากาศ 8
2.3 ชนิดของสายอากาศสำหรับเครือข่ายไร้สาย 11
2.4 เฟิร์มแวร์ 12
2.5 การรบกวนของสัญญาณ 12
2.6 ปัจจัยด้านราคาของแนวทางการจัดการเครือข่ายไร้สายภายในห้องเรียน ขนาดใหญ่ 13
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้สายอากาศสำหรับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร 15
3 วิธีดำเนินการวิจัย 16
3.1 การศึกษาปัญหาที่ส่งผลต่อการทำงานของ AP 17
3.2 การศึกษาและทดสอบเสากระจายสัญญาณ 17
3.3 การศึกษาเรื่องการปรับแต่งค่าบน AP 18
3.4 การศึกษาคุณสมบัติ การเลือกใช้และวิธีติดตั้งเฟิร์มแวร์ 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การทดสอบการทำงาน AP ในพื้นที่ศึกษา 33
3.6 การทดสอบและประเมินผล 47
3.7 การสรุปผลการศึกษา 48
4 ผลการวิจัย 49
4.1 ผลการวิเคราะห์ปัญหาอุปกรณ์จุดเข้าถึงในห้องปิดทั่วไป 49
4.2 ผลการศึกษาและทดสอบเสากระจายสัญญาณ 49
4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติและการเลือกใช้เฟิร์มแวร์ 52
4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ AP ตามจำนวน Client ที่เชื่อมต่อ 54
4.5 ผลการทดสอบในพื้นที่ศึกษา 54
5 อภิปรายและสรุปผล 58
บรรณานุกรม 59
ภาคผนวก 61
ภาคผนวก ก. แบบสอบถาม 61
ประวัติย่อของผู้วิจัย 63

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2-1 มาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายและคุณสมบัติที่ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี 2540 – 2548 7

2-2 ค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดการเครือข่ายไร้สายภายในอาคาร 14

3-1 ตัวเลือกและรายละเอียดโหมดการทำงานไร้สาย (Wireless Mode) 19

4-1 ผลการเปรียบเทียบกำลังส่งของสายอากาศ (dBm) ชนิด Omni และ Directional 50

4-2 ผลการเปรียบเทียบกำลังส่งของสายอากาศ (mW) ชนิด Omni และ Directional 50

4-3 ผลการทดสอบความแรงของสัญญาณกับการเปลี่ยนค่าในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW 51

4-4 ผลการทดสอบฉนวนลดทอนสัญญาณจากตัวสายอากาศของ AP ในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW 52

4-5 ความแตกต่างในการใช้งานระหว่างเฟิร์มแวร์ TOMATO และ DD-WRT 53

4-6 สรุปความแตกต่างระหว่างการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 56

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) 4
2-2 ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) 5
2-3 ระบบเครือข่ายเมืองไร้สาย (WMAN) 5
2-4 ระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ไร้สาย (WWAN) 6
2-5 ลักษณะการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบรอบทิศทาง 9
2-6 ลักษณะการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบทิศทางเดียว 10
2-7 Noise Floor and Signal and Interference to Noise Ratio 11
2-8 สายอากาศสำหรับเครือข่ายไร้สาย (WLAN System) 11
2-9 ชุดช่องสัญญาณที่เหมาะสมต่อการใช้งาน 12
2-10 ตำแหน่งของสายอากาศและการรบกวนของสัญญาณไร้สาย 15
3-1 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 16
3-2 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (1/5) 23
3-3 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (2/5) 23
3-4 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (3/5) 24
3-5 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (4/5) 24
3-6 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (5/5) 25
3-7 การกำหนดค่าไอพีแอดเดรสเอง (DD-WRT) 26
3-8 แสดงด้านหลังอุปกรณ์ RT-N12 26
3-9 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (1/4) 27
3-10 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (2/4) 27
3-11 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (3/4) 28
3-12 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (4/4) 28
3-13 การกำหนดค่าไอพีแอดเดรสเอง (TOMATO) 29
3-14 แสดงด้านหลังอุปกรณ์ RT-N12 30
3-15 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (1/5) 30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-16 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ Tomato ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (2/5) 31
3-17 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (3/5) 31
3-18 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (4/5) 32
3-19 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (5/5) 32
3-20 หน้าจอการคืนค่าอุปกรณ์ให้กลับสู่ค่าเริ่มต้น 33
3-21 หน้าจอการกำหนดการทำงานของ AP 33
3-22 หน้าจอการกำหนดชื่อของตัว AP 34
3-23 หน้าจอการกำหนดช่องสัญญาณของตัว AP 34
3-24 หน้าจอการกำหนดระยะทางจากตัว AP ไปยังเครื่องรับ 35
3-25 หน้าจอการกำหนดจำนวน Client ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ 36
3-26 หน้าจอการกำหนดค่าความแรงของสัญญาณ 37
3-27 หน้าจอการคืนค่าอุปกรณ์ให้กลับสู่ค่าเริ่มต้น 38
3-28 หน้าจอการกำหนดการทำงานของ AP 39
3-29 หน้าจอการกำหนดชื่อของตัว AP 39
3-30 หน้าจอการกำหนดระยะทางจากตัว AP ไปยังเครื่องรับ 40
3-31 หน้าจอการกำหนดจำนวน Client ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ 41
3-32 หน้าจอการกำหนดค่าความแรงของสัญญาณ 42
3-33 แสดงเสากระจายสัญญาณไร้สายฝั่งซ้ายขวา 43
3-34 หน้าจอการกำหนดเสากระจายสัญญาณไร้สายฝั่งซ้ายขวา 44
3-35 หน้าจอเครื่องแม่ข่ายที่ใช้คำสั่ง iperf3 –s 45
3-36 หน้าจอเครื่องลูกข่ายที่ใช้คำสั่ง iperf3 –c 45
3-37 แผนผังการติดตั้ง AP ในห้องเรียนขนาดใหญ่ 46
4-1 แผนภาพแสดงผลการทดสอบความแรงของสัญญาณกับการเปลี่ยนค่า Power Transmission ในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW 51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-2 แผนภาพแสดงผลการทดสอบฉนวนลดทอนสัญญาณจากตัวสายอากาศของ AP ในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW 52

4-3 แผนภาพแสดงการทดสอบประสิทธิภาพของ AP ตามจำนวน Client ที่เชื่อมต่อ 55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Wi-Fi (Wireless Fidelity) คือเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากสามารถช่วยให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน แบบไร้สาย โดยส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูกออกแบบโดย IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) ที่มุ่งเป้าให้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารกันได้ บนมาตรฐานการทำงานเดียวกัน เทคโนโลยี Wi-Fi ทำให้การพัฒนาการใช้งานของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายหรือ Wireless LANs (Wireless Local Area Network) รวดเร็วและราคาถูก

Wi-Fi ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และความสะดวกของการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น เครื่องใช้ฟ้า หรือแม้กระทั่งการวางระบบเครือข่ายหรือการติดตั้งเซนเซอร์แบบไร้สาย เช่น การเฝ้าระวังสภาพอากาศ การตรวจคุณภาพน้ำ การตรวจภัยพิบัติทางธรรมชาติ อีกทั้ง Wi-Fi ยังสามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้งานบางอย่างที่ระบบเครือข่ายแบบมีสายทำไม่ได้ เช่น การใช้งานที่ต้องเคลื่อนที่ตลอดเวลา ในขณะที่ค่าใช้จ่ายของเทคโนโลยี Wi-Fi นั้นยังมีราคาที่ถูกอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi มีข้อจำกัด บางครั้งมีผู้ใช้งานจำนวนมากเกินกว่าที่อุปกรณ์จุดเข้าถึง (Access Point: AP) จะรองรับได้ เป็นผลให้การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ Wi-Fi กับอุปกรณ์ AP ทำได้ยากหรือไม่สามารถเชื่อมต่อได้เลย ปัญหาดังกล่าวนี้นับเป็นปัญหาสำคัญที่พบเห็นได้ทั่วไปไม่ว่าจะในหน่วยงาน สถาบันการศึกษา ห้างสรรพสินค้า งานเปิดตัวสินค้าของกลุ่มธุรกิจต่าง ๆ (The New York Times, 2010) หรือแม้กระทั่ง การจัดประชุมทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ทั้งนี้ปัญหาหลัก ๆ ส่วนมากเกิดจากจำนวนคนที่มาเชื่อมต่อกับ AP ที่มากเกินไป, การกระจายสัญญาณ Wi-Fi ที่ครอบคลุมไม่ทั่วถึง ตลอดจนการรบกวนกันของสัญญาณ Wi-Fi จาก AP หลาย ๆ จุดที่อยู่ในพื้นที่บริเวณเดียวกัน การแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถมากขึ้น (เช่น Meraki ของบริษัท CISCO) ซึ่งมีราคามากกว่าเป็น 5 เท่าเมื่อเทียบกับราคาสินค้าทั่วไปในตลาด ไม่เหมาะกับการใช้งานองค์กรขนาดเล็กหรือมีงบประมาณที่จำกัด (CISCO, 2014)

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้จัดทำงานนิพนธ์นี้จึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาเครือข่าย Wi-Fi ในห้องเรียนขนาดใหญ่ ที่ไม่ใช้อุปกรณ์ราคาแพงดังกล่าว แต่ยังสามารถรองรับผู้ใช้จำนวนมากได้ การพัฒนาประสิทธิภาพของเครือข่าย Wi-Fi ในงานนิพนธ์นี้จะส่งผลให้การใช้งาน Wi-Fi ในห้องเรียน

ขนาดใหญ่ครอบคลุมทั่วพื้นที่เป้าหมายและเพียงพอต่อการใช้งาน โดยใช้งบประมาณที่เหมาะสมต่อหน่วยงานหรือองค์กร

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาและนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ AP โดยการเลือกใช้ชนิดของสายอากาศให้เหมาะสมและการควบคุมกำลังส่งรวมถึงระยะทางของการกระจายสัญญาณ ซึ่งจะลดปัญหาของการรบกวนกันของสัญญาณ จาก AP หลายตัวในบริเวณเดียวกัน ทำให้การใช้งานของระบบ Wi-Fi ราบรื่นและมีค่าใช้จ่ายการติดตั้งระบบน้อย เหมาะสำหรับองค์กรขนาดเล็ก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะของคลื่นสัญญาณไร้สาย (Wi-Fi) และแนวทางการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ

1.2.2 เพื่อศึกษาขั้นตอนการเชื่อมต่อของ AP

1.2.3 เพื่อศึกษาการติดตั้งเฟิร์มแวร์และตั้งค่าพารามิเตอร์ AP

1.2.4 เพื่อพัฒนาแนวทางติดตั้ง Wi-Fi ที่สามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่ โดยใช้งบประมาณที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเน้นการติดตั้ง AP ที่สามารถบริการผู้ใช้จำนวนมากในห้องเรียนขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจำนวนผู้ใช้ไม่เกิน 100 คน และห้องมีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ทราบถึงลักษณะของการกระจายสัญญาณ Wi-Fi ของเสาแบบต่างๆ

1.4.2 ทราบถึงการติดตั้งเฟิร์มแวร์และตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ AP ความครอบคลุมเพียงพอต่อการใช้งานในห้องเรียนขนาดใหญ่

1.4.3 ทราบถึงข้อจำกัดในการออกแบบการกระจายสัญญาณ Wi-Fi ในด้านการควบคุมทิศทางของสัญญาณ ด้านผู้ใช้งาน และด้านตัวอุปกรณ์

1.4.4 สามารถนำแนวทางการวิจัยไปใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาต่อหรือติดตั้งใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์

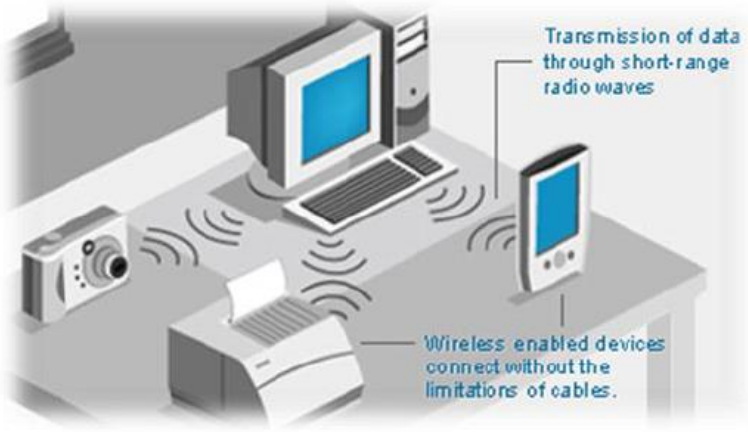
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครือข่ายไร้สาย (Wireless Network)

เครือข่ายไร้สายหมายถึง เครือข่ายที่คอมพิวเตอร์สื่อสารข้อมูลระหว่างกันผ่านเครือข่ายโดยไม่ต้องผ่านสายสัญญาณแต่มีการส่งข้อมูลผ่านการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency : RF) และคลื่นอินฟาเรด (Infrared) โดยที่ระบบเครือข่ายไร้สายนั้นมีคุณสมบัติอื่น ๆ เช่นเดียวกับระบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network: LAN) ที่มีสายทั่วไป (สุขุม, 2555) เครือข่ายไร้สายแบ่งเป็น 4 ประเภทได้แก่

1) ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN)

มีลักษณะการใช้งานที่คลอบคลุมพื้นที่จำกัด เช่น ภายในที่พักอาศัยหรือห้องทำงานส่วนบุคคล ดังแสดงในภาพที่ 2-1 สำหรับระบบที่รองรับการใช้งานส่วนบุคคลนั้นจะประกอบด้วย 2 ระบบ ได้แก่ อินฟาเรด (Infrared: IR) ซึ่งรองรับระยะห่างไม่เกิน 3 เมตร และระบบบลูทูท (Bluetooth) ซึ่งรองรับระยะห่างไม่เกิน 10 เมตร



ภาพที่ 2-1 ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN)

(ที่มา: สุขุม, 2555)

2) ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN)

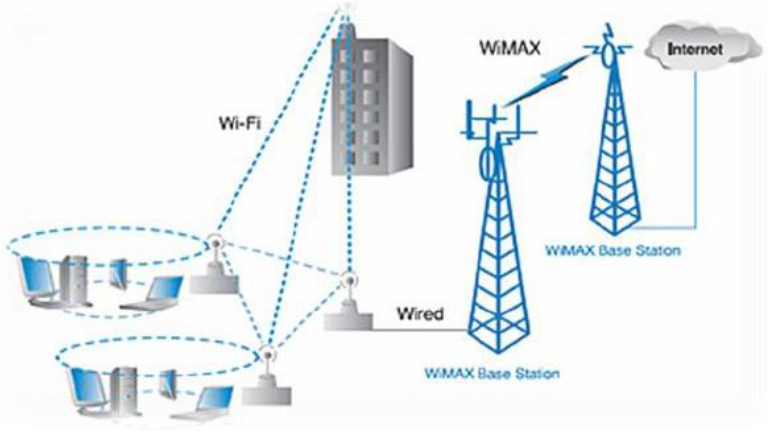
มีลักษณะการใช้งานที่ครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่าระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ดังแสดงในภาพที่ 2-2 เช่น ภายในสำนักงานเดียวกันหรืออาคารเดียวกันโดยมีระยะห่างของอุปกรณ์ระหว่าง 0 – 100 เมตร

ภาพที่ 2-2 ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

(ที่มา: สุขุม, 2555)

3) ระบบเครือข่ายเมืองไร้สาย (Wireless Metropolitan Area Network: WMAN)

มีลักษณะการใช้งานคลอบคลุมในพื้นที่กว้าง เช่น การใช้งานระหว่างองค์กรหรือระหว่างอาคารต่างๆ ภายในเมือง โดยจะมีระบบเครือข่ายที่หลากหลายมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ระบบเครือข่ายเมืองไร้สาย (WMAN)

(ที่มา: สุขุม, 2555)

4) ระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ไร้สาย (Wireless Wide Area Network: WWAN)

มีลักษณะเป็นการใช้งานที่มีเครือข่ายขนาดใหญ่ เช่น ระหว่างเมืองขนาดใหญ่หรือ ระหว่างประเทศ โดยการสื่อสารระหว่างประเทศจะเป็นการสื่อสารผ่านดาวเทียม ดังแสดงในภาพที่ 2-4

ภาพที่ 2-4 ระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ไร้สาย (WWAN)

(ที่มา: สุขุม, 2555)

2.1.1 มาตรฐานของระบบเครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi)

มาตรฐาน 802.11 ซึ่งเป็นมาตรฐานกลางของการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย ถูกประกาศโดยคณะกรรมการ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ในปี 2540 ให้เป็นมาตรฐานสำหรับการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายนั้น จำเป็นต้องมี AP และอุปกรณ์รับ - ส่งสัญญาณไร้สายที่ตัวเครื่องปลายทาง (End Host) มาตรฐานของเครือข่ายไร้สาย 802.11 ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 มาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายและคุณสมบัติที่ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี 2540 – 2548

ปี	2540	2542	2542	2546	2548
มาตรฐาน	802.11	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
ความถี่	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
สื่อ	Infrared, Radio	Radio	Radio	Radio	Radio
เทคนิค	DSSS, FHSS	OFDM	CCF, DSS	OFDM	OFDM
เข้ารหัส	DQPSK	BPSK	DQPSK/CCK	OFDM/CCK	
อัตราการส่ง Mbps	2 Mbps	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	100-540
ครอบคลุมพื้นที่		35 ม. (ปิด) 120 ม. (โล่ง)	38 ม. (ปิด) 140 ม. (โล่ง)	38 ม. (ปิด) 140 ม.(โล่ง)	70 ม. (ปิด) 250 ม.(โล่ง)

(ที่มา: สุขุม, 2555)

2.1.2 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย Wi-Fi

เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย Wi-Fi มี 3 เกณฑ์ ดังนี้ (สุขุม, 2555)

1. เกณฑ์เกี่ยวกับสมรรถนะ (Competency) สามารถประเมินได้จากหลายปัจจัยดังนี้

1.1 เวลาที่ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูล หมายถึง เวลาในการถ่ายโอนข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง หรือจากปลายทางไปยังต้นทาง เช่น การอัพโหลด และการดาว์นโหลด

1.2 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเครือข่าย หมายถึง เมื่อมีผู้ใช้งานบนเครือข่ายมากจะทำให้การสื่อสารข้อมูลในระบบมากขึ้นเช่นกัน ทำให้ต้องใช้เวลาในการสื่อสารที่ยาวนานขึ้น ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย ดังนั้นระบบเครือข่ายที่ดีควรมีการกำหนดจำนวนสูงสุดของผู้ใช้งานที่ระบบสามารถรองรับได้อย่างชัดเจน

1.3 ชนิดสื่อกลางที่ใช้ส่งข้อมูล สำหรับสื่อกลางแต่ละประเภทนั้นสามารถรองรับความเร็วได้แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สื่อกลางที่เหมาะสมกับระบบเครือข่าย

1.4 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์นั้นย่อมส่งผลต่อความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล โดยเครือข่ายที่มีซีพียูประมวลผลด้วยความเร็วสูงหรือสวิตซ์ที่ส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูงนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมที่ดี เช่น การเลือกเซิร์ฟเวอร์สมรรถนะสูง หรือการเลือกใช้สวิตซ์แทนฮับ

1.5 ซอฟต์แวร์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของเครือข่าย โดยระบบปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพนั้นมีระบบการทำงานที่สามารถควบคุมฮาร์ดแวร์ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

2. เกณฑ์เกี่ยวกับความน่าเชื่อถือ (Reliability) ได้แก่ อัตราความล้มเหลวในการส่งข้อมูล, ระยะเวลาที่ใช้ในการกู้คืนข้อมูล หรือระบบ ในกรณีที่มีความล้มเหลว, และความสามารถป้องกันเหตุการณ์หรือภัยพิบัติต่าง ๆ ที่อาจส่งผลให้ระบบเกิดความล้มเหลว

3. เกณฑ์เกี่ยวกับความปลอดภัย (Security) โดยมุ่งเน้นที่ความสามารถป้องกันบุคคลที่ไม่มีสิทธิ์จากการเข้าถึงข้อมูลหรือระบบเครือข่าย

โดยงานนิพนธ์ชิ้นนี้ให้ความสำคัญไปทางด้านสมรรถนะ (Competency) โดยให้ความสำคัญกับการเลือกแนวทางปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพสูงเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้จำนวนมาก ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

2.2 สายอากาศ (Antennas)

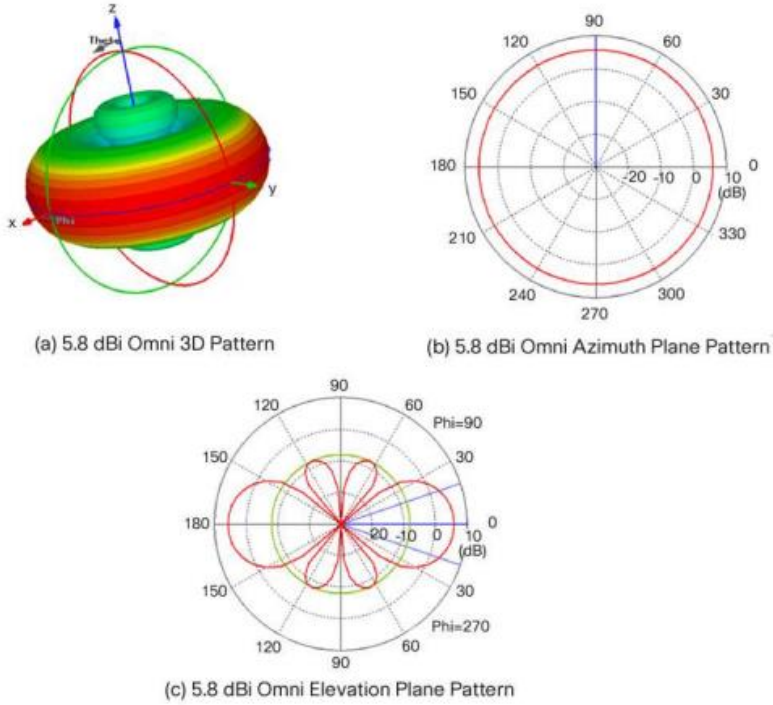
สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่รับ - ส่งสัญญาณในระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Systems) โดยมีคุณสมบัติพื้นฐาน 3 ประการได้แก่ (1) อัตราการขยาย (Gain) ซึ่งหมายถึงปริมาณพลังงานของสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่เพิ่มขึ้นโดยการใช้สายอากาศ, (2) ทิศทาง (Direction) ซึ่งหมายถึง ลักษณะรูปแบบการส่งผ่านสัญญาณ โดยทั่วไปเมื่ออัตราการขยายมากขึ้น มุมของการกระจายสัญญาณ (Angle of Radiation) จะลดลง ในขณะที่ระยะการกระจายสัญญาณนั้นสามารถคลอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น (มุมของการกระจายสัญญาณซึ่งมีหน่วยวัดเป็นองศา เรียกว่า ความกว้างลำสัญญาณ หรือ Beamwidth), และ (3) โพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำกัดให้สนามไฟฟ้าของคลื่นแสงสั่นในระนาบเดียว มีสองแบบ คือ แบบตั้ง (Vertical) และแบบนอน (Horizontal) ซึ่งโดยปกติจะถูกกำหนดตามระนาบของสนามไฟฟ้า โดยจะมีแนวขนานกับตัวสายอากาศ ดังนั้นโพลาไรเซชันจึงสามารถสังเกตได้ตามลักษณะสายอากาศ สำหรับสายอากาศความถี่ต่ำมักเลือกโพลาไรเซชั่นแบบตั้ง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับพื้นดิน สวนโพลาไรเซชั่นแบบนอนสัญญาณจะถูกรบกวนนอยกว่า ซึ่งมักจะเลือกใช้กับสายอากาศที่มีความถี่สูง

อย่างไรก็ตาม สายอากาศเป็นตัวรับและส่งสัญญาณเท่านั้น ไม่ได้เพิ่มพลังงานของสัญญาณ (Power of Signal) แต่สายอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทาง (Redirect) ของพลังงานที่รับจากตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) ซึ่งการเปลี่ยนทิศทางนี้มีผลทำให้การกระจายพลังงานไปในทิศทางเดียวดีขึ้น โดยมีการปล่อยพลังงานในทิศทางอื่น ๆ น้อยลง (CISCO, 2007)

CISCO ได้แบ่งสายอากาศตามลักษณะการกระจายสัญญาณ (Radiation Pattern) ออกเป็น 2 ประเภท (CISCO, 2007) ดังนี้:-

1. สายอากาศแบบรอบทิศทาง (Omni-Directional Antenna)

เป็นสายอากาศที่มีการกระจายหรือรับสัญญาณรอบทิศทางเท่ากันในทุกๆ ด้าน (360 องศา) ซึ่งอาจเรียกอีกชื่อว่า สายอากาศแบบไร้ทิศทาง (Non-Directional Antenna) (Carr, 2014) เนื่องจากการกระจายสัญญาณนั้นไม่ได้กระจายไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และมีลักษณะเป็นแนวตรง (Vertical) ดังแสดงในภาพที่ 2-5



(a) 5.8 dBi Omni 3D Pattern

(b) 5.8 dBi Omni Azimuth Plane Pattern

(c) 5.8 dBi Omni Elevation Plane Pattern

ภาพที่ 2-5 ลักษณะการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบรอบทิศทาง

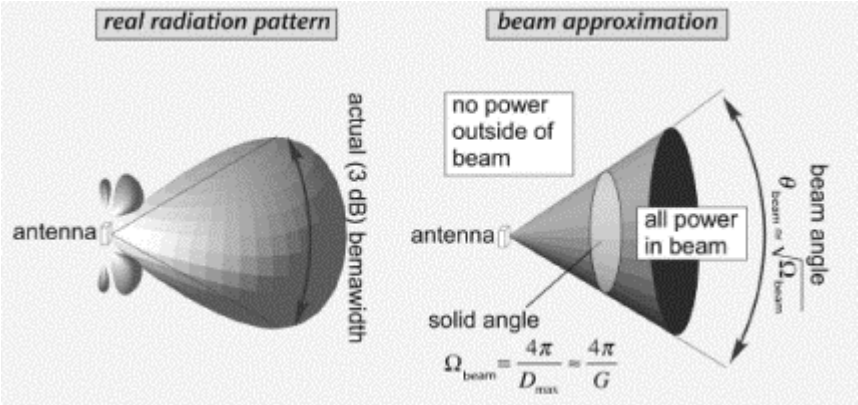
(ที่มา: CISCO, 2014)

ข้อดีของสายอากาศแบบรอบทิศทาง คือ การติดตั้งของสายอากาศนั้นสามารถติดตั้งได้ง่าย เนื่องจากมีการกระจายสัญญาณแบบ 360 องศา ทำให้การรับสัญญาณนั้นสามารถครอบคลุมทั่วทุกบริเวณในแนวราบ

ข้อเสียของสายอากาศแบบรอบทิศทาง คือ หากมีการติดตั้งสายอากาศในบริเวณด้านบนอาจทำให้การรับสัญญาณของตัวอุปกรณ์ที่อยู่ด้านล่างมีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากการกระจายสัญญาณที่เป็นรูปโดนัทในแนวราบ

2. สายอากาศแบบทิศทางเดียว (Directional Antenna)

เป็นสายอากาศแบบทิศทางเดียวแบบ 180 องศา โดยมีทิศทางของการกระจายสัญญาณและการพุ่งของสัญญาณไปทางหนึ่งหรือสองทิศเท่านั้น โดยปริมาณของพลังงานคลื่นวิทยุนั้นจะยังคงเท่าเดิม แต่มีพื้นที่ของการกระจายสัญญาณน้อยกว่าและมีความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) มากกว่าเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบรอบทิศทาง ดังแสดงในภาพที่ 2-6



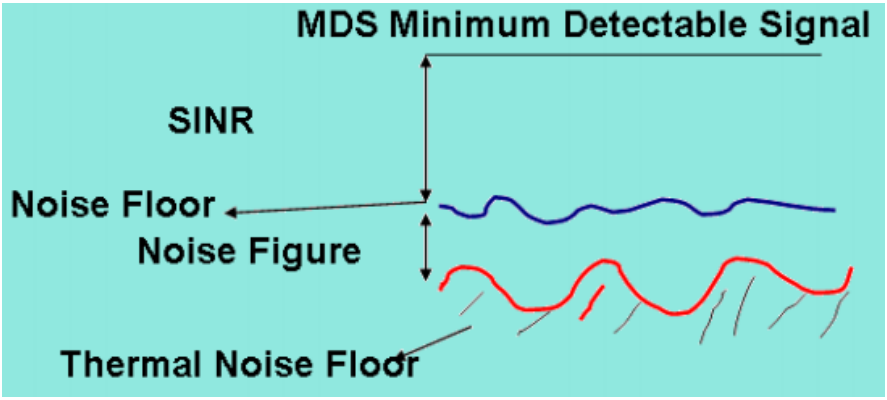
ภาพที่ 2-6 ลักษณะการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบทิศทางเดียว

(ที่มา: Dobkin, 2014)

ข้อดีของสายอากาศแบบทิศทางเดียว คือ สามารถส่งสัญญาณได้ไกลในทิศทางเดียว ทำให้สามารถจำกัดบริเวณการกระจายสัญญาณได้

ข้อเสียของสายอากาศแบบทิศทางเดียว คือ ติดตั้งยาก เนื่องจากลักษณะของการกระจายสัญญาณจะเป็นไปในทิศทางเดียว และมีความกว้างลำสัญญาณ (Beamwidth) ที่แคบ ซึ่งส่งผลต่อพื้นที่การคลอบคลุมของสัญญาณที่น้อยลง

เนื่องจาก สายอากาศแบบทิศทางเดียว ทำให้การส่งสัญญาณไปในทิศทางเดียว ทำให้สามารถแก้ปัญหาสัญญาณเลือนและปัญหาสัญญาณมาจากหลายทิศทาง (Fading and Multipath Problems) การเลือกใช้สายอากาศแบบทิศทางเดียว จึงน่าจะมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมภายในห้องขนาดใหญ่ในอาคาร โดยตั้งค่าอัตราขยายของสัญญาณให้ต่ำ เพื่อให้เกิดการรบกวนของสัญญาณที่น้อยลง (CISCO, 2007) ดังแสดงในภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 Noise Floor and Signal and Interference to Noise Ratio

(ที่มา: CISCO, 2007)

2.3 ชนิดของสายอากาศสำหรับเครือข่ายไร้สาย

สายอากาศสำหรับเครือข่ายไร้สายประกอบด้วย 5 รูปแบบ ได้แก่ Dipole, Ceiling Mount Omni, Yagi, Patch, และ Diversity Patch ดังแสดงในภาพที่ 2-8

ภาพที่ 2-8 สายอากาศสำหรับเครือข่ายไร้สาย (WLAN System)

(ที่มา: CISCO, 2014)

2.4 เฟิร์มแวร์ (Firmware)

การตั้งค่าการทำงานของ AP ให้มีประสิทธิภาพ (หรือมีคุณสมบัติตรงกับที่ผู้ใช้ต้องการ) สามารถทำได้โดยการตั้งค่าผ่านเฟิร์มแวร์

เฟิร์มแวร์มีหลายรุ่น หลากชนิด ซึ่งอาจถูกพัฒนาจากกลุ่มบุคคลที่ไม่ใช่ผู้ผลิต AP (Third-Party) โดยส่วนใหญ่เฟิร์มแวร์จะทำงานบนระบบปฏิบัติการ Linux ไม่ว่าจะเป็น AP Linksys, Asus, หรือ Netgear โดย เฟิร์มแวร์มีทั้งแบบฟรีและแบบมีลิขสิทธิ์ เช่น TOMATO, OpenWRT, DD-WRT, DebWRT, Sveasoft, Router Tech, HyperWRT, Wive-NG และอื่น ๆ เฟิร์มแวร์ที่ได้รับความนิยม ได้แก่ OpenWRT, DD-WRT, และ TOMATO

การศึกษาครั้งนี้ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้เลือกใช้ TOMATO ซึ่งเป็น เฟิร์มแวร์ ที่ถูกพัฒนาต่อจาก HyperWRT โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเน้นในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของ AP ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น TOMATO เป็นเฟิร์มแวร์ที่ไม่มีลิขสิทธิ์ สามารถนำไปติดตั้งได้กับ AP หลายยี่ห้อ นอกจากนี้ TOMATO ยังมีประสิทธิภาพสูงในการทำงานด้านต่าง ๆ เช่น การรองรับจำนวนการเชื่อมต่อสำหรับ Peer-to-Peer (P2P) ที่มากกว่าเฟิร์มแวร์มาตรฐาน, การสร้าง Custom Scripts เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของ AP, หรือการกำหนดกำลังกระจายสัญญาณ (Polarclound, 2014)

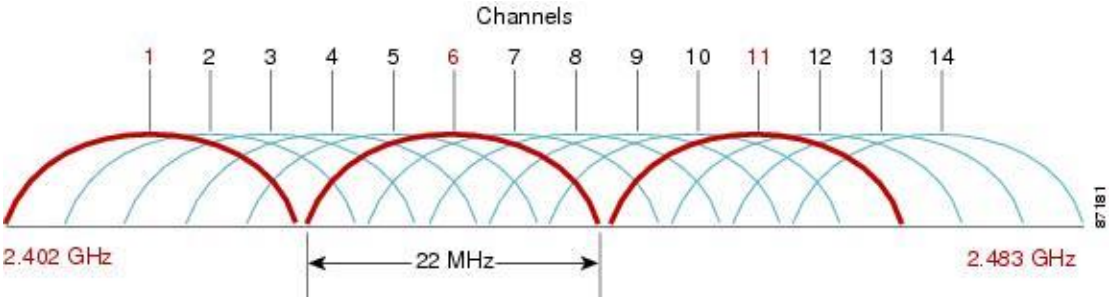
2.5 การรบกวนของสัญญาณ (Interference)

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ทำงานตามมาตรฐาน 802.11 ใช้คลื่นความถี่ได้โดยไม่ต้องได้รับการจัดสรรจากภาครัฐ ทำให้สามารถใช้คลื่นความถี่ได้อย่างอิสระ ส่งผลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากมีการใช้งานผ่านคลื่นความถี่นี้ ไม่ว่าจะเป็นเตาไมโครเวฟ, โทรศัพท์ประเภทไร้สาย, หรือสัญญาณเรดาร์จากสนามบิน ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าว สัญญาณจากอุปกรณ์หลายตัวอาจรบกวนกัน (Interference) นอกจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าว การรบกวนของสัญญาณยังส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น บลูทูท (Bluetooth) หรืออุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยต่าง ๆ (Security Device)

การรบกวนของสัญญาณและปัญหาสัญญาณมาจากหลายทิศทาง (Multipath Problem) อาจทำให้ข้อมูลสูญหาย อุปกรณ์ตัวส่งที่ทำงานตามมาตรฐาน 802.11 แก้ปัญหานี้โดยเพิ่มกำลังส่งสัญญาณมากขึ้น (แทนที่จะลดกำลังส่งลง) ทั้งนี้เพื่อที่จะเพิ่มค่า Signal to noise Ratio (SNR) ซึ่งเป็นผลให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณกับอุปกรณ์บริเวณใกล้เคียงมากขึ้นไปอีก ซึ่งถ้าเหตุการณ์เดียวกันนี้เกิดในห้องเรียนขนาดใหญ่ที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก และมี AP หลายตัว AP แต่ละตัวก็จะเพิ่มกำลังส่ง ทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนกันอย่างมากขึ้นอีก งานนิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการ

ควบคุมอัตรากำลังส่งสัญญาณ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงประเภทและตำแหน่งของสายอากาศ โดยมุ่งหวังที่จะลดการรบกวนของสัญญาณ

ชุดช่องสัญญาณที่เหมาะสมต่อการใช้งานอุปกรณ์โดยที่แต่ละช่องสัญญาณจะไม่รบกวนต่อกัน มีจำนวน 3 ช่อง (1, 6, 11) ที่มา (CISCO, 2017)



ภาพที่ 2-9 ชุดช่องสัญญาณที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

(ที่มา: CISCO, 2007)

2.6 ปัจจัยด้านราคาของแนวทางการจัดการเครือข่ายไร้สายภายในห้องเรียนขนาดใหญ่

สำหรับแนวทางการจัดการเครือข่าย Wi-Fi ภายในห้องเรียนขนาดใหญ่ในปัจจุบัน พบว่ายังคงมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง (ราคา ณ วันที่ 29 เมษายน พ.ศ.2560) โดยตัวอย่างราคาของแนวทางการจัดการเครือข่ายไร้สายภายในห้องเรียนขนาดใหญ่สำหรับผู้ใช้งานจำนวน 100 คน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2-2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2-2 ค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดการเครือข่ายไร้สายภายในอาคาร

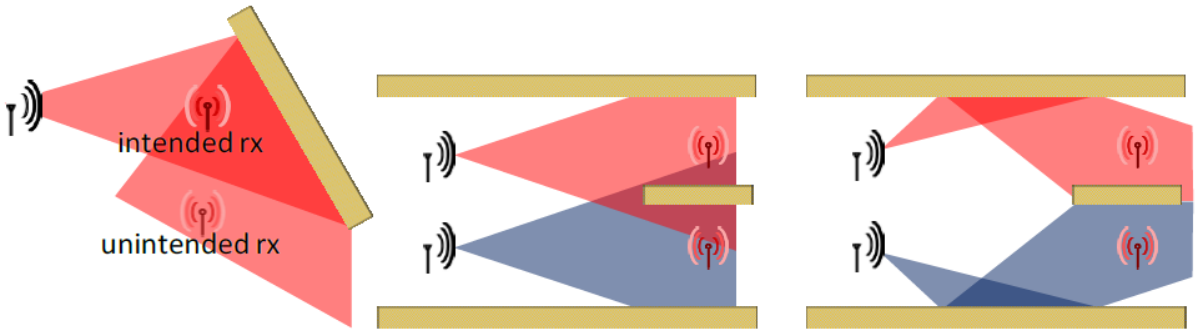
ที่	ยี่ห้อ	รายละเอียด	จำนวน	ราคา
1	Aruba	1.1 HPE Aruba Controller 7005 (RW) 16 AP Branch JW633A 1.2 HPE Aruba Wireless IAP-103 (RW) Instant 2x2:2 11n AP JW190A 1.3 ค่าธรรมเนียมรายปีเพื่อบำรุงรักษา	1 2	47,000 11,350 (x2) 1x,xxx
		ค่าใช้จ่ายรวมโดยประมาณ	**ประมาณ 80,000 บาท**	
2	Ruckus	1.1 RUCKUS ZoneDirector 1200, licensed for up to 5 ZoneFlex Access Points 1.2 RUCKUS [Unleashed] R600 dual-band 802.11abgn/ac Wireless Access Point, 3x3:3 RK-9U1-R600-WW00 1.3 ค่าธรรมเนียมรายปีเพื่อบำรุงรักษา	1 2	39,000 28,000 (x2) 1x,xxx
		ค่าใช้จ่ายรวมโดยประมาณ	**ประมาณ 100,000 บาท**	
3	Ubiquiti	UAP-AC-HD	**ประมาณ 20,000 บาท**	
4		*แนวทางการจัดการเครื่องข่ายในห้องเรียนขนาดใหญ่ที่ทำการศึกษา ASUS RT-N12 (x10)	1 ชุด	
		ค่าใช้จ่ายรวมโดยประมาณ	**ประมาณ 10,000 บาท**	

(ที่มา: ITK-Connecting Co.,Ltd., 2017 และ Sys2u, 2017)

จากตารางที่ 2-2 พอจะเปรียบเทียบให้เห็นได้ว่าแนวทางการจัดการเครื่องข่ายในห้องเรียนขนาดใหญ่ที่ทำการศึกษานั้น สามารถลดค่าใช้จ่ายขององค์กรได้อย่างน้อย 2 ถึง 10 เท่า ดังนั้นแนวทางที่ผู้จัดทำนิพนธ์ทำการศึกษานี้ จึงมีความเหมาะสมสำหรับองค์กรขนาดเล็ก

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้สายอากาศสำหรับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

การใช้สายอากาศอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ ความหนาแน่นของข้อมูล (Traffic Density) และ การผันแปรเชิงมุมของการรบกวนของสัญญาณ (หรือที่เรียกว่า Angular Variability of Interference) ซึ่งขึ้นกับ ความกว้างและจำนวนเส้นทางการกระจายสัญญาณของสายอากาศ (Antenna Beamwidth และ Multipath) นอกจากนี้ การจัดตำแหน่งทิศทางทางสายอากาศให้เหมาะสมก็มีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สาย เนื่องจากจะช่วยลดการรบกวนของสัญญาณ โดยภาพที่ 2-11 a แสดงถึงการรบกวนของสัญญาณจาก AP โดยไม่ตั้งใจ และภาพที่ 2-11 b แสดงถึงการสะท้อนของสัญญาณโดยมีการจัดตำแหน่งทิศทางของสายอากาศที่เหมาะสม นอกจากนี้ Akella et al. (2005) ยังกล่าวว่าการจัดการกำลังส่ง (Power transmission) ให้เหมาะสมจะส่งเสริมให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อดีขึ้น เนื่องจากการรบกวนของสัญญาณลดลง งานนิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการใช้สายอากาศให้เหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาสัญญาณเครือข่าย Wi-Fi ภายในห้องเรียนขนาดใหญ่ ซึ่งสอดคล้องต่อผลการวิจัยของ Liu et al. (2011) ที่ได้ทำการศึกษาเครือข่ายไร้สายภายในมหาวิทยาลัยและองค์กร



(a) Downside (cause unintended interference) (b) Upside (alternative path to improve spatial reuse)

ภาพที่ 2-10 ตำแหน่งของสายอากาศและการรบกวนของสัญญาณไร้สาย

(ที่มา: Lui et al., 2011)

ในปี 2011 Liu และคณะฯ สรุปว่าการวางแผนการจัดการเครือข่ายในอาคารให้มีประสิทธิภาพ ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ประกอบด้วย 3 ประเด็นที่สำคัญได้แก่ ความคุ้มค่า, ชนิดของสายอากาศ, และสถานที่ในการวางสายอากาศ

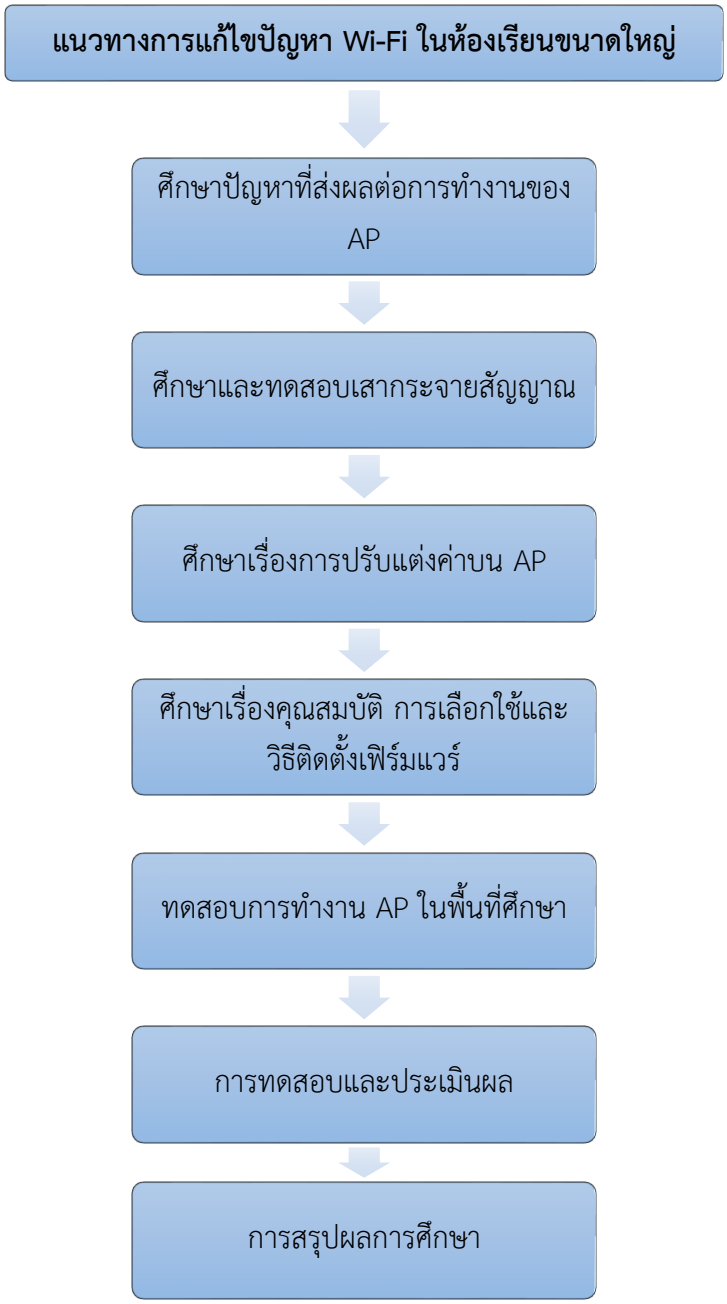
Liu (2009) ได้มีการศึกษาการใช้สายอากาศแบบทิศทางเดียวในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยการติดตั้ง AP ต้องมีความเหมาะสมในการจัดการกับการกระจาย และเส้นทางการกระจายสัญญาณ

Liu (2010) ได้สำรวจวิธีออกแบบสายอากาศแบบทิศทางเดียวเพื่อใช้ภายในอาคาร โดยเน้นศึกษาที่วิธีการตั้งค่าและวิธีควบคุมสายอากาศ จากผลการศึกษาพบว่า สายอากาศแบบทิศทางเดียวซึ่งถูกติดตั้งที่ AP และ Client สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายได้ และ ไม่มีความจำเป็นต้องใช้สายอากาศจำนวนมากก็สามารถปรับปรุงความเร็ว ความง่ายในการใช้งาน และความจุของเครือข่ายได้

จากการศึกษาเอกสารข้างต้นพอจะสรุปได้ว่า การจัดการเรื่องการกระจายสัญญาณ Wi-Fi ในพื้นที่จำกัดนั้นพบว่า การกระจายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพประกอบด้วยปัจจัยหลัก ๆ สรุปได้ดังนี้ 1) การติดตั้ง, 2) การกำหนดการตั้งค่า และ 3) การควบคุมทิศทางของสายอากาศที่เหมาะสม ซึ่งผู้จัดทำงานนิพนธ์จะนำปัจจัยดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ อย่างไรก็ตามงานนิพนธ์นี้มีความแตกต่างจากงานข้างต้น โดยที่ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้เน้นเกี่ยวกับการจัดการ ได้แก่ 1) กำลังกระจายสัญญาณ, 2) ACK Timing, 3) การกำหนดเสาส่งสัญญาณ, และ 4) จำนวนผู้ใช้งานที่เหมาะสมต่อ AP

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาปัญหาที่ส่งผลต่อการทำงานของ AP

ผู้จัดทำงานนิพนธ์รวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาพัฒนาแนวทางการติดตั้งรวมไปถึงการกำหนดค่าต่าง ๆ บนตัว AP จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายภายในห้องเรียนขนาดใหญ่ พบว่าประกอบด้วยปัจจัยหลักจำนวน 2 ด้าน คือ การกระจายสัญญาณของตัว AP และการตั้งค่าให้กับ AP ให้เหมาะสม นอกจากนี้ยังพบว่าตำแหน่งของการติดตั้ง AP นั้นส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว

3.2 การศึกษาและทดสอบเสากระจายสัญญาณ

3.2.1 การศึกษาและทดสอบเพื่อเลือกประเภทของเสาอากาศที่จะนำมาใช้ในการศึกษา

จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า เสาอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนั้นมีจำนวน 2 ประเภทหลัก คือ แบบรอบทิศทาง (Omni-Directional) และ แบบทิศทางเดียว (Directional) โดยผู้จัดทำงานนิพนธ์เลือกอุปกรณ์และวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบเสาอากาศ

1. AP รุ่น Linksys WRT54G V.2

2. เสากระจายสัญญาณแบบรอบทิศทาง (Omni Antenna: Default Antenna) กำหนดความแรงของสัญญาณระยะ 10 เมตร (สำหรับรับสัญญาณ)

3. เสากระจายสัญญาณแบบทิศทางเดียว (Directional Antenna) กำหนดความแรงของสัญญาณระยะ 10 เมตร (สำหรับส่งสัญญาณ)

4. โปรแกรม Wi-Fi Analyzer

วิธีการทดสอบ

1. ใส่เสาอากาศแบบ Omni วัดระยะจาก AP ห่างออกไป 10 เมตร แล้วเดินเก็บค่าในมุม 0 45 90 135 180 225 270 315 องศา

2. ใส่เสาอากาศแบบ Directional แล้วจัดเสาตรงไปข้างหน้า วัดระยะจาก AP ห่างออกไป 10 เมตร แล้วเดินเก็บค่าในมุม 0 45 90 135 180 225 270 315 องศา

3. การเก็บค่าจะทำการเก็บจากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ในแต่ละจุดภายใน 1 นาที

3.2.2 การทดสอบความแรงของสัญญาณกับการเปลี่ยนค่า Power Transmission

จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าค่า Power Transmission มีผลต่อความแรงของสัญญาณ ผู้จัดทำงานนิพนธ์จึงใช้วิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

วิธีการทดสอบ

1. เตรียม AP ที่ติดตั้งเฟิร์มแวร์ Tomato เพื่อจะกำหนดค่า Power Transmission

2. เริ่มทำการทดสอบโดยการวัดค่าจาก AP ห่างออกไป 10 เมตร โดยเริ่มจากการกำหนดค่าให้ Power Transmission เท่ากับ 1 35 70 100 150 200 mW

3. รอให้ค่า Power Transmission เสถียรเป็นเวลา 1 นาทีก่อนที่จะเริ่มทำการเก็บค่า

4. การเก็บค่าจะทำการเก็บจากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ภายใน 5 นาที

3.2.3 การทดสอบฉนวนลดทอนสัญญาณ (Foil) จากตัวเสาอากาศของ AP

จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า ฉนวนลดทอนสัญญาณมีประสิทธิภาพในการลดความแรงของสัญญาณได้ จึงกำหนดให้การวัดค่าห่างตัว AP ในระยะ 10 เมตร จากนั้นทำการวัดค่าที่มุมตรงกับตัวเสาสัญญาณ ผู้จัดทำงานนิพนธ์จึงใช้วิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

วิธีการทดสอบ

1. เตรียม AP โดยนำ Foil มาหุ้มที่บริเวณตัวเสาอากาศของ AP

2. เริ่มทำการทดสอบโดยการวัดค่าจาก AP ห่างออกไป 10 เมตร โดยมีการเพิ่ม Power Transmission เท่ากับ 1 35 70 100 150 200 mW

3. รอให้ค่า Power Transmission เสถียรเป็นเวลา 1 นาทีก่อนที่จะเริ่มทำการเก็บค่า

4. การเก็บค่าจะทำการเก็บจากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ภายใน 5 นาที

3.3 การศึกษาเรื่องการปรับแต่งค่าบน AP

การปรับแต่งการตั้งค่าของตัว AP เพื่อให้เป็นไปตามที่ต้องการใช้งาน โดยจากเฟิร์มแวร์ของ AP (TOMATO , DD-WRT) จะมีหัวข้อการตั้งค่าหลัก ๆ เกี่ยวกับการกระจายสัญญาณไร้สายอยู่ดังนี้

3.3.1 Basic Wireless (การตั้งค่าไร้สายเบื้องต้น)

เมนูการตั้งค่าพื้นฐานทั่วไปของสัญญาณไร้สาย

1) Enable Wireless

เลือกไว้เพื่อเปิดการใช้งานสัญญาณไร้สาย

2) MAC Address

แสดงหมายเลขแมคของตัว AP

3) Wireless Mode

แสดงตัวเลือกโหมดการทำงานไร้สาย โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ตัวเลือกและรายละเอียดโหมดการทำงานไร้สาย (Wireless Mode)

การเลือกโหมดการทำงาน	
ตัวเลือก	**รายละเอียด**
Access Point	เป็นการทำงานเบื้องต้นที่อนุญาติให้ผู้ใช้เชื่อมต่อมายัง AP
Access Point + WDS	เป็นการทำงานเบื้องต้นที่อนุญาติให้ผู้ใช้เชื่อมต่อมายัง AP ในขณะเดียวกันก็ทำงานเป็นฐานการกระจายสัญญาณไร้สาย (Wireless Distribution System) ระหว่างอุปกรณ์ด้วยกัน
Wireless Client	ทำหน้าที่รับสัญญาณไร้สายจากตัว AP อื่นๆ
Wireless Ethernet Bridge	ทำหน้าที่เป็น Bridge เชื่อมต่อกับเกตเวย์ตัวอื่น
WDS	ทำหน้าที่เป็นฐานกระจายสัญญาณไร้สายเพียงอย่างเดียว

หมายเหตุ: หากเปิดใช้งานโหมด Wireless Ethernet Bridge หรือ Wireless Client จะไม่สามารถใช้งานโหมด AP ได้

4) B/G Mode

เป็นการเลือกการใช้งานโหมดไร้สาย 802.11b หรือ 802.11g แนะนำว่าให้เลือกเป็นโหมดอัตโนมัติ เพราะถ้าเลือก 802.11b หรือ 802.11g อาจจะมีปัญหากับบางอุปกรณ์ที่ไม่รองรับ

5) SSID

เป็นการระบุชื่อของ AP ช่วยให้สามารถระบุตัวตนของ AP ให้แตกต่างจากตัวอื่น

6) Broadcast

เป็นการเลือกว่าจะให้แสดง SSID ของตัว AP หรือไม่ เพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อ

7) Channel

ช่วงสัญญาน 2.4xx Ghz เป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานโดย AP โดยนับเป็นช่องตั้งแต่ 1-14 (2.412 - 2.484 GHz). มีข้อน่าสนใจหลายอย่างเกี่ยวกับตัวช่องสัญญาณ เช่น ตัว AP ส่วนใหญ่จะตั้งค่าไว้ที่ช่อง 6 หรือ 11 อีกทั้งผู้ใช้งานทั่วไปไม่เคยเปลี่ยน ส่วนช่องสัญญาณที่ 14 มีการห้ามใช้ในหลายๆประเทศ (ช่องที่ 11 -14 ถูกห้ามในทวีปอเมริกาเหนือ)

ปุ่ม scan เอาไว้สำหรับตรวจสอบช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะแสดงรายละเอียดน้อย ถ้าหากต้องการตรวจสอบ และต้องการผลอย่างละเอียดให้เลือกที่เมนู

Tools -> Wireless Survey โดยการใช้งาน AP จะตรวจสอบอุปกรณ์โดยรอบแล้วแสดงผลว่ามีอุปกรณ์ใดใช้ช่องสัญญาณไหน โดยปกติแล้วควรจะเลือกช่องสัญญาณที่ไม่มีผู้ใช้งาน

8) Security

เมนูการตั้งค่าความปลอดภัยของเครือข่ายไร้สาย

Disabled หมายถึง การเชื่อมต่อทั้งหมดจะไม่มีการเข้ารหัสใด และทุกคนสามารถเข้าถึงได้

WEP (Wired Equivalent Privacy) เป็นวิธีที่ใช้กันนานแล้วเป็นการเข้ารหัสอย่างง่าย ปัจจุบันไม่นิยมใช้งานแล้ว

WPA personal/enterprise (WPA = Wi-Fi Protected Access) มีความปลอดภัยขึ้นมากกว่า WEP สามารถถูกทำการถอดรหัสได้อยู่ แต่ยากขึ้นกว่าแบบ WEP

WPA2 personal/enterprise เป็นมาตรฐานที่ถูกปรับปรุงจาก WPA ให้มีความปลอดภัยมากขึ้น ซึ่งถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ใหม่ๆ ในปัจจุบัน

Radius (Remote Authentication Dial In User Service) เป็นโหมดเลือกให้มีการเชื่อมต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายภายนอก เพื่อขออนุญาตการเชื่อมต่อ โดยเครื่องแม่ข่ายตัวนั้นจะมีการเก็บรหัสผ่านของผู้ใช้งานแต่ละคนเอาไว้

หมายเหตุ: ความปลอดภัยอาจจะสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้เล็กน้อยจากการกำหนดผู้ใช้งาน จากเมนูการตั้งค่าระดับสูง **Advanced --> Wireless -> "Maximum Clients"**

3.3.2 การตั้งค่าไร้สายระดับสูง (Advance Wireless)

สำหรับรายละเอียดการตั้งค่าไร้สายระดับสูงมีดังต่อไปนี้ (TomatoUSB, 2017)

1) Afterburner: Broadcom Afterburner เป็นมาตรฐานในการเพิ่มประสิทธิภาพของ 802.11g เพื่อให้มีความเร็วสูงขึ้นสำหรับเครือข่ายภายใน ในขณะเดียวกันก็ยังคงรองรับมาตราฐาน 802.11b/g ซึ่งเมื่อเปิดใช้งานจะได้ความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 125Mbps

2) AP Isolation: เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานสำหรับพื้นที่สาธารณะ เมื่อ AP Isolation ถูกเปิด Client (ที่ต่อกับ AP เดียวกัน) จะส่งข้อมูลไปที่ Gateway ได้อย่างเดียวส่ง Client ด้วยกันไม่ได้

3) Authentication Type: เลือกโหมดของรหัสที่ผู้ใช้งานต้องกรอกก่อนที่จะเชื่อมต่อ เช่น WPA WEP

4) Basic Rate: กำหนดค่าความเร็วของการเชื่อมต่อ

5) Beacon Interval: กำหนดระยะเวลาของการส่งสัญญาณ Beacon ของ AP มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

6) CTS Protection Mode: เมื่อทำการเปิดใช้งานอัตโนมัติ จะทำให้มั่นใจว่าอุปกรณ์จำพวก 802.11b สามารถใช้งานได้เมื่อมีอุปกรณ์จำพวก 802.11g เป็นจำนวนมากในระบบ

7) Country / Region: กำหนดภูมิภาคที่ใช้งานเพื่อให้ตัว AP ใช้กำลังการส่งสัญญาณตามพื้นที่เหล่านั้นโดยไม่ผิดต่อกฎหมาย

8) Bluetooth Coexistence: AP จะพยายามรักษาการเชื่อมต่อทั้งด้านการกระจายสัญญาณไร้สายและบลูทูธให้เหมาะสม เมื่อมีการใช้งานจากทั้งสองระบบ

9) Distance / ACK Timing: เป็นการกำหนดค่าที่อุปกรณ์ต่างๆจะมาทำการเชื่อมต่อให้อยู่ภายในระยะที่ต้องการได้โดยมีหน่วยเป็นเมตร (ใส่เป็น 0 เพื่อปิดการใช้งาน)

10) DTIM Interval: กำหนดระยะเวลาเป็นมิลลิวินาทีในแต่ละช่วงของการส่งข้อความบรอดคาสจากตัว AP ออกไปซึ่งจะเป็นการบอกให้อุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่ออยู่และอยู่ในโหมดประหยัดพลังงานว่า เมื่อไรจะมีการส่งข้อความบรอดคาสออกไปอีก

11) Fragmentation Threshold: กำหนดขนาดของแพคเกจมีหน่วยเป็น ไบต์ ก่อนที่ตัว AP จะทำการแบ่งเป็นอันต่อไป

12) Frame Burst: เพิ่มขนาดประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อแต่มีข้อจำกัดที่การเชื่อมต่อควรจะน้อยกว่าสามเครื่อง

13) Maximum Clients: กำหนดจำนวนอุปกรณ์ที่จะมาเชื่อมต่อกับ AP

14) Multicast Rate: กำหนดค่าของสัญญาณการเชื่อมต่อสำหรับมัลติคาส

15) Preamble: เลือกการกำหนดค่าเป็น Long กับ Short สำหรับอุปกรณ์ 802.11b โดย Short จะเพิ่มประสิทธิภาพได้มากกว่าแต่มีบางอุปกรณ์ 802.11b ไม่รองรับจึงต้งเลือกเป็น Long

16) RTS Threshold: กำหนดขนาดของแพคเกจต่ำสุดเป็นไบต์ของข้อมูล Request To Send (ซึ่งปกติไม่จำเป็นต้องกำหนด)

17) Receive Antenna: กำหนดว่าเสาอากาศฝั่งไหนเป็นตัวรับสัญญาณ ใช้ในกรณีที่มีการเปลี่ยนเสาอากาศจากปกติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเสาอากาศ

18) Transmit Antenna: กำหนดว่าเสาอากาศฝั่งไหนเป็นตัวส่งสัญญาณ ใช้ในกรณีที่มีการเปลี่ยนเสาอากาศจากปกติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเสาอากาศ

19) Transmit Power: กำหนดค่าความแรงของสัญญาณมีหน่วยเป็นมิลลิวัตต์

- ค่ามาตรฐานของตัว Tomato อยู่ที่ 42 มิลลิวัตต์
- การตั้งความแรงของสัญญาณที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนภายใน AP ได้
- ค่าความแรงที่สูงขึ้นส่งผลต่ออายุการใช้งานของ AP ถ้าหากร้อนมากเกินไป

3.4 การศึกษาคุณสมบัติ การเลือกใช้และวิธีติดตั้งเฟิร์มแวร์

จากการศึกษาพบว่า การกระจายสัญญาณของแต่ละ AP ในบริเวณใกล้เคียงกันส่งผลกระทบต่อกันในด้านข้อมูลที่ชนกัน ผู้จัดทำงานนิพนธ์จึงได้ทำการศึกษาต่อในเรื่องช่องความถี่ของตัว AP ความถี่ของสัญญาณที่กระจายออกมาจะมีช่องความถี่ที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งช่องสัญญาณที่ใกล้กันเมื่ออยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันจะส่งผลทำให้ข้อมูลชนกันได้ ผู้จัดทำงานนิพนธ์จึงได้เลือกใช้ช่องสัญญาณในแต่ละ AP ให้แตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะ AP ที่อยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกันจะมีการเว้นช่องสัญญาณที่ห่างกัน เพื่อไม่ให้ความถี่ของช่องสัญญาณทับซ้อน

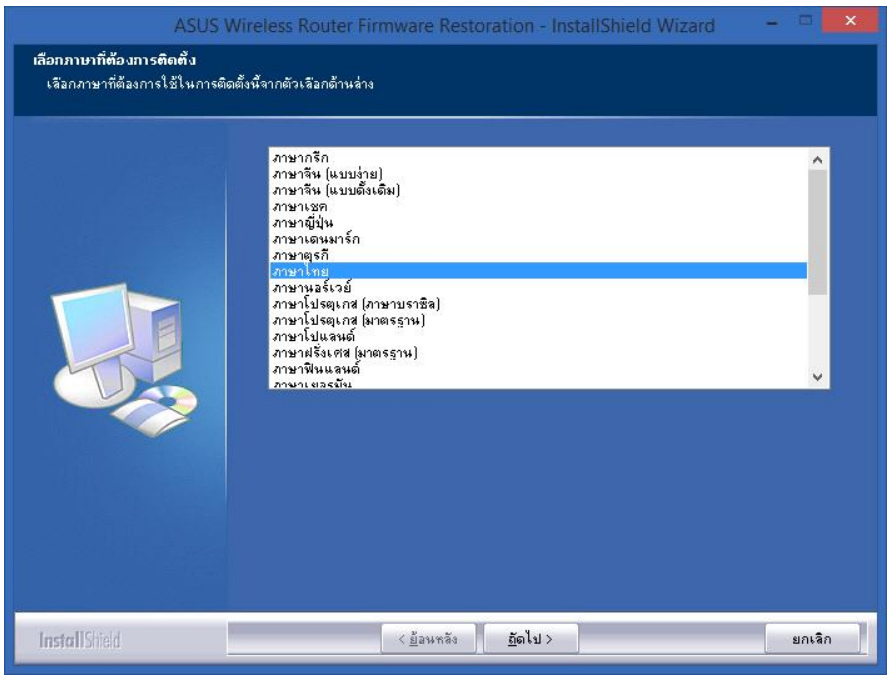
จากปัญหาดังกล่าว การเลือกใช้เฟิร์มแวร์ที่เหมาะสม สามารถช่วยลดระยะการกระจายสัญญาณได้โดยการปรับค่าใน AP ให้มีกำลังส่งลดลง ซึ่งส่งผลให้ระยะของการกระจายสัญญาณสั้นลง ทำให้สะดวกต่อการกำหนดกลุ่มผู้ใช้งานให้อยู่เฉพาะภายในบริเวณที่กำหนดไว้ โดยความแรงของสัญญาณจะสูงเมื่ออยู่ในบริเวณที่กำหนดไว้เท่านั้น เฟิร์มแวร์ที่เหมาะสมจะมีคุณสมบัติในการควบคุมการทำงานของ AP เช่น การกำหนดความแรงของสัญญาณ การจำกัดจำนวนผู้ใช้ และค่าใช้จ่ายในการใช้เฟิร์มแวร์ดังกล่าว

จากการศึกษาพบว่า มีเฟิร์มแวร์ที่สามารถใช้งานโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายและตรงต่อความต้องการในการกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับ AP อยู่ 3 บริษัท ได้แก่ DD-WRT, OpenWRT และ TOMATO อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้เลือกใช้เฟิร์มแวร์ DD-WRT และTOMATO ในการทดสอบ เนื่องจากผู้จัดทำงานนิพนธ์สามารถปรับแต่งได้อย่างอิสระตามต้องการ นอกจากนี้เฟิร์มแวร์ OpenWRT นั้นมีจำนวนรุ่นที่มากเกินไป อีกทั้งมีแนวโน้มในการพัฒนาที่เริ่มลดน้อยลง สำหรับขั้นตอนการติดตั้งเฟิร์มแวร์นั้นมีดังต่อไปนี้

3.4.1 ขั้นตอนการติดตั้ง โปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility

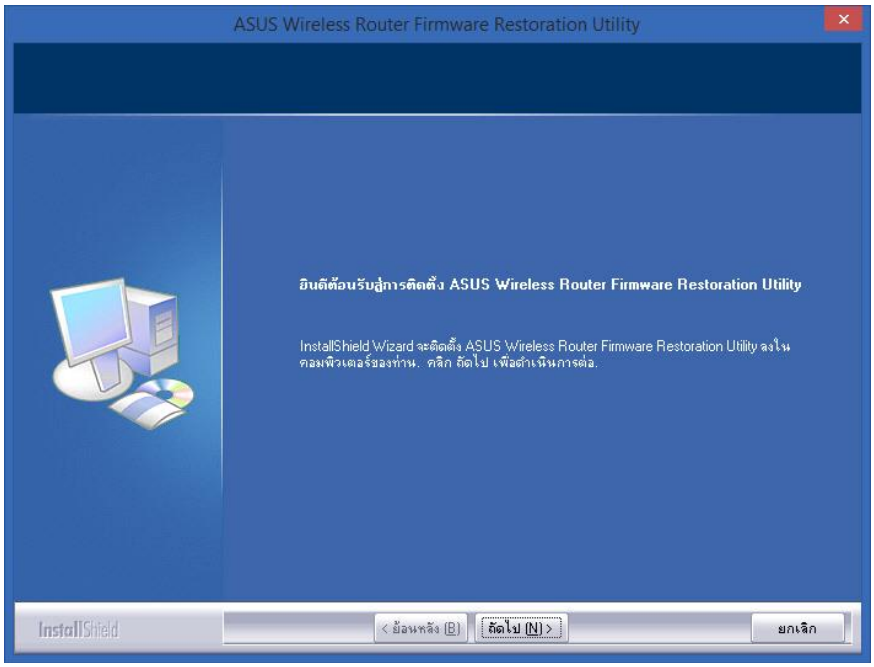
1. ดับเบิ้ลคลิ๊กที่ไฟล์ rescue.exe
2. เลือกภาษาที่ต้องการติดตั้ง

เลือก ภาษาไทย จากนั้นกดปุ่ม “ถัดไป”



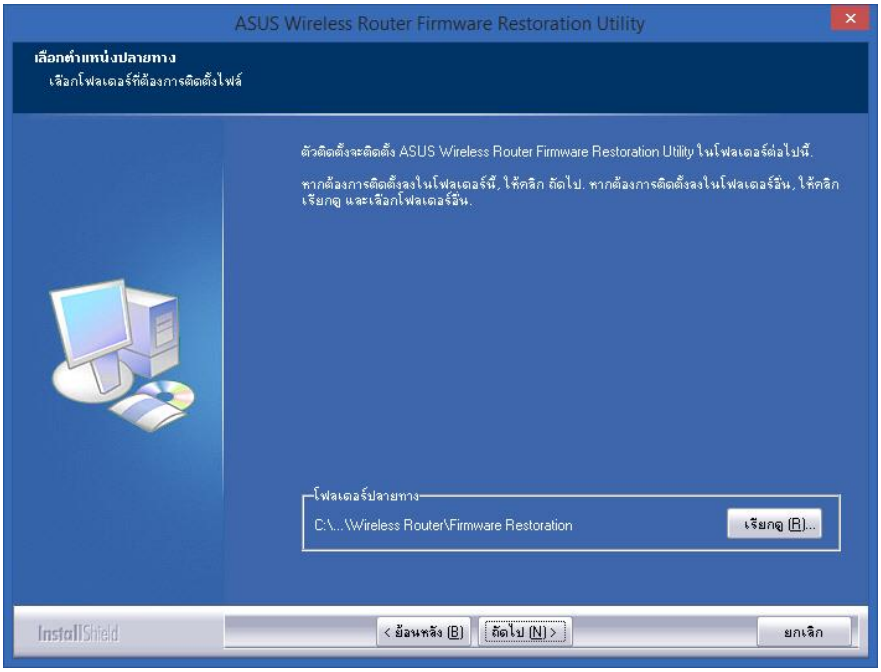
ภาพที่ 3-2 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (1/5)

3. เข้าสู่หน้าจอการติดตั้ง จากนั้น กดปุ่ม “ถัดไป”



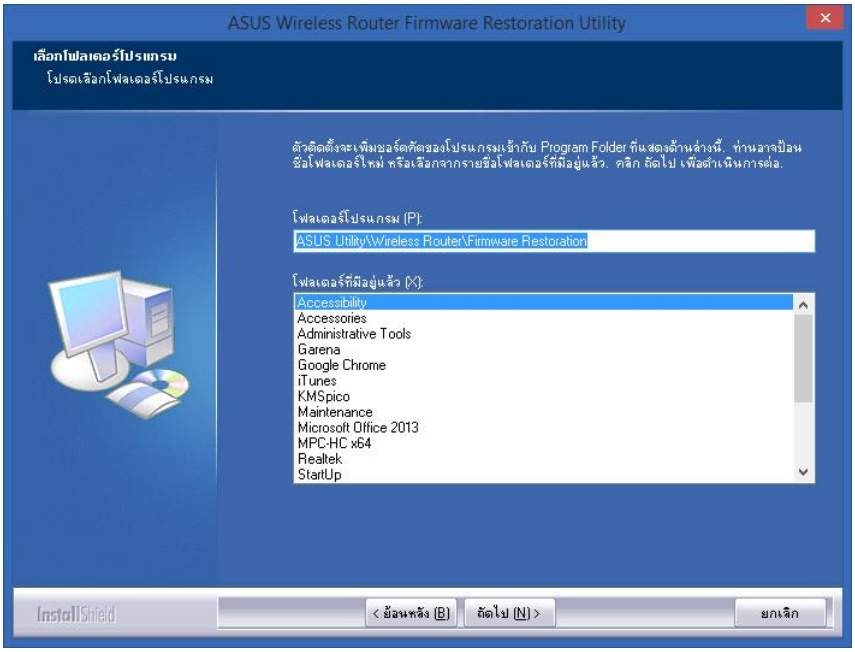
ภาพที่ 3-3 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (2/5)

4. เลือกสถานที่ ที่ต้องการติดตั้งโปรแกรม หลังจากนั้นกดปุ่ม “ถัดไป”



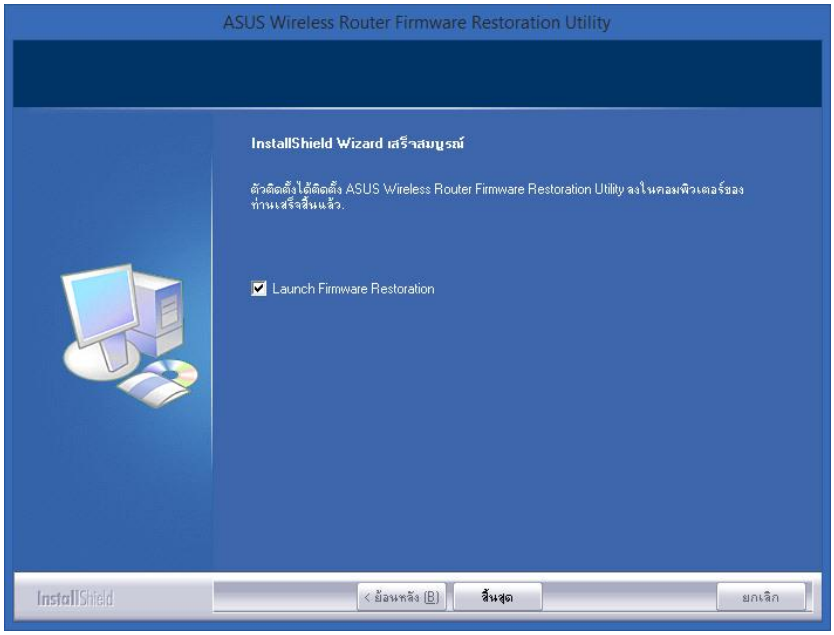
ภาพที่ 3-4 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (3/5)

5. เลือกโฟลเดอร์โปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม “ถัดไป”



ภาพที่ 3-5 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (4/5)

6. กดปุ่ม “สิ้นสุด”



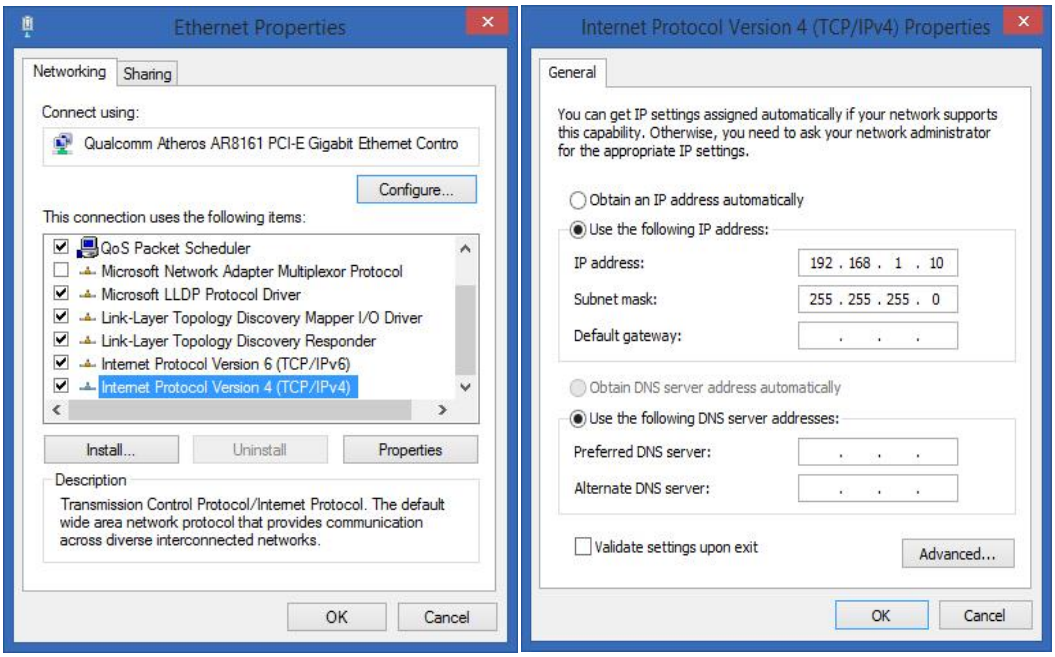
ภาพที่ 3-6 การติดตั้งโปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility (5/5)

3.4.2 ขั้นตอนการติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1

1. ดาวน์โหลดเฟิร์มแวร์จาก www.dd-wrt.com โดยเลือกใช้ให้ตรงกับอุปกรณ์ที่จะทำการติดตั้ง ในที่นี้เลือกใช้ dd-wrt.v24-18774_NEWD-2_K2.6_mini_RT-N12C1.trx

2. เชื่อมต่อสายแลนเข้าไปยังตัวอุปกรณ์ RT-N12 หลังจากทำการเชื่อมต่อแล้วไฟสถานะจะแสดงขึ้นมา

3. ทำการกำหนดค่าไอพีแอดเดรสเอง โดย ในที่นี้กำหนดค่าเป็น 192.168.1.10 /255.255.255.0



ภาพที่ 3-7 การกำหนดค่าไอพีแอดเดรสเอง (DD-WRT)

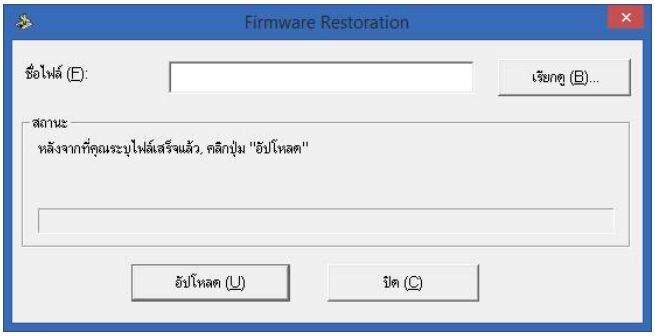
4. ทำการถอดปลั๊กจากตัวอุปกรณ์ RT-N12

5. กดปุ่มรีเซ็ทที่ด้านหลังเครื่องค้างไว้ แล้วจึงเสียบปลั๊กไฟ

ภาพที่ 3-8 แสดงด้านหลังอุปกรณ์ RT-N12

6. ตัวอุปกรณ์ RT-N12 จะเข้าสู่ “Rescue Mode” โดยสังเกตได้จากไฟสถานะจะกระพริบช้า ๆ

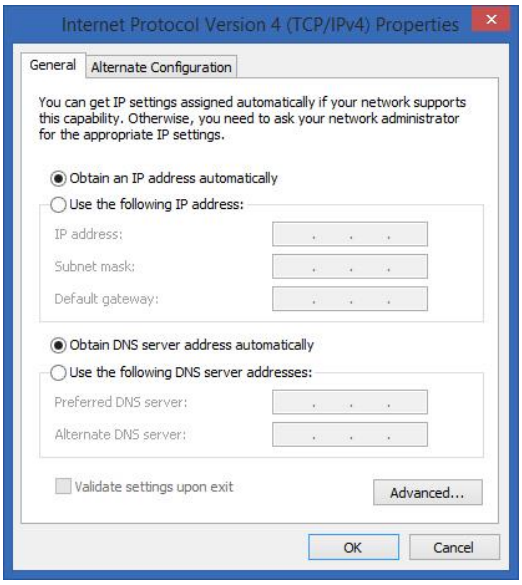
7. ใช้โปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility เพื่อทำการอัพโหลดเฟิร์มแวร์ที่ทำการดาวน์โหลดมาขึ้นไปยังตัวอุปกรณ์ RT-N12



ภาพที่ 3-9 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (1/4)

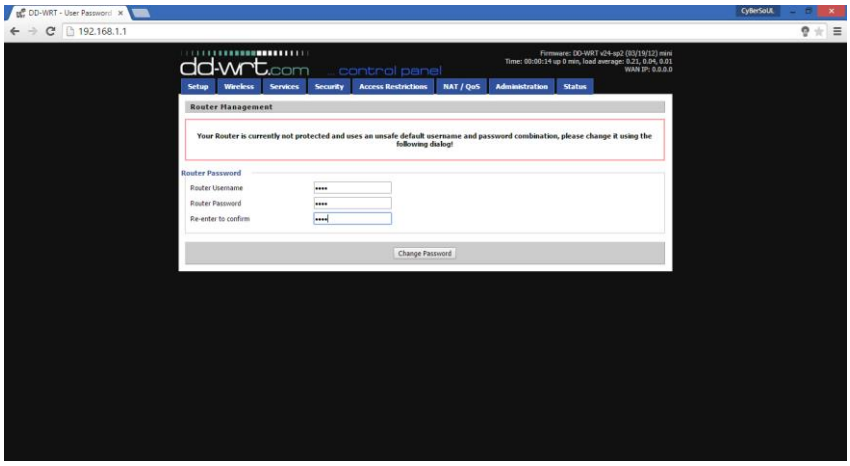
8. หลังจากเสร็จสิ้นการอัพโหลดตัวโปรแกรมจะให้รีบูตตัวอุปกรณ์ RT-N12 เพื่อความปลอดภัย หลังจากหน้าจอนี้ขึ้นมาควรทำการรอประมานหนึ่งนาที หลังจากนั้นให้ทำการถอดปลั๊กแล้วเสียบใหม่

9. ทำการแก้ไขค่าไอพีแอดเดรสจากกำหนดเองเป็นอัตโนมัติ



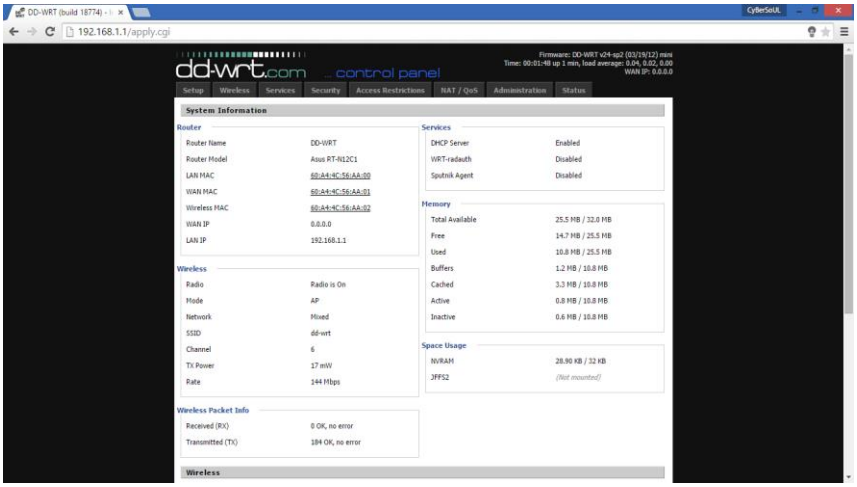
ภาพที่ 3-10 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (2/4)

10. พิมพ์ 192.168.1.1 บนเว็บบราวเซอร์เพื่อเข้าสู่การกำหนดค่าตัวอุปกรณ์ RT-N12 โดยกำหนดค่าผู้ใช้เป็น “root” และรหัสผ่านตามที่ต้องการ



ภาพที่ 3-11 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (3/4)

11. จะพบหน้าจอแสดงสถานะของตัวอุปกรณ์ ถือว่าติดตั้งสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว



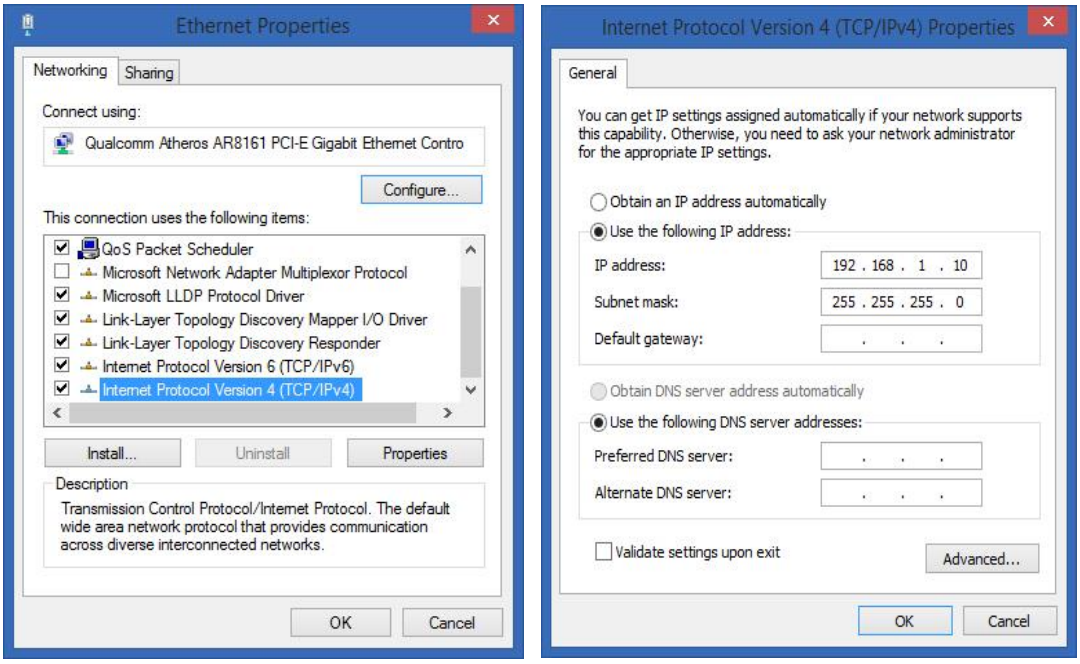
ภาพที่ 3-12 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ DD-WRT ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (4/4)

3.4.3 ขั้นตอนการติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1

1. ดาวน์โหลดเฟิร์มแวร์จาก tomato.groov.pl โดยเลือกใช้ให้ตรงกับอุปกรณ์ที่จะทำการติดตั้ง ในที่นี้เลือกใช้ tomato-K26-1.28.RT-N5x-MIPSR2-097-Max.trx

2. เชื่อมต่อสายแลนเข้าไปยังตัวอุปกรณ์ RT-N12 หลังจากทำการเชื่อมต่อแล้วไฟสถานะจะแสดงขึ้นมา

3. ทำการกำหนดค่าไอพีแอดเดรสเอง ในที่นี้กำหนดค่าเป็น 192.168.1.10 /255.255.255.0



ภาพที่ 3-13 การกำหนดค่าไอพีแอดเดรสเอง (TOMATO)

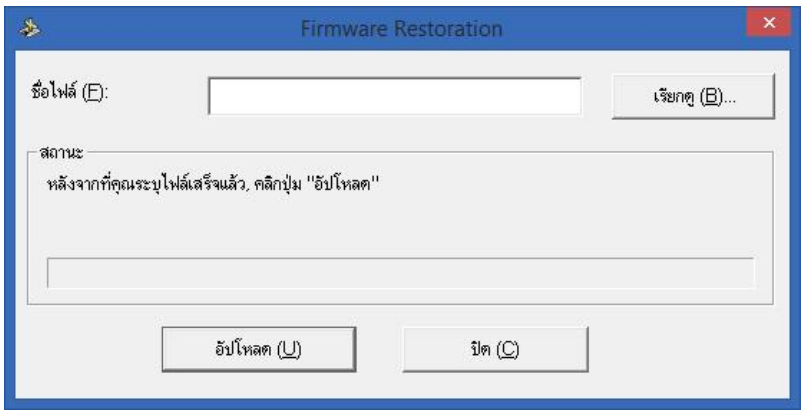
4. ทำการถอดปลั๊กจากตัวอุปกรณ์ RT-N12

5. กดปุ่มรีเซ็ทที่ด้านหลังเครื่องค้างไว้ แล้วจึงเสียบปลั๊กไฟ

ภาพที่ 3-14 แสดงด้านหลังอุปกรณ์ RT-N12

6. ตัวอุปกรณ์ RT-N12 จะเข้าสู่ “Rescue Mode” โดยจะสังเกตได้จากไฟสถานะจะกระพริบช้า ๆ

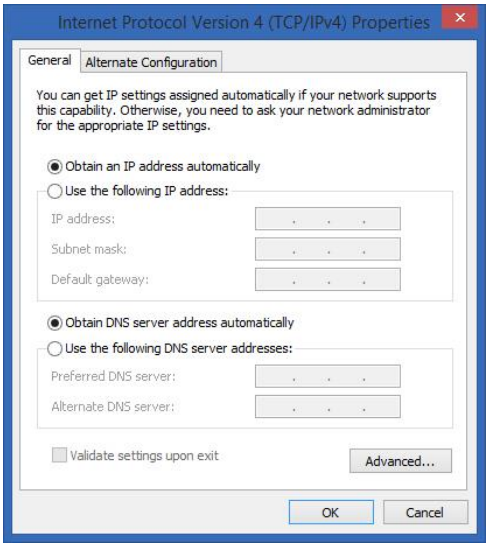
7. ใช้โปรแกรม Asus Firmware Restoration Utility เพื่อทำการอัพโหลดเฟิร์มแวร์ที่ทำการดาวน์โหลดมาขึ้นไปยังตัวอุปกรณ์ RT-N12



ภาพที่ 3-15 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (1/5)

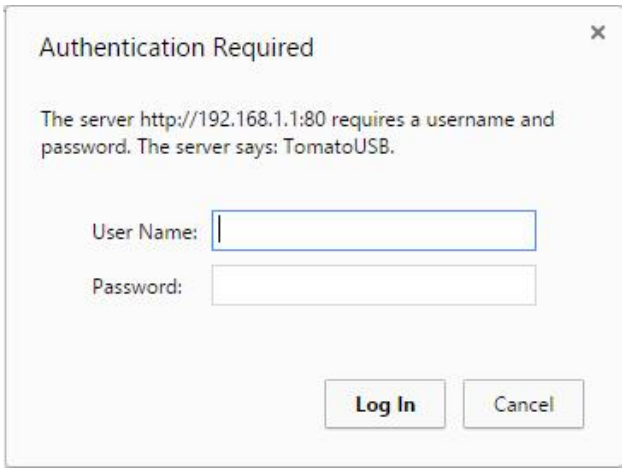
8. หลังจากเสร็จสิ้นการอัพโหลด ตัวโปรแกรมจะให้รีบูตตัวอุปกรณ์ RT-N12 เพื่อความปลอดภัย หลังจากหน้าจอนี้ขึ้นมาควรทำการรอประมานสามนาที หลังจากนั้นทำการถอดปลั๊กแล้วเสียบใหม่

9. ทำการแก้ไขค่าไอพีแอดเดรสจากกำหนดเองเป็นอัตโนมัติ



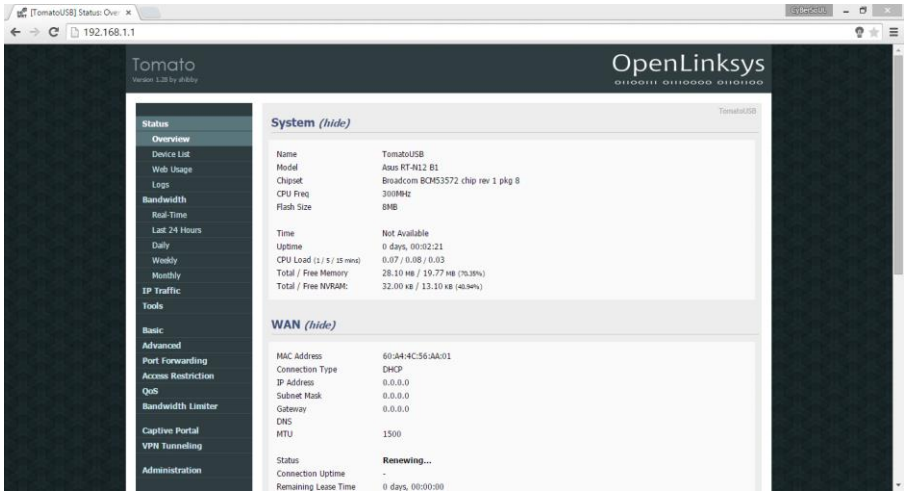
ภาพที่ 3-16 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ Tomato ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (2/5)

10. พิมพ์ 192.168.1.1 บนเว็บบราวเซอร์เพื่อเข้าสู่การกำหนดค่าตัวอุปกรณ์ RT-N12 โดยชื่อผู้ใช้งานตอนแรกจะเป็น “admin” รหัสผ่าน “admin”



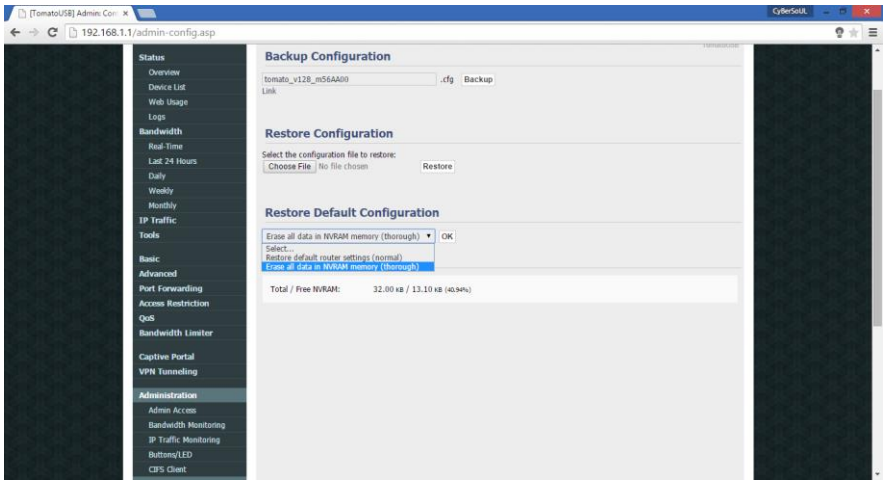
ภาพที่ 3-17 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (3/5)

11. จากนั้นจะพบหน้าจอแสดงสถานะของตัวอุปกรณ์ ถือว่าติดตั้งสมบูรณ์แล้ว



ภาพที่ 3-18 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (4/5)

12. หลังจากนั้นต้องทำการเคลียร์ NVRAM memory โดยเข้าที่เมนู Administration > Configuration > Restore Default Configuration > Erase all data in NVRAM



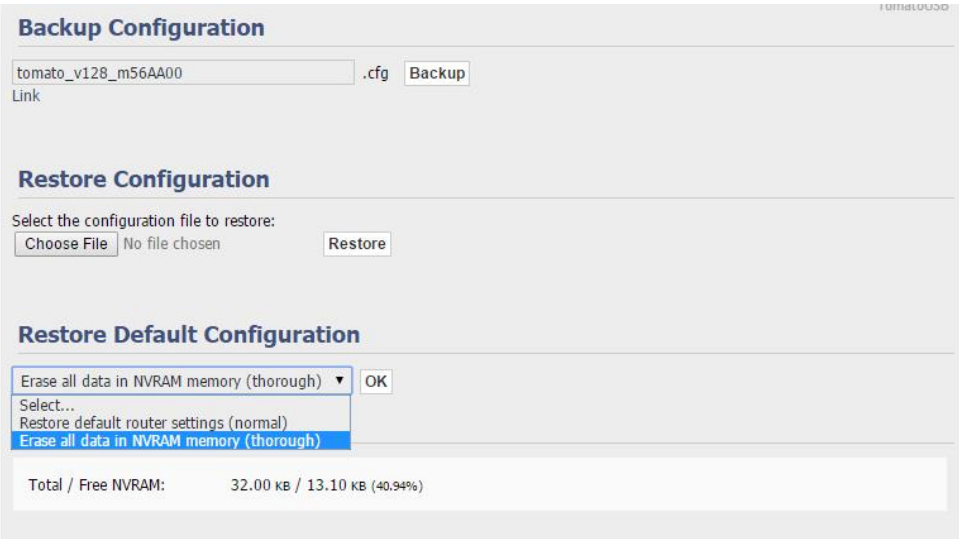
ภาพที่ 3-19 การติดตั้ง เฟิร์มแวร์ TOMATO ลงบน Asus RT-N12 Rev C1 (5/5)

13. หลังจากกดปุ่ม OK ตัวอุปกรณ์จะทำการรีบูตหนึ่งรอบเป็นอันติดตั้งเรียบร้อย

3.5 การทดสอบการทำงาน AP ในพื้นที่ศึกษา

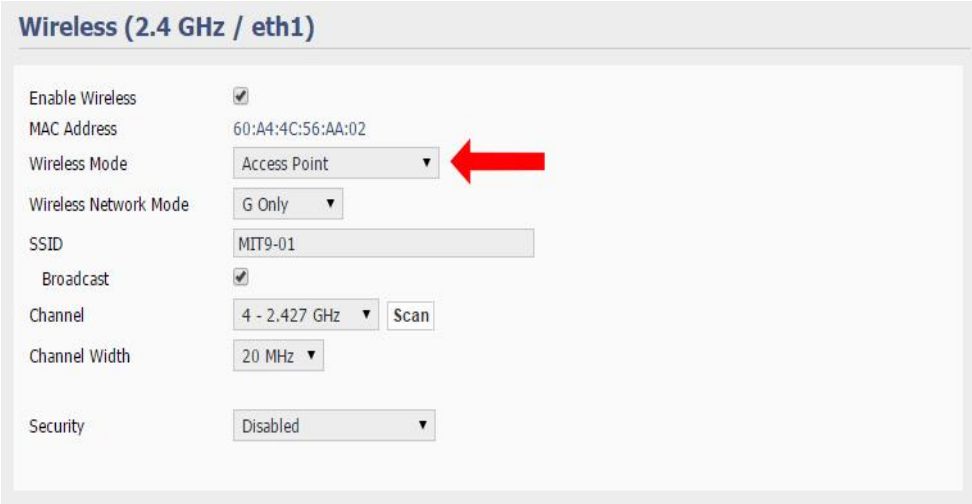
3.5.1 การกำหนดการตั้งค่าเบื้องต้นของ AP ครั้งที่ 1

3.5.1.1 ทำการคืนค่าอุปกรณ์ทุกตัวให้กลับสู่ค่าเริ่มต้น โดยเข้าที่เมนู Administration > Configuration > Restore Default Configuration > Erase all data in NVRAM



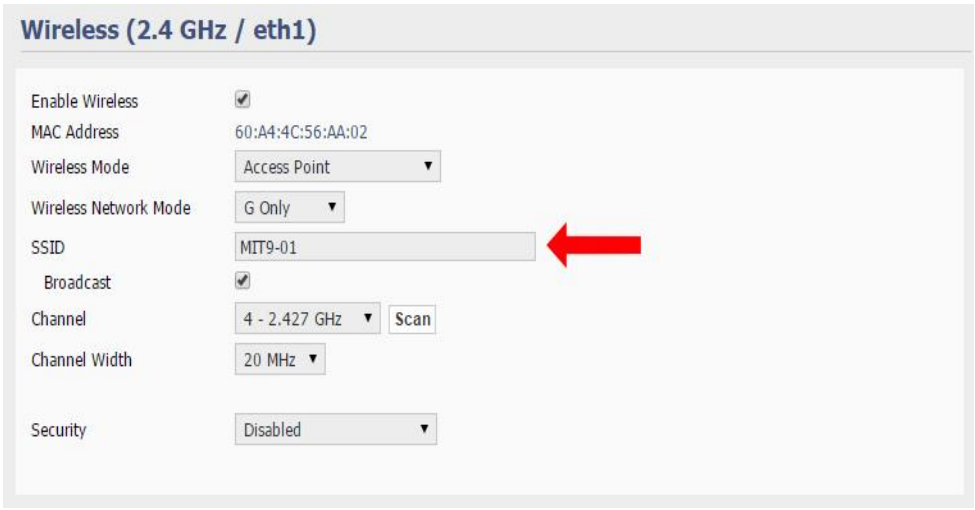
ภาพที่ 3-20 หน้าจอการคืนค่าอุปกรณ์ให้กลับสู่ค่าเริ่มต้น

3.5.1.2 ทำการกำหนดการทำงานของ AP เป็น ตัวกระจายสัญญาณไร้สายอย่างเดียว



ภาพที่ 3-21 หน้าจอการกำหนดการทำงานของ AP

3.5.1.3 ทำการกำหนดชื่อของตัว AP ให้เป็น "MIT9-01" จนถึง "MIT9-10"



ภาพที่ 3-22 หน้าจอการกำหนดชื่อของตัว AP

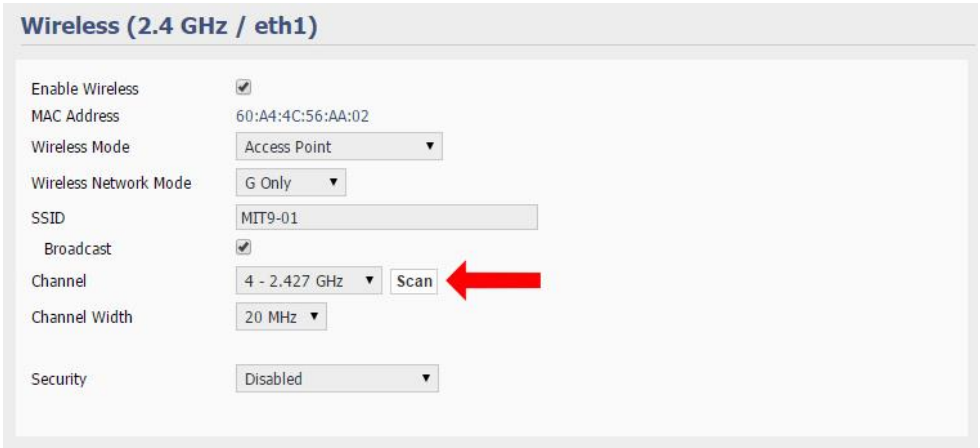
3.5.1.4 ทำการกำหนดช่องสัญญาณของตัว AP เป็น

ช่องที่ 1 จำนวน 3 อุปกรณ์

ช่องที่ 6 จำนวน 4 อุปกรณ์

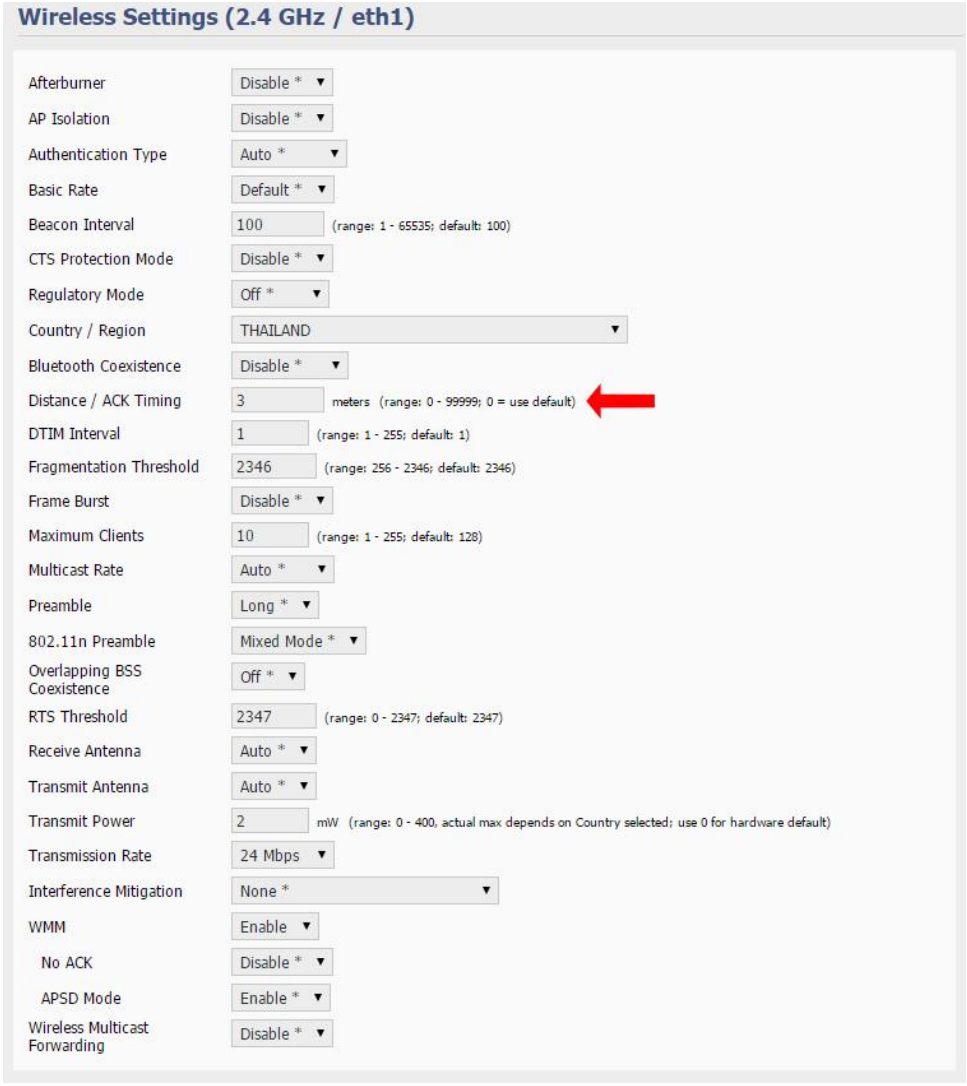
ช่องที่ 11 จำนวน 3 อุปกรณ์

(ผัง channel ของแต่ละ AP ถูกแสดงในภาพที่ 3-38)



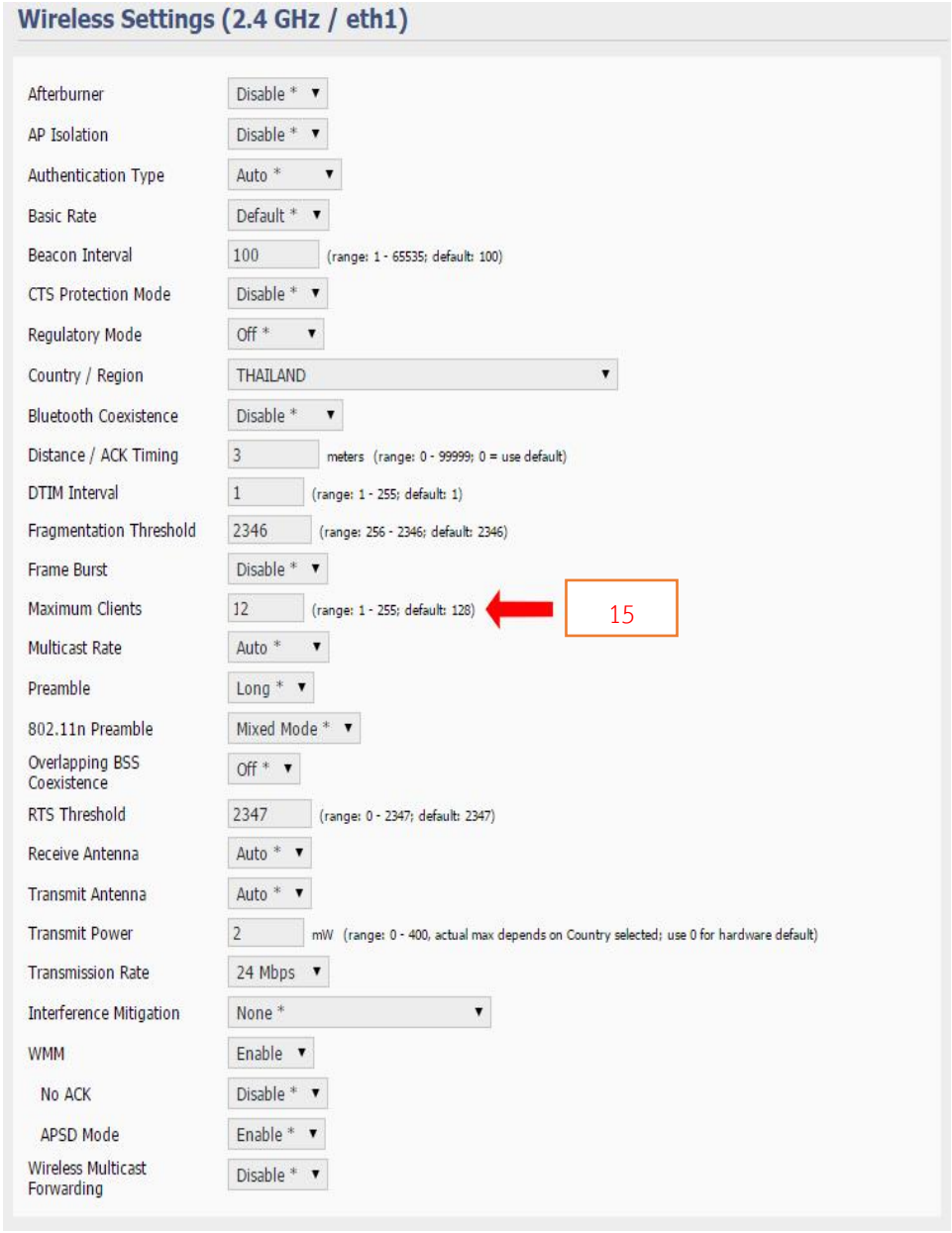
ภาพที่ 3-23 หน้าจอการกำหนดช่องสัญญาณของตัว AP

3.5.1.5 ทำการกำหนดระยะทางจากตัว AP ไปยังเครื่องรับ เป็น 3 เมตร



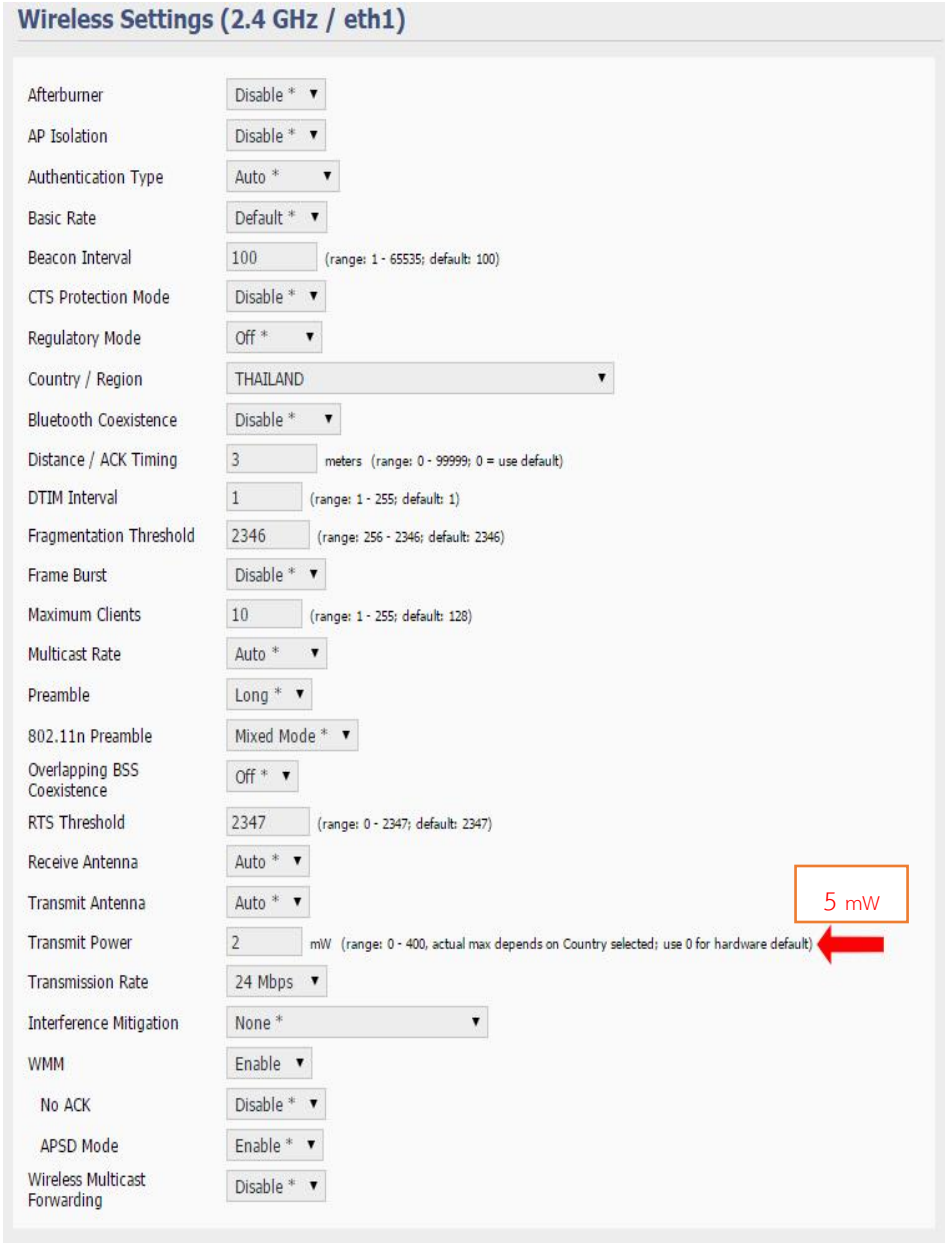
ภาพที่ 3-24 หน้าจอการกำหนดระยะทางจากตัว AP ไปยังเครื่องรับ

3.5.1.6 ทำการกำหนดจำนวน Client ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เป็น จำนวน 15 Client



ภาพที่ 3-25 หน้าจอการกำหนดจำนวน Client ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์

3.5.1.7 ทำการกำหนดค่าความแรงของสัญญาณที่จะใช้งานเป็น 5 มิลลิวัตต์

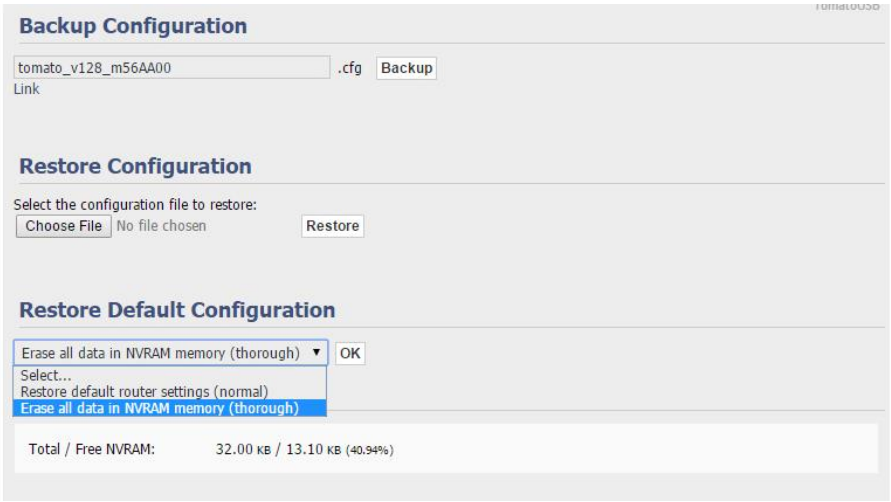


ภาพที่ 3-26 หน้าจอการกำหนดค่าความแรงของสัญญาณ

3.5.2 การกำหนดการตั้งค่าเบื้องต้นของ AP ครั้งที่ 2

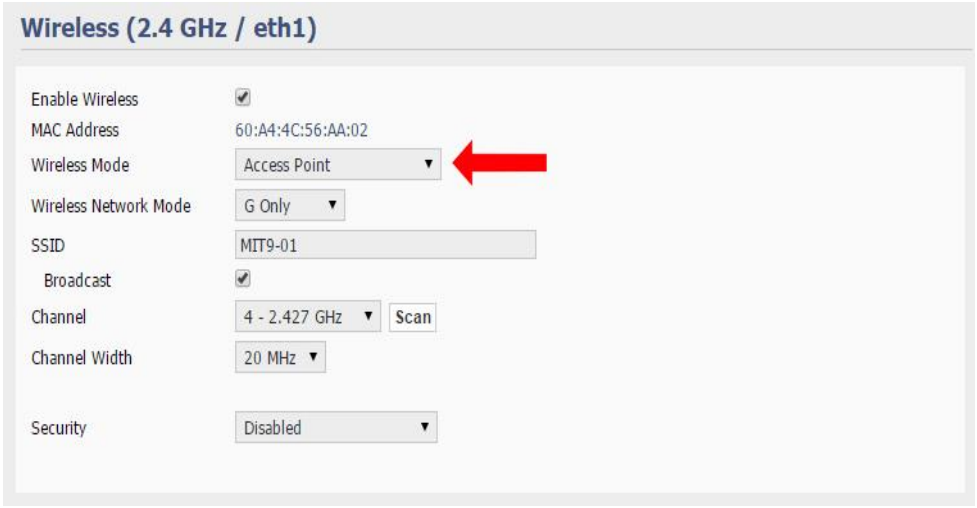
จากการทดสอบในครั้งที่ 1 พบว่าการตั้งค่าบางอย่างบน AP ยังไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน ส่งผลให้บางอุปกรณ์ที่ทดลองไม่สามารถเชื่อมต่อได้ คิดเป็นจำนวน 50 เปอร์เซ็นต์ ของ Client ทั้งหมดจำนวน 100 คน นอกจากนี้บางอุปกรณ์ เมื่อเชื่อมต่อแล้วไม่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น สามารถเชื่อมต่อสัญญาณไร้สายได้ แต่ถูกตัดการเชื่อมต่อในภายหลัง หรือสามารถเชื่อมต่อสัญญาณไร้สายได้ แต่ความแรงของสัญญาณอ่อน จึงมีการปรับแต่งค่าเบื้องต้นเพิ่มเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.2.1 ทำการคืนค่าอุปกรณ์ทุกตัวให้กลับสู่ค่าเริ่มต้น โดยเข้าที่เมนู Administration > Configuration > Restore Default Configuration > Erase all data in NVRAM



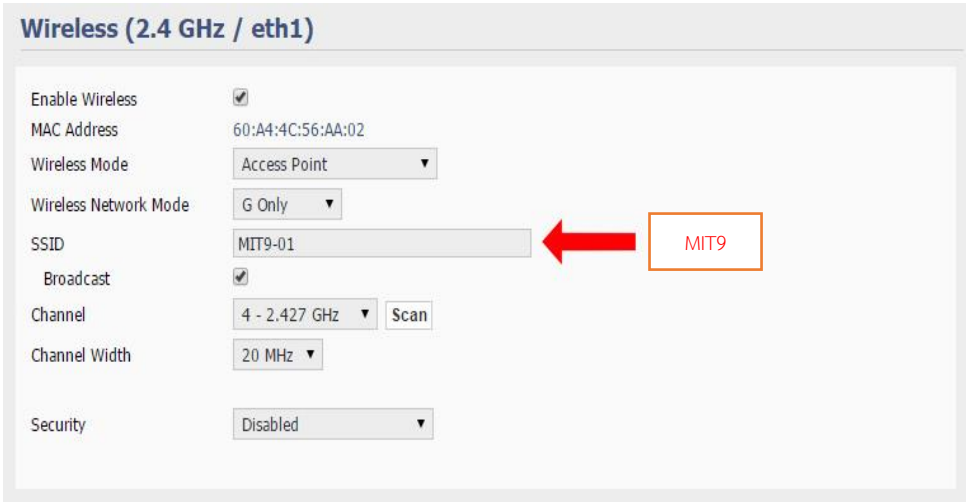
ภาพที่ 3-27 หน้าจอการคืนค่าอุปกรณ์ให้กลับสู่ค่าเริ่มต้น

3.5.2.2 ทำการกำหนดการทำงานของ AP เป็น ตัวกระจายสัญญาณไร้สายอย่างเดียว



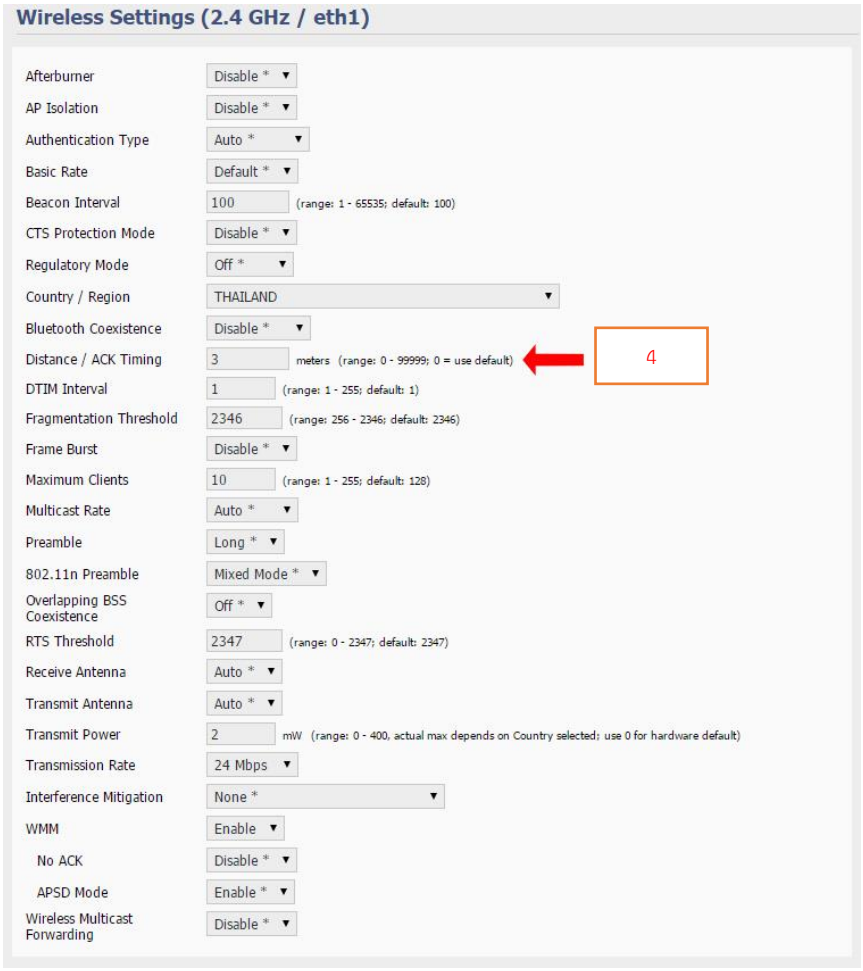
ภาพที่ 3-28 หน้าจอการกำหนดการทำงานของ AP

3.5.2.3 ทำการกำหนดชื่อของตัว AP ให้เป็น "MIT9"



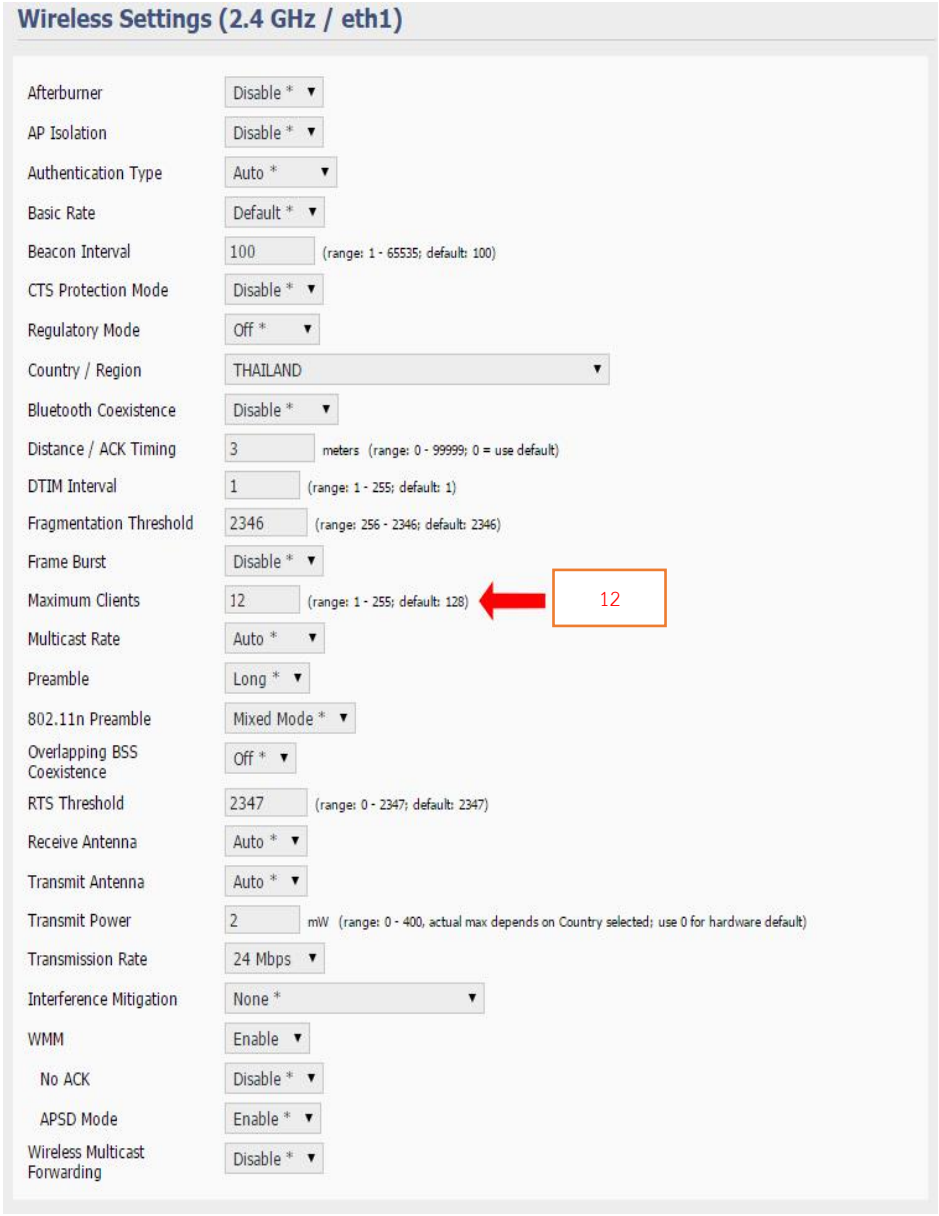
ภาพที่ 3-29 หน้าจอการกำหนดชื่อของตัว AP

3.5.2.5 ทำการกำหนดระยะทางจากตัว AP ไปยังเครื่องรับเป็น 4 เมตร



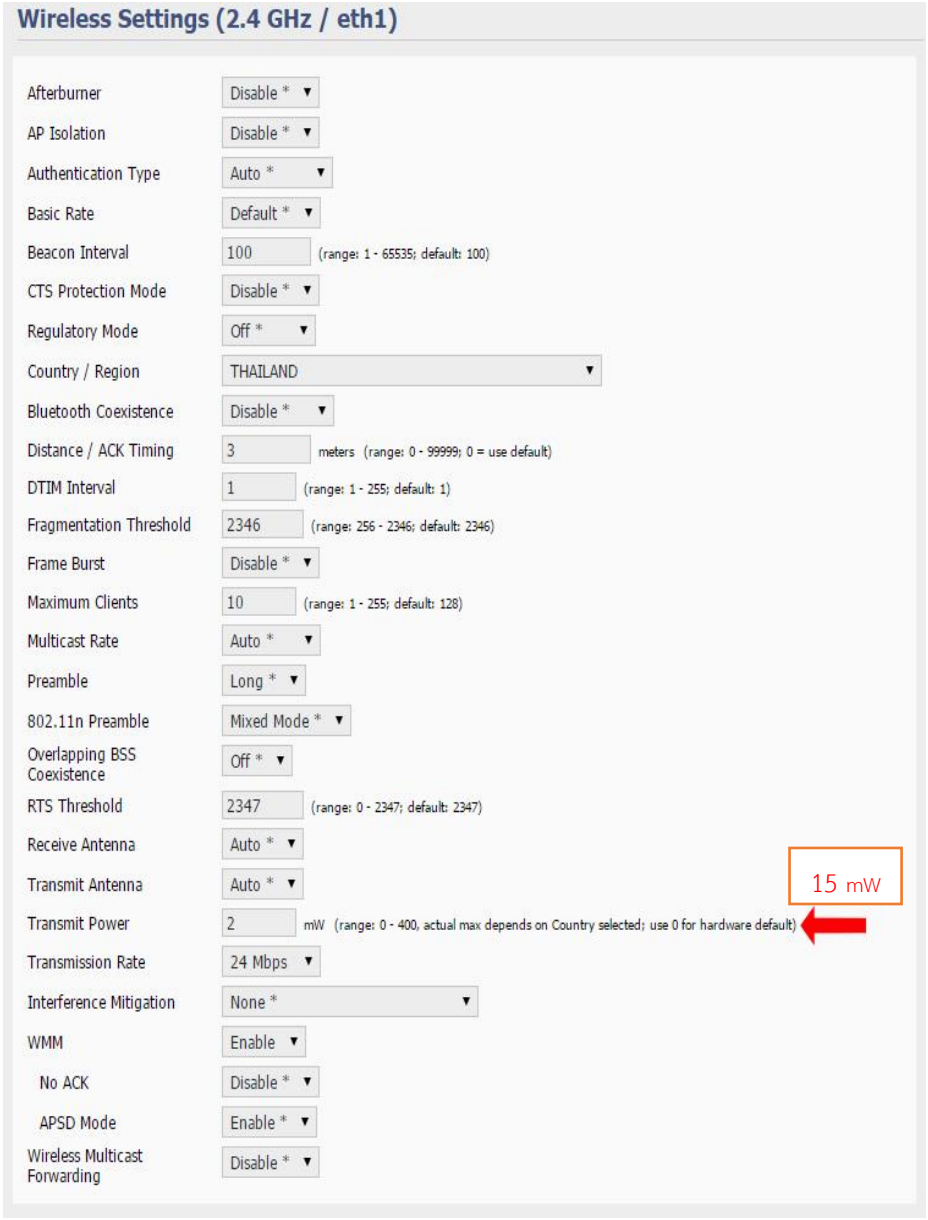
ภาพที่ 3-30 หน้าจอการกำหนดระยะทางจากตัว AP ไปยังเครื่องรับ

3.5.2.6 ทำการกำหนดจำนวน Client ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เป็น จำนวน 12 Client



ภาพที่ 3-31 หน้าจอการกำหนดจำนวน Client ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์

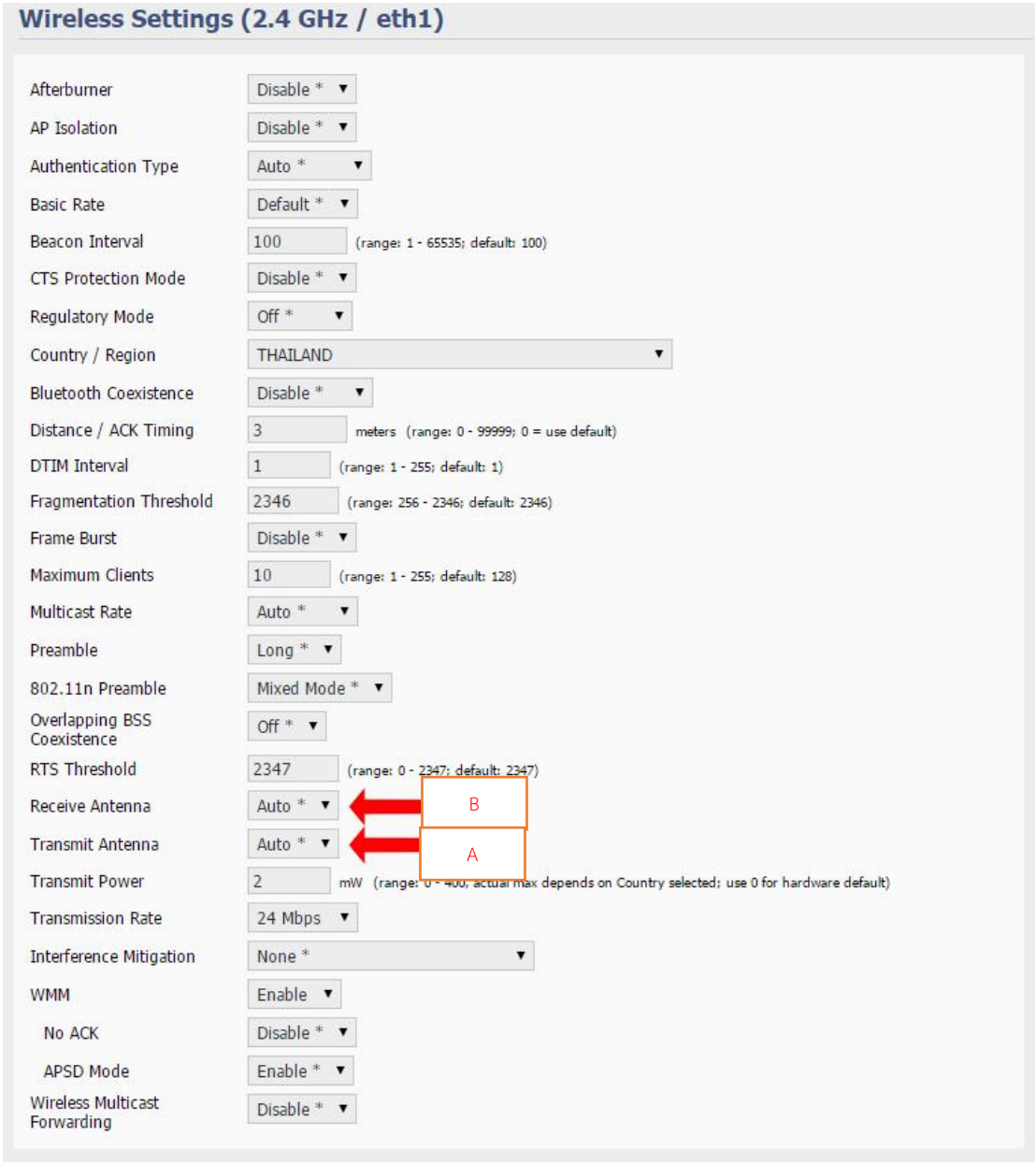
3.5.2.7 ทำการกำหนดค่าความแรงของสัญญาณที่จะใช้งานเป็น 15 มิลลิวัตต์



ภาพที่ 3-32 หน้าจอการกำหนดค่าความแรงของสัญญาณ

3.5.2.8 ทำการกำหนดเสากระจายสัญญาณไร้สายฝั่งซ้ายให้เป็นตัวรับสัญาณ ฝั่งขวาให้เป็นตัวส่งสัญญาณ โดย "A" คือเสาฝั่งซ้ายเมื่อมองจากด้าหลัง AP โดยเสาด้านนี้จะใช้เสากระจายสัญญาณแบบทิศทางเดียว ส่วน "B" ซึ่งคือเสาฝั่งขวาเป็นตัวรับสัญญาณ จะใช้เสากระจายสัญญาณไร้สายแบบรอบทิศทาง

ภาพที่ 3-33 แสดงเสากระจายสัญญาณไร้สายฝั่งซ้ายขวา



ภาพที่ 3-34 หน้าจอการกำหนดเสากระจายสัญญาณไร้สายฝั่งซ้ายขวา

3.5.3 การทดสอบประสิทธิภาพ AP (จำนวนผู้ใช้)

3.5.3.1 การทดสอบจำนวน Client ต่อ AP ที่เหมาะสม โดยมีวิธีทำการทดสอบดังต่อไปนี้

1) ติดตั้งโปรแกรม IPERF3 ลงบนเครื่องแม่ข่ายตัวหลักโดยดาวโหลดจาก https://iperf.fr/iperf-download.php ซึ่งจะมีหลายรุ่น โดยเลือกให้ตรงกับอุปกรณ์ที่จะใช้

2) ที่เครื่องแม่ข่ายใช้คำสั่ง iperf3 –s

```
MacBook-Pro:Desktop summerhusky$ iperf3 -s
-----------------------------------------------------------
Server listening on 5201
-----------------------------------------------------------
```

ภาพที่ 3-35 หน้าจอเครื่องแม่ข่ายที่ใช้คำสั่ง iperf3 –s

3) ที่เครื่องลูกข่ายใช้คำสั่ง iperf3 –c (ใส่หมายเลขไอพีของเครื่องแม่ข่าย) โดยในแต่ละอุปกรณ์จะมีหน้าตาผลแตกต่างกันไปเล็กน้อย

```
MacBook-Pro:~ summerhusky$ iperf3 -c 127.0.0.1
Connecting to host 127.0.0.1, port 5201
[  4] local 127.0.0.1 port 53651 connected to 127.0.0.1 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[  4]   0.00-1.00   sec  2.70 GBytes  23.2 Gbits/sec
[  4]   1.00-2.00   sec  2.71 GBytes  23.3 Gbits/sec
[  4]   2.00-3.00   sec  2.71 GBytes  23.2 Gbits/sec
[  4]   3.00-4.00   sec  2.72 GBytes  23.4 Gbits/sec
[  4]   4.00-5.00   sec  2.67 GBytes  22.9 Gbits/sec
[  4]   5.00-6.00   sec  2.66 GBytes  22.8 Gbits/sec
[  4]   6.00-7.00   sec  2.71 GBytes  23.3 Gbits/sec
[  4]   7.00-8.00   sec  2.50 GBytes  21.5 Gbits/sec
[  4]   8.00-9.00   sec  3.24 GBytes  27.8 Gbits/sec
[  4]   9.00-10.00  sec  3.25 GBytes  27.9 Gbits/sec
- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[  4]   0.00-10.00  sec  27.9 GBytes  23.9 Gbits/sec                  sender
[  4]   0.00-10.00  sec  27.9 GBytes  23.9 Gbits/sec                  receiver

iperf Done.
MacBook-Pro:~ summerhusky$
```

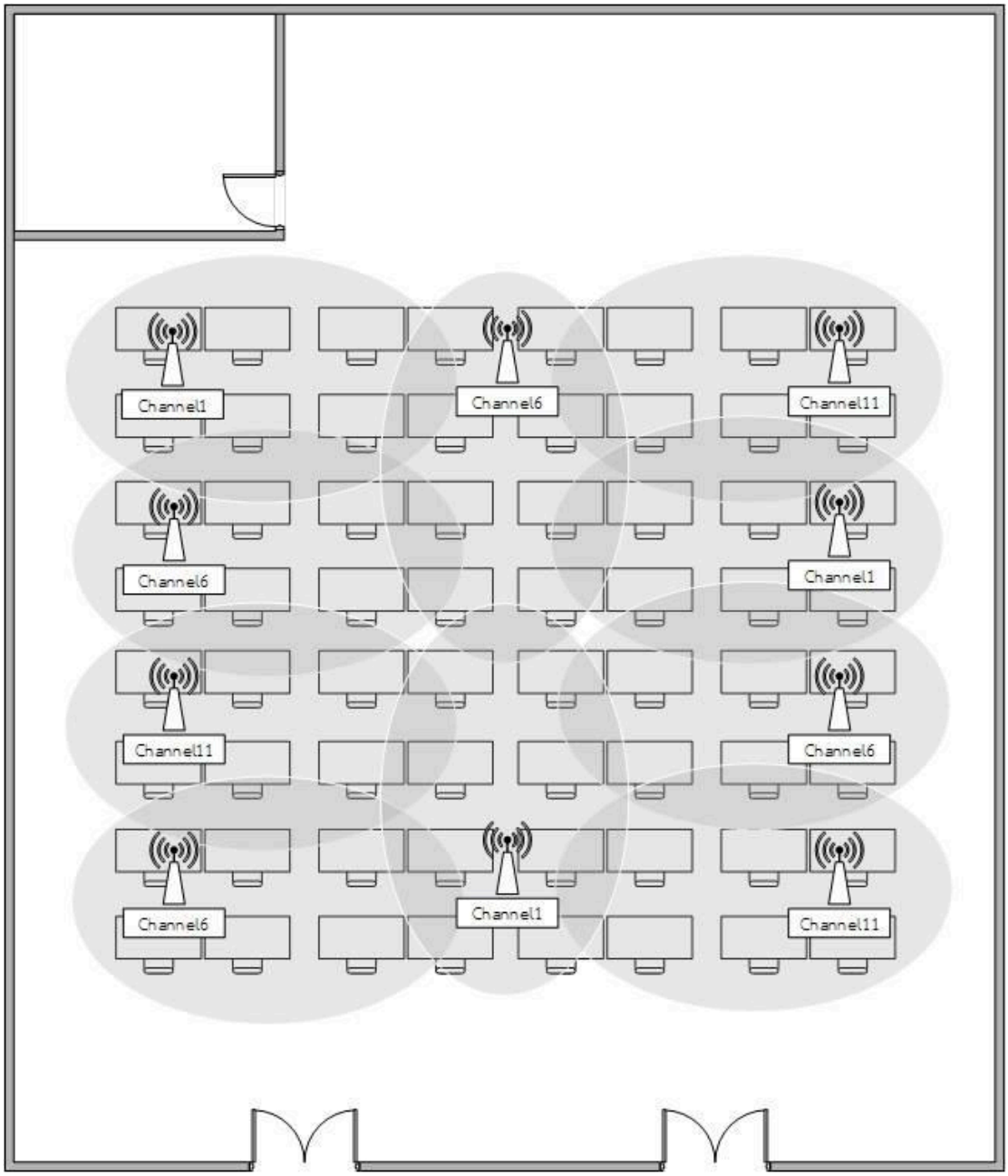
ภาพที่ 3-36 หน้าจอเครื่องลูกข่ายที่ใช้คำสั่ง iperf3 –c

4) บันทึกผลที่ได้ในแต่ละรอบ โดยทำการเพิ่มจำนวน Client ที่เชื่อมต่อกับ AP ทีละ Client

5) นำค่าประสิทธิภาพที่ได้มาแสดงผลโดนแกน X เป็นจำนวน Client แกน Y คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพเมื่อใช้ x Client ต่อประสิทธิภาพเมื่อใช้ 1 Client

3.5.3.2 การทดสอบการใช้งานปกติภายในห้องเรียนขนาดใหญ่

1) นำ AP ไปติดตั้งในห้องเรียนขนาดใหญ่โดยมีตำแหน่งดังนี้



ภาพที่ 3-37 แผนผังการติดตั้ง AP ในห้องเรียนขนาดใหญ่

2) ให้ Client นั่งกระจายตามที่นั่งในห้องเรียนขนาดใหญ่ แล้วให้ทดลองใช้งานเฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook ก่อน โดยให้ใช้งานตามปกติ จากนั้นใช้การสอบถามว่ามีเครื่องไหนบ้างที่ใช้งานติดขัด

3) ให้ Client นำอุปกรณ์อื่น ๆ ที่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณไร้สายได้ เช่น โทรศัพท์มือถือหรือแท็บเล็ต จากนั้นใช้การสอบถามว่ามีเครื่องไหนบ้างที่ใช้งานติดขัด

4) ประเมินความคิดเห็นของ Client โดยใช้แบบสอบถาม

3.6 การทดสอบและประเมินผล

ในการทดสอบและประเมินผลกำหนดให้มีการดำเนินการจำนวน 2 ครั้งดังนี้

3.6.1 การทดสอบครั้งที่ 1 และการประเมินผลโดยผู้จัดทำงานนิพนธ์

กำหนดให้ในการทดสอบมี Client จำนวน 100 คน โดยให้เชื่อมต่อกับระบบกระจายสัญญาณไร้สายที่กำหนด จากนั้นทำการบันทึกความคิดเห็นของ Client ในแต่ละคนว่าสามารถทำการเชื่อมต่อเครือข่ายและใช้งานได้ตามปกติหรือไม่ จากนั้นนำผลการประเมินมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงและแก้ไขเพื่อหาการตั้งค่าที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมและสถานการณ์จริง

3.6.2 การทดสอบครั้งที่ 2 และการประเมินผลโดย Client

จากผลการทดลองครั้งที่ 1 ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้ปรับค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4-6 โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

1) *ทดสอบการเชื่อมต่อ* ทำการจำลองเครื่องแม่ข่ายใช้เพื่อเก็บข้อมูลการเข้าใช้งาน โดยเมื่อ Client ทำการเชื่อมต่อกับระบบกระจายสัญญาณไร้สายสำเร็จ เครื่องแม่ข่ายจะทำหน้าที่เก็บข้อมูล AP ที่สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายได้ กำหนดให้ในการทดสอบมี Client จำนวน 60 คน เช่นเดียวกันกับการวัดและประเมินผลครั้งที่ 1

2) *ทดสอบการใช้งาน* กำหนดให้ Client เข้าสู่เว็ปไซต์ ทดลองดาวโหลดข้อมูลที่กำหนดจากเครื่องแม่ข่าย และเล่นไฟล์มัลติมีเดียแบบสตรีมมิ่ง (Streaming) บน YouTube เพื่อทดสอบว่า ระบบกระจายสัญญาณไร้สายสามารถใช้งานได้ตามปกติ

3) *ประเมินความคิดเห็นของ Client* ภายหลังจากการทดสอบดังกล่าว กำหนดให้มีการวัดและประเมินผล Client โดยใช้แบบสอบถาม

3.7 การสรุปผลการศึกษา

นำผลที่ได้รับจากการทดสอบและประเมินผลไปวิเคราะห์ สรุปผลการศึกษาและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ต่อไป

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ปัญหาอุปกรณ์จุดเข้าถึงในห้องปิดทั่วไป

จากประสบการณ์ผู้จัดทำงานนิพนธ์พบว่าในห้องปิดทั่วไปนั้น หากติดตั้ง AP โดยไม่ได้คำนึงถึงสภาพแวดล้อมมากนัก ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ โดยสามารถสรุป ได้ดังนี้

4.1.1 มีการติดตั้ง AP ที่ไม่สัมพันธ์กับพื้นที่ เช่น การติดตั้ง AP ไว้มุมห้องเดียวกัน, มีจำนวน AP ในห้องเดียวกันมากเกินไป

4.1.2 มีการเลือกใช้สายอากาศไม่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น การใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางที่มีกำลังส่งสูง ๆ ภายในห้องที่มี AP อยู่หลายตัว ทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณ Wi-Fi

4.1.3 การตั้งค่าพารามิเตอร์ AP ที่ไม่เหมาะสม เช่น จำนวน Client ต่อ AP, Power Transmission และช่องสัญญาณ Wi-Fi ที่ซ้อนทับกัน

จากข้างต้น สรุปออกมาเป็นสามหัวข้อหลักในการแก้ไขปัญหาคือ การเลือกใช้สายอากาศของ AP, การปรับค่าพารามิเตอร์ของ AP และตำแหน่งการติดตั้ง AP

4.2 ผลการศึกษาและทดสอบเสากระจายสัญญาณ

4.2.1 ผลการเลือกชนิดของสายอากาศที่เหมาะสม

จากผลการทดสอบมุมองศาของระยะสัญญาณที่กระจายได้ของสายอากาศแบบกระจายรอบทิศทาง (Omni-Directional) และ แบบทิศทางเดียว (Directional) เพื่อศึกษาขอบเขตของสัญญาณที่เกิดจากสายอากาศทั้ง 2 ประเภท โดยตั้งสายอากาศไว้ตรงกลางห้อง แล้ววัดค่าเฉลี่ยจำนวน 5 ครั้ง ด้วยแอปพลิเคชั่น Wi-Fi Analyzer บนระบบปฏิบัติการ Android แล้ววัดค่าเฉลี่ยที่รอบทิศทางที่มุม 0^{o}, 45^{o}, 90^{o}, 135^{o}, 180^{o}, 225^{o}, 270^{o}, 315^{o} สำหรับตัวเลขที่ได้จากผลการวัดค่านั้นจะแสดงถึงความแรงของสัญญาณ (dBm) โดยหากมีค่าเข้าใกล้ 0 จะแสดงถึงความแรงของสัญญาณสูง สำหรับผลการทดสอบนั้น แสดงดังตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ผลการเปรียบเทียบกำลังส่งของสายอากาศ (dBm) ชนิด Omni และ Directional

Angle	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Omni(dBm)	-55	-57	-60	-61	-60	-58	-55	-52
Directional(dBm)	-48	-53	-66	-72	-68	-70	-64	-56

ตารางที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบกำลังส่งของสายอากาศ (nW) ชนิด Omni และ Directional

Angle	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Omni(nW)	3	2	1	0.79	1	1.6	3.16	6.31
Directional(nW)	15	5	0.25	0.063	0.16	0.1	0.40	2.51
Ratio (Omni:Directional)	1:5	1:2.5	1:0.25	1:0.08	1:0.16	1:0.06	1:0.17	1:0.40

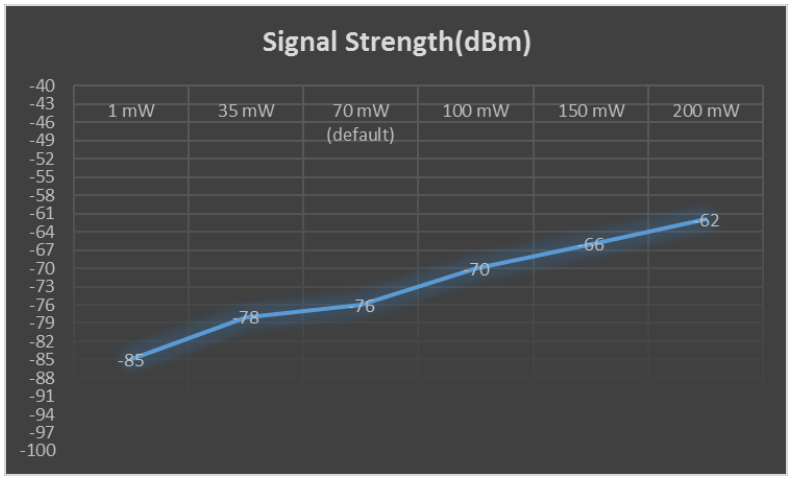
จากที่ได้แสดงในตารางด้านบน สายอากาศแบบทิศทางเดียว (Directional) มีการกระจายสัญญาณแบบแนวตรงออกไปทิศทางเดียวกับการหันหน้าสายอากาศไป ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของระยะสัญญาณได้ง่าย อีกทั้งยังช่วยลดการทับซ้อนกันของสัญญาณได้ ส่วนเสาสัญญาณแบบกระจายรอบทิศทาง (Omni-Directional) มีค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณในทุกด้านเท่า ๆ กัน

4.2.2 ผลการทดสอบความแรงของสัญญาณกับการเปลี่ยนค่า Power Transmission

จากผลการทดสอบความแรงของสัญญาณกับการเปลี่ยนค่า Power Transmission (ด้วยแอพพลิเคชั่น Wi-Fi Analyzer บนระบบปฏิบัติการ Android) ในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW พบว่า การเปลี่ยนค่ากำลังส่งสัญญาณภายในอุปกรณ์สัญญาณมีผลโดยตรงกับความแรงของสัญญาณที่ตัวรับได้รับ แสดงว่าการปรับกำลังส่งของสัญญาณมีผลต่อประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวเครื่องรับกับเครื่องส่ง โดยหากมีค่า dBm เข้าใกล้ 0 จะแสดงถึงความแรงของสัญญาณมากที่สุด ดังตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-1

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบความแรงของสัญญาณกับการเปลี่ยนค่าในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW

Power Transmission (mW)	1	35	70 (default)	100	150	200
Client's Signal Strength (dBm)	-85	-78	-76	-70	-66	-62



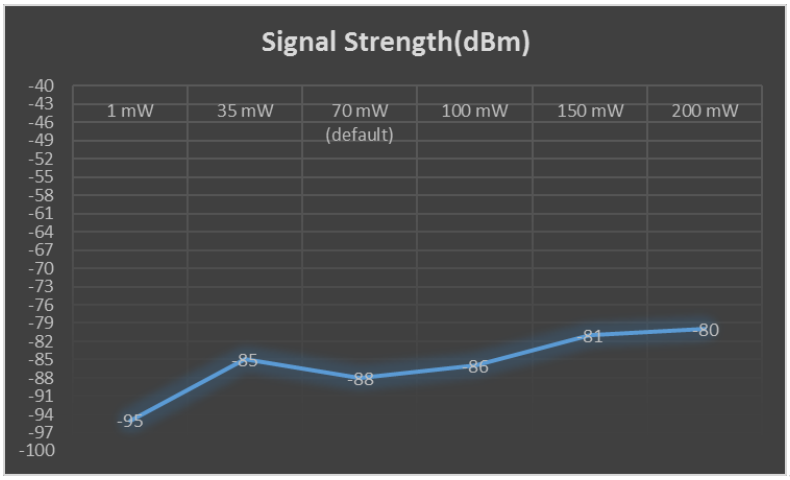
ภาพที่ 4-1 แผนภาพแสดงผลการทดสอบความแรงของสัญญาณกับการเปลี่ยน ค่า Power Transmission ในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW

4.2.3 ผลการทดสอบฉนวนลดทอนสัญญาณจากตัวสายอากาศของ AP

จากผลการทดสอบฉนวนลดทอนสัญญาณจากตัวสายอากาศของ AP ในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW ด้วยแอพพลิเคชั่น Wi-Fi Analyzer บนระบบปฏิบัติการ Android โดยหากมีค่าเข้าใกล้ 0 จะแสดงถึงความแรงของสัญญาณมากที่สุด จากผลการทดสอบผู้จัดทำงานนิพนธ์พบว่าการทำฉนวนลดทอนสัญญาณของตัวสายอากาศของ AP มีผลโดยตรงกับความแรงของสัญญาณที่เครื่องรับจะได้รับสัญญาณ สำหรับผลการทดสอบนั้นแสดงดังตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-2 อย่างไรก็ตามเมื่อลดค่า Power Transmission ลงมากจนเกินไป ความแรงของสัญญาณอาจจะไม่เพียงพอถ้ามีการใช้งานผ่านฉนวนลดทอนสัญญาณ

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบฉนวนลดทอนสัญญาณจากตัวสายอากาศของ AP ในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW

Power (mW)	1	35	70 (default)	100	150	200
Client's Signal Strength (dBm)	-95	-85	-88	-86	-81	-80



ภาพที่ 4-2 แผนภาพแสดงผลการทดสอบฉนวนลดทอนสัญญาณจากตัวสายอากาศของ AP ในช่วง 1, 35, 70, 100, 150 และ 200 mW

4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติและการเลือกใช้เฟิร์มแวร์

การเลือกใช้เฟิร์มแวร์ที่เหมาะสม สามารถช่วยลดระยะการกระจายสัญญาณได้โดยการปรับค่าในตัวอุปกรณ์ให้มีกำลังส่งลดลง ซึ่งส่งผลให้ระยะของการกระจายสัญญาณสั้นลง ทำให้ความแรงของสัญญาณจะสูงเมื่อ Client อยู่ในบริเวณที่กำหนดไว้เท่านั้น ในการเลือกใช้เฟิร์มแวร์นั้น ผู้จัดทำงานนิพนธ์ จะทำการเลือกใช้จากคุณสมบัติในการควบคุมจัดการกับตัว AP เช่น การกำหนดความแรงของสัญญาณ การจำกัดจำนวน Client และค่าใช้จ่ายในการใช้เฟิร์มแวร์ดังกล่าว จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า มีเฟิร์มแวร์ที่สามารถใช้งานโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย และตรงต่อความต้องการในการกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับ AP อยู่ 3 บริษัท ได้แก่ DD-WRT, OpenWRT และ TOMATO อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกใช้เฟิร์มแวร์ TOMATO และ DD-WRT ในการทดสอบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากเฟิร์มแวร์ OpenWRT นั้นมีจำนวนรุ่นปลีกย่อยที่มากเกินไป อีกทั้งมี

การพัฒนาที่เริ่มลดน้อยลง และภายหลังจากการทดสอบเฟิร์มแวร์ TOMATO และ DD-WRT โดยทดลองติดตั้งลงบนตัวอุปกรณ์แล้ว สามารถสรุปเปรียบเทียบความแตกต่างของเฟิร์มแวร์ได้ 9 ประเด็น ดังตารางที่ 4-5 ดังนี้

ตารางที่ 4-5 ความแตกต่างในการใช้งานระหว่างเฟิร์มแวร์ TOMATO และ DD-WRT

ความแตกต่าง	**TOMATO**	**DD-WRT**
1. การบันทึกข้อมูล	มีเพียงแค่ปุ่ม Save ซึ่งทำให้เสียเวลารีบูตตัวอุปกรณ์ทุกครั้งเพื่อบันทึกการตั่งค่าที่กระทำลงไปในแต่ละหน้า	มีปุ่ม Apply Setting เพิ่มขึ้นมาทำให้สามารถบันทึกการตั้งค่าไว้หลาย ๆ หน้าก่อนที่จะทำการบันทึกแล้วรีบูตอุปกรณ์เพื่อบันทึกการตั้งค่าทั้งหมด
2. การดูกราฟแสดงปริมาณการใช้แบนด์วิดท์	สามารถดูแบบ Real-time (ณ ปัจจุบัน) และแบบย้อนหลังได้	สามารถดูได้แต่แบบ Real-time (ณ ปัจจุบัน) เพียงอย่างเดียว
3. การตั้งค่าชื่อผู้ใช้งาน	สามารถเปลี่ยนได้เฉพาะตัวรหัสผ่านเท่านั้น	สามารถเปลี่ยนได้ทั้งชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่าน
4. การใช้ทรัพยากร	ใช้น้อยกว่าทาง DD-WRT ทำให้ระบบโดยรวมทำงานได้รวดเร็วกว่า	ใช้มากกว่าทาง TOMATO
5. การตั้งค่า Wi-Fi filter	สามารถเลือก Mac Address จาก Mac Address ที่แสดงขึ้นมาเพื่อ Filter ได้เลย	ต้องป้อนค่าเข้าไปเอง
6. การสำรองข้อมูลและกู้คืน	สามารถทำการสำรองข้อมูลและนำไปใช้คราวหลังได้ แต่จะใช้ได้เฉพาะอุปกรณ์รุ่นเดียวกันเท่านั้น	สามารถทำการสำรองข้อมูลและนำไปใช้คราวหลังได้ สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ทุกรุ่นที่ใช้เฟิร์มแวร์รุ่นเดียวกัน

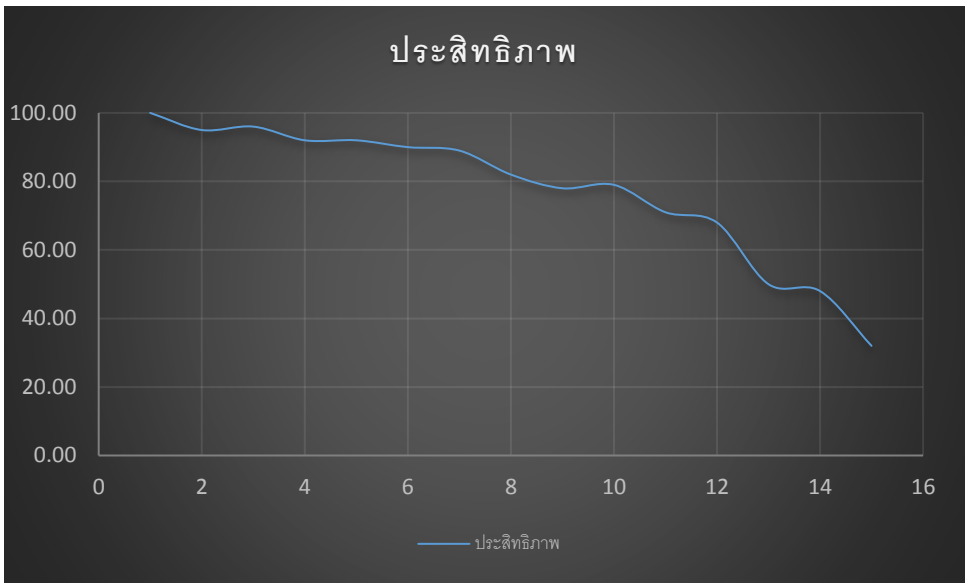
ตารางที่ 4-5 ความแตกต่างในการใช้งานระหว่างเฟิร์มแวร์ TOMATO และ DD-WRT (ต่อ)

7. การรองรับการอุปกรณ์หลายรุ่น	มีการรองรับน้อยกว่าทาง DD-WRT	มีการรองรับการทำงานหลายอุปกรณ์
8. ความยากง่ายในการใช้งาน	มีเมนูใช้งานน้อยกว่า DD-WRT	มีเมนูใช้งานมากกว่าอีกทั้งยังสามารถใช้งานได้ง่ายกว่า
9. การทำงานของ QoS	ทำงานได้รวดเร็วกว่าและมีความเสถียรมากกว่า	ทำงานได้ช้ากว่าทาง TOMATO เล็กน้อย

จากเหตุผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าได้เลือกเฟิร์มแวร์ TOMATO ใช้ทรัพยากรของ AP น้อยกว่าทาง DD-WRT ที่ใช้มากกว่าพอสมควร คือจากการที่ทดลองติดตั้งทั้งสองตัวลงบนอุปกรณ์เดียวกัน พบว่าการทำงานของ TOMATO ราบรื่นกว่าทางเฟิร์มแวร์ของ DD-WRT น่าจะมีเหตุผลมาจากทาง DD-WRT ออกแบบตัวเฟิร์มแวร์มารองรับกับอุปกรณ์ที่หลากหลายมากกว่าของทาง TOMATO ดังนั้นการจัดการประสิทธิภาพระหว่างเฟิร์มแวร์กับอุปกรณ์จึงไม่เหมาะสมเท่าที่ควร

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ AP ตามจำนวน Client ที่เชื่อมต่อ

จากผลการทดสอบ ผู้จัดทำงานนิพนธ์นำค่าที่ได้จากการทดลองในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยที่ค่ามาตรฐานคือ ขนาดแบนด์วิดท์ขณะที่ AP เชื่อมต่อกับ Client เดียว หลังจากนั้น ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้เพิ่มจำนวน Client ไปเรื่อยๆ จนถึง 15 Client แล้วนำค่าที่ได้เปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็น จากภาพที่ 4-3 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในด้านแบนด์วิดท์ของตัว AP ลดลงตามจำนวน Client ที่ใช้งาน โดยตั้งแต่ 12 Client ขึ้นไป ประสิทธิภาพจะลดลงเป็นอย่างมาก



ภาพที่ 4-3 แผนภาพแสดงการทดสอบประสิทธิภาพของ AP ตามจำนวน Client ที่เชื่อมต่อ

4.5 ผลการทดสอบในพื้นที่ศึกษา

4.5.1 การทดสอบในพื้นที่ศึกษาครั้งที่ 1

จากการทดสอบ ผู้จัดทำงานนิพนธ์พบว่าการตั้งค่าบางอย่างบน AP ยังไม่เหมาะสมต่อการใช้งานส่งผลให้บาง Client ที่ทดลองไม่สามารถเชื่อมต่อได้ (คิดเป็นจำนวน 50 เปอร์เซ็นต์ ของ Client ทั้งหมดจำนวน 100 เครื่อง) นอกจากนี้บางเครื่องเมื่อเชื่อมต่อแล้วพบ 2 ปัญหาดังนี้ คือ 1) เมื่อ Client เชื่อมต่อสัญญาณได้ แต่ถูกตัดการเชื่อมต่อในภายหลัง และ 2) Client เชื่อมต่อสัญญาณได้ แต่สัญญาณอ่อนมาก

จากปัญหาข้างต้น ผู้จัดทำงานนิพนธ์จึงหาแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยสรุปตามแต่ละปัญหาได้ดังนี้ สาเหตุที่การเชื่อมต่อของ Client ถูกตัดอาจเกิดจากสองปัจจัยคือ

1. Client เป็นตัวตัดการเชื่อมต่อเองโดยมีสาเหตุมาจาก Client เห็นความแรงสัญญาณของ AP น้อยมากจนตัดสินใจว่าไม่สามารถใช้งานได้ จึงได้ตัดการเชื่อมต่อ

2. AP เป็นฝ่ายตัดการเชื่อมต่อเองเนื่องจากระยะเวลาในการตอบกลับจาก Client นานเกินไป ส่วนปัญหาที่ Client เชื่อมต่อสัญญาณได้ แต่สัญญาณอ่อนมาก ปัญหาน่าจะเกิดมาจากการทำระยะขอบเขตของสัญญาณจาก AP ส่งไปไม่ถึงตัวอุปกรณ์

4.5.2 การทดสอบในพื้นที่ศึกษาครั้งที่ 2

จากการทดสอบในครั้งที่ 1 พบว่า ระบบกระจายสัญญาณยังไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ในการทดสอบครั้งที่ 2 ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้ปรับค่าพารามิเตอร์บน AP

และทดสอบการใช้งานของ Client จำนวน 60 เครื่อง โดยมีรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงแก้ไขดังต่อไปนี้

1) เพิ่ม Power Transmission เป็น 15 mW

2) กำหนดค่า ACK Timing เป็น 4 เมตร

3) เปลี่ยนสายอากาศให้เป็น แบบทิศทางเดียว กับ รอบทิศทาง

4) กำหนดเสาฝั่งซ้ายให้เป็นภาครับ โดยเลือกใช้เสาแบบรอบทิศทาง

5) กำหนดเสาฝั่งขวาให้เป็นภาคส่ง โดยเลือกใช้เสาแบบทิศทางเดียว

6) กำหนดชื่อของ AP (SSID) ให้เหมือนกันทั้งหมด เพื่อง่ายต่อการใช้งาน Client

7) ลดจำนวน Client ต่อ AP ลง

สำหรับความแตกต่างในการตั้งค่าระหว่างการทดลองครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 สรุปความแตกต่างระหว่างการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

รายการ	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**
1. Power Transmission	5 mW	15 mW
2. ACK Timing	3 เมตร	4 เมตร
3. สายอากาศ	ใช้แบบทิศทางเดียวอย่างเดียว	ใช้แบบทิศทางเดียวกับรอบทิศทาง
4. ชื่ออุปกรณ์ (SSID)	MIT9-01 ถึง MIT9-10	MIT9 เหมือนกันทุกตัว
5. จำนวนผู้ใช้งานต่ออุปกรณ์	15 คน	12 คน

จากปัญหาที่ได้กล่าวแล้วใน 4.5.1 ผู้จัดทำงานนิพนธ์จึงได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาข้างต้น โดยการปรับค่า Power Transmission ขึ้นเล็กน้อยเพื่อเพิ่มระยะความแรงของสัญญาณ (อ้างอิงจากตารางที่ 4-3) ที่แสดงให้เห็นว่าที่ค่า Power Transmission เท่ากับ 35 mW ในระยะ 10 เมตร ได้ความแรงของสัญญาณเท่ากับ -85 dBm ซึ่งปกติแล้วเป็นค่าต่ำสุดของสัญญาณที่สามารถใช้งานได้ปกติ ผู้จัดทำงานนิพนธ์จึงเลือกค่า Power Transmission เพิ่มขึ้นจาก 5 mW เป็น 15 mW โดยสาเหตุที่เลือกค่านี้เนื่องมากจาก ระยะห่างจาก AP ในการทดลองจริงมีระยะเพียง 5 เมตร ทำให้ไม่ต้องใช้ถึง 35 mW ต่อมาจัดทำงานนิพนธ์ได้กำหนดค่า ACK Timing เพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 4 เมตร เนื่องจากตามเอกสารของเฟิร์มแวร์ TOMATO ค่า ACK Timing นี้เป็นตัวกำหนด

ระยะห่างของ Client กับ AP การเพิ่ม ACK Timing มีจุดประสงค์เพื่อที่จะให้ AP รอข้อมูลจาก Client นานขึ้นกว่าการทดลองในครั้งแรก

ประเด็นต่อมา ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้ทดลองใส่สายอากาศแบบรอบทิศทางเพิ่มให้กับ AP เพื่อช่วยทำให้ภาครับสัญญาณของ AP ดีขึ้น ภาคส่งยังคงเป็นสายอากาศแบบทิศทางเดียว ต่างจากการทดลองแรกที่ผู้จัดทำงานนิพนธ์ใช้สายอากาศแบบทิศทางเดียวเพียงตัวเดียวในการทำงานทั้งภาครับและส่งสัญญาณซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาข้อมูลสูญหายระหว่างทางได้

เพื่อที่จะลดการทำงานของ AP ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้ลดจำนวนผู้ใช้งานต่อ AP ลงจาก 15 Clients เหลือ 12 Clients (จากภาพที่ 3-37 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของ AP ดีขึ้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งยังคงเพียงพอต่อการใช้งานที่ 100 Clients เพราะมีการติดตั้ง AP ทั้งหมด 10 ตัว ภายในห้อง

จากการทดสอบพบว่าภายหลังปรับแต่งการตั้งค่าตามตารางที่ 4-6 แล้ว Client สามารถเชื่อมต่อได้ทั้งหมด คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ (60 คน) โดยใช้อุปกรณ์ในการเชื่อมต่อระบบหลากหลายประเภท คือ โทรศัพท์มือถือ (50 เครื่อง), คอมพิวเตอร์ Notebook (6 เครื่อง), แท็บเล็ต/iPad (4 เครื่อง) โดย Client สามารถเข้าสู่เว็ปไซต์ที่กำหนดได้ทั้งหมด คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ (60 คน), และสามารถดาวโหลดไฟล์ที่กำหนดขนาด 5 – 10 MB ได้ คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ (60 คน) โดยใช้ระยะเวลาในการดาวโหลด 5 – 10 วินาที และสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้เมื่อทำการทดสอบโดยการเล่นไฟล์มัลติมีเดียแบบสตรีมมิ่ง (Streaming) บน YouTube พบว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็น 33.33 เปอร์เซ็นต์ (20 คน) รองลงมาคือ มีความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานอยู่ในระดับมาก คิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ (18 คน), ระดับปานกลาง คิดเป็น 18.33 เปอร์เซ็นต์ (11 คน), ระดับน้อย คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ (9 คน), และระดับน้อยที่สุด คิดเป็น 3.33 เปอร์เซ็นต์ (2 คน) ตามลำดับ สำหรับความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานที่มีความคิดเห็นที่แตกต่างกันนั้นน่าจะมีสาเหตุมาจาก การทดลองเข้าใช้งานพร้อมกันจน AP มีความล่าช้าในการทำงานลงไปเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อ Client ได้ใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง การใช้งานจึงกลับมาเป็นปกติ

บทที่ 5

อภิปรายผลและสรุปผล

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้ศึกษาแนวทางการจัดการกระจายสัญญาณ Wi-Fi ในห้องเรียนขนาดใหญ่อย่างคุ้มค่า โดยศึกษาลักษณะของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ตามชนิดของเสากระจายสัญญาณที่เลือกใช้ คือ ทั้งแบบทิศทางเดียว (Directional Antenna) ในภาคส่งและแบบรอบทิศทาง (Omni-Directional Antenna) ในภาครับร่วมกับการใช้เฟิร์มแวร์ TOMATO ผู้จัดทำงานนิพนธ์ได้ปรับแต่งค่า ต่าง ๆ ได้แก่ Power Transmission, ACK Timing, การกำหนดเสารับ-ส่ง, การกำหนดจำนวนผู้ใช้ต่อ AP เพื่อให้การใช้งาน AP มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและมีสัญญาณครอบคลุมทั้งบริเวณของห้องเรียน

จากการศึกษาผู้จัดทำงานนิพนธ์พบว่า การควบคุมการกระจายขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า Power Transmission แต่ถ้าหากลดลงจนมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Akella (2005) นอกจากนี้การกำหนดค่า ACK Timing ซึ่งเป็นระยะทาง AP ระหว่าง client ที่เหมาะสมจะส่งผลให้การเชื่อมต่อมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ช่องความถี่ของสัญญาณในช่องที่ 1 , 6 , และ 11 เป็นช่องที่เหมาะสมในการใช้งาน AP หลายตัวในบริเวณใกล้กัน เนื่องจากช่องของคลื่นสัญญาณไม่ซ้อนกัน ส่งผลให้ข้อมูลที่ส่งระหว่าง AP กับ Client ไม่ชนกัน จากผลสำเร็จของงานนิพนธ์นี้พบว่า เมื่อพัฒนาระบบกระจายสัญญาณไร้สายที่สามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่ในห้องเรียนขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว และยังพบว่าค่าใช้จ่ายในระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นมีราคาถูกที่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันประมาน 2-10 เท่า อย่างไรก็ตามงานนิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาการออกแบบการกระจายสัญญาณ Wi-Fi ให้มีความเหมาะสมกับห้องเรียนขนาดใหญ่ที่มีลักษณะห้องสี่เหลี่ยม ซึ่งปราศจากการรบกวนของสัญญาณที่อาจเกิดขึ้นจากกำแพงหรือผนัง หากต้องการติดตั้งระบบในห้องเรียนขนาดใหญ่ที่มีลักษณะที่มีความแตกต่างออกไปจะต้องคำนึงถึงแนวทางในการวาง AP ใหม่เพื่อที่จะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้สำหรับเสากระจายสัญญาณที่นำมาใช้ในการศึกษานั้นเป็นเสากระจายสัญญาณที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งหากมีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการกระจายสัญญาณที่มากขึ้น น่าจะส่งผลให้ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เนื่องจากเสากระจายสัญญาณที่นำมาใช้นั้นยังมีสัญญาณที่เป็นส่วนเกินออกมาพอสมควร

บรรณานุกรม

สุขุม เฉลยทรัพย์. (2555). *เทคโนโลยีสารสนเทศ Information Technology*. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. กรุงเทพ

Akella, A., Judd, G., Seshan, S. and Steenkiste, P. (2005). Self-Management in Chaotic Wireless Deployments. *MobiCom 05*. USA.

Carr. 2014. *Directional or Omnidirectional Antenna?* [Online] Retrieved from: http://146970.com/PDFs/Antenna%20%20Directional%20or%20Omnidirectional%20Antenna.pdf

CISCO. (2007). *Omni Antenna vs. Directional Antenna*. [Online] Retrieved from: http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.pdf

CISCO. (2014). *Antenna Patterns and Their Meaning*. [Online] Retrieved from: http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.pdf

CISCO. (2014). *Meraki: Cloud Managed Wireless.* [Online] Retrieved from: https://meraki.cisco.com/products/wireless

CISCO. (2017). *Channel Planning Best Practices*. [Online] Retrieved from: https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/Channel_Planning_Best_Practices

Dobkin, D. (2014). *Antenna Gain, Polarization, and Propagation*. [Online] Retrieved from:http://rfid.net/basics/passive/253-antenna-gain-polarization-and-propagation

ITK-Connecting Co.,Ltd. (2017). *Access Point (Price).* [Online] Retrieved from: http://www.itk.co.th/access-point/aruba-wireless/

Liu, X., Sheth, A., Kaminsky, M., Papagiannaki, K., Seshan, S. and Steenkiste. (2010). Pushing the Envelope of Indoor Wireless Spatial Reuse using Directional Access Points and Clients. *MobiCom 10*. USA.

Liu, X., Seshan, S. and Steenkiste,P. (2011). When are Directional Antennas Useful in Indoor Environments?. *WiNTECH 11*. USA.

MindPHP. (2014). *Router คืออะไร.* [Online] Retrieved from:http://www.mindphp.com /%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8AD/73%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/2134-router%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html

Polarclound. (2014). *Tomato's Frequently Asked Questions & Tips***.** [Online] Retrieved from: http://www.polarcloud.com/firmware

Sys2U. (2017). *UBIQUITI networks*. [Online] Retrieved from: http://www.sys2u.com /Product.php?ProductID=20170317-104045&UBiQUiTi_Networks_UAP-AC-HD

The New York Times. (2010). *Wi-Fi Overload at High-Tech Meetings*. [Online] .Retrievedfrom:http://www.nytimes.com/2010/12/29/technology/29wifi.html ?_r=1&

TometoUSB. (2017). *Settings: Wireless*. [Online] Retrieved from:http://tomatousb.org/ settings:wireles

Webopedia. (2014). Wi-Fi. *Webopedia Computer Dictionary*. [Online]. Retrieved from: http://www.webopedia.com/TERM/W/Wi_Fi.html

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. แบบสอบถาม

เรื่อง

แนวทางการจัดการระบบกระจายสัญญาณไร้สายในห้องเรียนขนาดใหญ่อย่างคุ้มค่า

ชื่อ-สกุล_____

แบบสอบถาม

เรื่อง แนวทางการจัดการระบบกระจายสัญญาณไร้สายในห้องเรียนขนาดใหญ่อย่างคุ้มค่า

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

1. ท่านสามารถเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi ในห้องประชุมได้หรือไม่

☐ ได้ ☐ ไม่ได้

2. ท่านสามารถเข้าเวปไซต์ http://angsila.cs.buu.ac.th/~56920003/ ได้หรือไม่

☐ ได้ ☐ ไม่ได้

* ในกรณีที่สามารถเข้าเวปไซต์ได้ หมายเลข IP ADDRESS ของท่านบนหน้าเวปไซต์ของท่าน

คือ_____

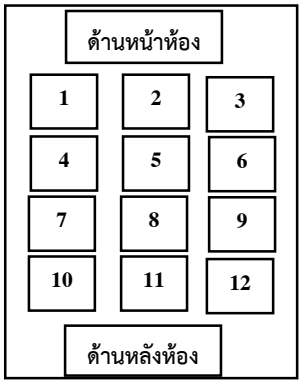
3. ท่านสามารถดาวโหลดไฟล์ที่กำหนดไว้ได้หรือไม่

☐ ได้ ☐ ไม่ได้

4. เมื่อทดสอบการเล่นไฟล์มัลติมีเดียแบบสตรีมมิ่ง (Streaming) บน YouTube ท่านมีระดับความพึงพอใจอย่างไร (*ท่านสามารถเลือกตอบได้เพียง 1 ประเภทเท่านั้น*)

☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย ☐ น้อยที่สุด

5. กรุณาระบุ*บริเวณหมายเลขตำแหน่งที่นั่งของท่าน*โดยทำเครื่องหมาย✓ในช่อง ☐



6. โปรดระบุอุปกรณ์ที่ท่านใช้ในการเชื่อมต่อ (*ท่านสามารถเลือกตอบได้มากกว่า 1 ประเภท*)

☐ โทรศัพท์มือถือ ☐ คอมพิวเตอร์ Notebook ☐ แท็บเล็ต/iPad ☐ อื่นๆ_____

** ขอขอบพระคุณที่ท่านให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม**