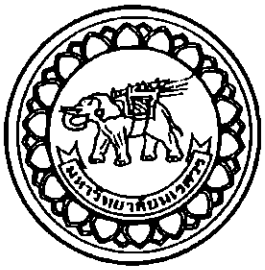


ระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรผ่านเครือข่าย Zigbee

Naresuan University Electric Vehicle Tracking System by Zigbee

นายวันเฉลิม จันทร์ทรง รหัส 52371467

นายวิศวะ นามวงษ์ รหัส 52371481

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 20 ก.ค. 2558
เลขทะเบียน 1686131
เลขเรียกหนังสือ วร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 2 ธ 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน ระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรผ่านเครือข่าย Zigbee

ผู้ดำเนินโครงงาน นายวันเฉลิม จันทร์ทรง รหัส 52371467

นายวิศวะ นามวงษ์ รหัส 52371481

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เศรษฐา ตั้งค้าวานิช

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2555

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะกรรมการการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์เศรษฐา ตั้งค้าวานิช)

.....กรรมการ

(ดร.พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน)

.....กรรมการ

(ดร.สุรเดช จิตประไพกุลศาล)

.....กรรมการ

(ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา)

หัวข้อโครงงาน	**ระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรผ่านเครือข่าย Zigbee**
ผู้ดำเนินโครงงาน	**นายวันเฉลิม จันทร์ทรง รหัส 52371467**
	นายวิศวะ นามวงษ์ รหัส 52371481
อาจารย์ที่ปรึกษา	**อาจารย์เศรษฐา ตั้งค้าวานิช**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมคอมพิวเตอร์**
ภาควิชา	**วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์**
ปีการศึกษา	2555

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นระบบที่อำนวยความสะดวกแก่**ผู้ใช้บริการรถไฟฟ้า**มหาวิทยาลัยนเรศวร ให้สามารถทราบถึงระยะเวลาที่รถไฟฟ้าจะเคลื่อนที่มาถึง**จุดจอดรับผู้โดยสาร**ในแต่ละป้าย โดยมีการออกแบบระบบให้ครอบคลุมพื้นที่การเดินรถ**ไฟฟ้าสายสีแดงรอบ**มหาวิทยาลัยนเรศวร ใช้มาตรฐานการสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 Zigbee **ในการรับส่งข้อมูล**ระหว่างรถไฟฟ้า เราท์เตอร์โหนด และป้ายแสดงเวลารถไฟฟ้า ณ จุดจอดรับ**ผู้โดยสาร** โดยนำข้อมูลตำแหน่งและความเร็วรถไฟฟ้า ส่งไปคำนวณเวลาโดยประมาณที่**คอมพิวเตอร์เกตเวย์** จากนั้นส่งข้อมูลออกไปแสดงที่ป้าย ณ จุดจอดรับผู้โดยสาร

Project title	Naresuan University Electric Vehicle Tracking System by Zigbee		
Name	Mr. Wanchalerm	Junsong	ID. 52371467
	Mr. Witsawa	Namwongs	ID. 52371481
Project advision	Mr. Settha	Tangkawanit	
Major	Computer Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2012		

Abstract

Naresuan University Electric Vehicle Tracking System by Zigbee, that purpose to be a comfortable system for NU-EV's passenger to know an arrival approximated time on each NU-EV's Stop. This system is designed to cover all NU-EV traffic area for red line around the university. The System users IEEE 80215.4 "Zigbee" wireless standard for communication between EV, X-Bee router node and EV's Stop, that sends EV's position and velocity data to gateway computer to calculates the approximated times. Then an output times are sent to display on EV'S Stop

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เศรษฐา ตั้งค้าวานิช ที่ให้คำปรึกษา แนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ รวมถึงให้การสนับสนุนในทุกด้านจนกระทั่งโครงงานเสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรผู้สนับสนุนงบประมาณเพื่อการดำเนินการ จากชุดโครงการวิจัย " การพัฒนาต้นแบบระบบขนส่งมวลชนมหาวิทยาลัยนเรศวร" โครงการที่ 5 "การพัฒนาระบบติดตามและแจ้งตำแหน่งรถไฟฟ้า" ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ขอขอบพระคุณ ดร.พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน ดร.สุรเดช จิตประไพกุลศาล และ ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา ที่สละเวลาเป็นอาจารย์กรรมการสอบโครงงานพร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ปลูกฝังวิชาความรู้และมอบประสบการณ์อันมีคุณค่ายิ่งตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในมหาวิทยาลัยแห่งนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัวเป็นอย่างสูง ที่เป็นเบื้องหลังแห่งความสำเร็จทุกประการ เป็นผู้ให้การสนับสนุนในทุกๆด้านและคอยเป็นกำลังใจอย่างดีตลอดมา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญทำให้คณะผู้จัดทำสามารถดำเนินโครงการจนเป็นผลสำเร็จ

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ แลกเปลี่ยนองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งคอยเป็นกำลังใจตลอดมา จนทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

นายวันเฉลิม จันทร์ทรง

นายวิศวะ นามวงษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงการ 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ 2

1.6 แผนการดำเนินงานโครงการ 3

1.7 งบประมาณของโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4

2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย Zigbee 4

2.2 X-Bee 9

2.3 ระบบบอกตำแหน่งพิกัดโลก (Global Positioning System : GPS) [3] 11

2.4 พิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinate System) 14

2.5 มาตรฐานโปรโตคอล NMEA 0183 15

2.6 ระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด [2] 17

2.7 การเคลื่อนที่ และการประมาณเวลา 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ 20

3.1 ภาพรวมระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร 20

3.2 การระบุตำแหน่งของรถไฟฟ้า 21

3.3 PS Tracker Box 23

3.4 เครือข่ายการสื่อสารของระบบ 26

3.5 คอมพิวเตอร์เกตเวย์และ Gateway Box 27

3.6 การออกแบบระบบการรับข้อมูลของป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร 35

3.7 การออกแบบจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ 37

3.8 การออกแบบ X-Bee โหนดเราท์เตอร์ 39

3.9 การออกแบบป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร 45

3.10 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ 48

บทที่ 4 ผลการทดลอง 59

4.1 การทดลองเก็บตำแหน่งของถนนเส้นทางมหาวิทยาลัยนเรศวร 59

4.2 การทดลองการทำงานของระบบเบื้องต้น 63

4.3 การทดลองความแม่นยำในการระบุพิกัดตำแหน่งจาก GPS Box Tracker 64

4.4 การทดลองความแม่นยำในการบอกค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถจาก GPS Box Tracker 68

4.5 การวัดประสิทธิภาพการอัพโหลดข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์ 69

4.6 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่อัตราบอด (Baud Rate) ต่างกัน 70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7 การทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee ผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ในระบบ 72

4.8 การทดลองรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่จุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ 77

4.9 การทดลองระบบโดยรวม 87

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 91

5.1 สรุปผลการทดลอง 91

5.2 ปัญหาที่พบ 92

5.3 แนวทางแก้ไขปัญหา 92

5.4 แนวทางในการพัฒนา 92

เอกสารอ้างอิง 93

ภาคผนวก 95

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 99

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ของ Zigbee 6

รูปที่ 2.2 แสดงการเชื่อมต่อแบบดาว 7

รูปที่ 2.3 แสดงการเชื่อมต่อแบบตาข่าย (Mesh Topology) 8

รูปที่ 2.4 แสดงการเชื่อมต่อแบบกลุ่มต้นไม้ (Cluster Tree) 8

รูปที่ 2.5 X-Bee ชนิด PCB Antenna 9

รูปที่ 2.6 X-Bee ชนิด Wire Antenna 10

รูปที่ 2.7 X-Bee ชนิด UFL Antenna 10

รูปที่ 2.8 X-Bee ชนิด SMA Antenna 10

รูปที่ 2.9 พื้นที่ตำแหน่งที่จีพีเอสคำนวณจากดาวเทียม 1 ดวง 12

รูปที่ 2.10 พื้นที่ตำแหน่งที่จีพีเอสคำนวณจากดาวเทียม 2 ดวง 13

รูปที่ 2.11 พื้นที่ตำแหน่งที่จีพีเอสคำนวณจากดาวเทียม 3 ดวง 13

รูปที่ 2.12 เส้นละติจูด และ ลองจิจูดของโลก [4] 14

รูปที่ 2.13 จุด 2 จุดบนพิกัดฉาก 18

รูปที่ 2.14 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ 19

รูปที่ 3.1 ภาพรวมระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรผ่านเครือข่าย Zigbee 20

รูปที่ 3.2 Module GPS รุ่น ET-GPS MINI 21

รูปที่ 3.3 ลักษณะโครงสร้างข้อมูลของโปรโตคอล NMEA 0183 21

รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าละติจูด กับ ลองจิจูด 22

รูปที่ 3.5 แสดงผลลัพธ์การอ่านค่าจากโมดูลระบุตำแหน่งพิกัดโลก 23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.6 การจัดว่าง Module ต่างๆภายใน GPS Tracker Box 23

รูปที่ 3.7 แสดงภาพรวมภายในทั้งหมด 24

รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งของส่วนแสดงผลและส่วนควบคุมด้านหน้า GPS Tracker Box 25

รูปที่ 3.9 ด้านหลังของ GPS Tracker Box 25

รูปที่ 3.10 GPS Tracker Box 26

รูปที่ 3.11 ระบบการสื่อสารโดยรวมของ GPS Tracker Box เกตเวย์และป้ายจุดต่างๆ 26

รูปที่ 3.12 ภายใน Gateway Box 28

รูปที่ 3.13 โปรแกรม Gateway Application 28

รูปที่ 3.14 ภายนอก Gateway Box ช่องเสียบสาย Mini USB 29

รูปที่ 3.15 ลำดับการทำงานของโปรแกรม Gateway Applications 30

รูปที่ 3.16 ค่าที่ใช้ในจุดต่างๆ การคำนวณ 32

รูปที่ 3.17 แสดงขั้นต้อนการคำนวณหาค่าเวลาที่ต้องแสดงผลที่ป้าย 33

รูปที่ 3.18 ตำแหน่งรถปัจจุบัน 34

รูปที่ 3.19 ตำแหน่งป้ายจอครับผู้โดยสาร 34

รูปที่ 3.20 แสดงผลลัพธ์ของระบบ 35

รูปที่ 3.21 แสดงระบบการรับข้อมูลการประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร 35

รูปที่ 3.22 Zigbee API Frame 36

รูปที่ 3.23 แสดงผังการทำงานภายในป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร 37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.24 แสดงจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ 38

รูปที่ 3.25 แสดงกล่องชั้นในสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ 40

รูปที่ 3.26 แสดงด้านหน้ากล่องชั้นในสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ 40

รูปที่ 3.27 แสดงภาพ Top View กล่องสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD 41

รูปที่ 3.28 แสดงภาพ 3 มิติ กล่องสำหรับใส่ x-Bee เราท์เตอร์ ออกแบบจากโปรแกรมAutoCAD ..41

รูปที่ 3.29 กล่องชั้นนอกสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ เสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งาน 42

รูปที่ 3.30 กล่องชั้นนอกสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ ที่ติดตั้งกับกล่องชั้นในและที่ยึดเสาเรียบร้อยแล้ว 42

รูปที่ 3.31 แสดงภาพ Top View ฐานสำหรับติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD 43

รูปที่ 3.32 แสดงภาพ 3 มิติ ฐานสำหรับติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD 43

รูปที่ 3.33 ฐานสำหรับติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ เสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งาน 44

รูปที่ 3.34 การติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ ไว้กับเสาของฐานติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ 44

รูปที่ 3.35 แสดงภาพ Top View ที่ยึด 7 Segment 4 หลัก ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD 45

รูปที่ 3.36 แสดงภาพ 3มิติ ที่ยึด 7 Segment 4 หลัก ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD 45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.37 แสดง Font View ป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD 46

รูปที่ 3.38 แสดงภาพ 3มิติ ที่ยึด 7 Segment 4 หลัก ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD 47

รูปที่ 3.39 แสดงป้ายจอดรถไฟฟ้าจริงที่เสร็จสมบูรณ์และพร้อมใช้งาน 47

รูปที่ 3.40 แสดง X-Bee Pro 50mW U.FL Connection 48

รูปที่ 3.41 แสดง (ซ้าย) สายอากาศแบบหัว UFL แปลงเป็น SMA ตัวเมีย (ขวา) **เสาอากาศแบบ SMA ตัวผู้** 48

รูปที่ 3.42 แสดง Blue-Bee Dongle 49

รูปที่ 3.43 แสดง X-Bee USB Dongle 49

รูปที่ 3.44 แสดงหน้าต่าง X-CTU และการเลือก Modem Configuration 50

รูปที่ 3.45 แสดงหน้าต่างเมนู Modem Configuration 50

รูปที่ 3.46 แสดงการ Configuration ZIGBEE COORDINATOR API 51

รูปที่ 3.47 แสดงการเลือก Enable API และการ Write Firmware 51

รูปที่ 3.48 แสดงการเลือก ZIGBEE ROUTER API 52

รูปที่ 3.49 หน้าต่าง X-CTU การเลือก Modem Configuration 53

รูปที่ 3.50 หน้าต่าง X-CTU การเลือก Remote Configuration 53

รูปที่ 3.51 หน้า Network และแสดงตารางการ Route พบอุปกรณ์ที่อยู่ในวงเดียวกัน 54

รูปที่ 3.52 แสดง ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-ARM STAMP STM32F103/128 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.53 แสดงวงจรสำหรับต่อใช้งานร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 และการต่อใช้งานรวมกัน 55

รูปที่ 3.54 แสดงแผนผังการทำงานโปรแกรมควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-ARM STAMP STM32F103/128 สำหรับระบบป้ายจอครถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร 55

รูปที่ 3.55 แสดง Switching Power Supply Output 12VDC 2A 56

รูปที่ 3.56 แสดงวงจรแปลง BCD เป็น 7 - Segment และ 7 Segment แสดงผล 4 หลัก 56

รูปที่ 3.57 แสดง แผงวงจรแปลง BCD เป็น 7 - Segment 57

รูปที่ 3.58 แสดงวงจรสำหรับใช้งานร่วมกับ 7 – Segment 57

รูปที่ 3.59 แสดง 7 – Segment 4 หลักที่ติดกับวงจรสำหรับใช้งานร่วมกับ 7 – Segment และวงจรแสดงผลแอลอีดีแสดง จุด ขั้นระหว่างนาทีและวินาที 58

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการสื่อสารข้อมูลของระบบ 59

รูปที่ 4.2 ชุดข้อมูลตัวอย่าง 1 ชุดที่อ่านได้จาก GPS Tracker Box 60

รูปที่ 4.3 ตำแหน่งบน Google Map ที่ได้จากการคำนวณ 62

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการแสดงผลที่โปรแกรม Gateway Box 63

รูปที่ 4.5 แสดงระยะเวลาที่เหลือที่รถจะเคลื่อนที่มาถึงป้าย 64

รูปที่ 4.6 ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลจาก GPS Box Tracker 65

รูปที่ 4.7 ป้ายรถเมล์หน้าสระว่ายน้ำ 66

รูปที่ 4.8 สามแยกเข้าตึก EN 66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.9 ตราคณะวิศวกรรมศาสตร์ 66

รูปที่ 4.10 สามแยกทางออกประตู 4 66

รูปที่ 4.11 หน้า ธ.กรุงไทย หอพักใน 67

รูปที่ 4.12 แสดงจำนวนครั้งในแต่ละช่วงที่มีการอัพเดทข้อมูล 69

รูปที่ 4.13 แสดงอัตราเฉลี่ยของเวลาในการอัพเดทข้อมูลหน่วยเป็นมิลลิวินาที 70

รูปที่ 4.14 แสดงจุดทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่อัตราบอด (Baud Rate) ต่างกัน 71

รูปที่ 4.15 แผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่ออัตราบอด (Baud Rate) 72

รูปที่ 4.16 แสดงจุดในการทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee ผ่าน X-Bee โหนด เราท์เตอร์ 72

รูปที่ 4.17 แสดงจุดทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงทางเข้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่ผ่านเราท์เตอร์ 73

รูปที่ 4.18 แสดงจุดทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงคณะ บริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสารผ่านเราท์เตอร์ ทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ 74

รูปที่ 4.19 แสดงจุดทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึง ทางเข้า อาคารเอนกประสงค์ผ่านเราท์เตอร์ ทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์และหน้า คณะ บริหารธุรกิจและการสื่อสาร 75

รูปที่ 4.20 แผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อจำนวนโหนดในการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 76

รูปที่ 4.21 แผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อระยะทางรวมในการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.22 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ ถึง หน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร 78

รูปที่ 4.23 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร ถึง ทางเข้าอาคารอเนกประสงค์ 79

รูปที่ 4.24 แสดงการทดสอบระยะทางจากหน้าทางเข้าอาคารเอนกประสงค์ 79

รูปที่ 4.25 แสดงการทดสอบระยะทางจากบริเวณลานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช 80

รูปที่ 4.26 แสดงการทดสอบระยะทางจาก บริเวณหน้าโรงพยาบาลถึง โค้งหน้าคณะเภสัชศาสตร์ 81

รูปที่ 4.27 แสดงการทดสอบระยะทางจาก โค้งหน้าคณะเภสัชศาสตร์ถึง สามแยกหน้าคณะแพทยศาสตร์ 82

รูปที่ 4.28 แสดงการทดสอบระยะทางจาก สามแยกหน้าคณะแพทยศาสตร์ถึง สามแยกคณะวิทยาศาสตร์ 82

รูปที่ 4.29 แสดงการทดสอบระยะทางจาก สามแยกคณะวิทยาศาสตร์ถึง หน้าอาคารโภชนาคาร ... 83

รูปที่ 4.30 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าอาคารโภชนาคารถึงบริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ 84

รูปที่ 4.31 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าอาคารโภชนาคารถึง บริเวณจุดพักรถไฟฟ้า 85

รูปที่ 4.32 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าโภชนาคาร ถึง บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ 86

รูปที่ 4.33 แสดงการทดสอบระยะทางจาก บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงหน้าทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ 86

รูปที่ 4.34 ขณะที่รถกำลังอยู่บริเวณโค้งก่อนตราคณะวิศวกรรมศาสตร์ 87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.35 ขณะที่รถกำลังอยู่บริเวณตราคณะวิศวกรรมศาสตร์ 88

รูปที่ 4.36 ขณะรถกำลังเคลื่อนที่มายังจุดจอดรับผู้โดยสาร เหลือเวลาอีก 13 วินาที 88

รูปที่ 4.37 ขณะรถกำลังเคลื่อนที่มายังจุดจอดรับผู้โดยสาร เหลือเวลาอีก 4 วินาที 89

รูปที่ 4.38 ขณะรถกำลังเคลื่อนที่มายังจุดจอดรับผู้โดยสาร เหลือเวลาอีก 1 วินาที 89

รูปที่ 4.39 กราฟการแสดงเวลาที่ป้ายขณะที่รถไฟฟ้ากำลังเคลื่อนที่มาถึง 90

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 ลำดับชั้นโครงสร้างของ Zigbee 5

ตารางที่ 2.2 ฟิลด์ข้อมูลจากจีพีเอสโมดูล 16

ตารางที่ 2.3 อธิบายลักษณะของประโยคฟิลด์ข้อมูล $GPGLL 16

ตารางที่ 2.4 อธิบายลักษณะของประโยคฟิลด์ข้อมูล $GPGLL 17

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์หลักที่ต้องมีการติดต่อสื่อสาร 27

ตารางที่ 3.2 แสดงตำแหน่งของป้ายที่ใช้สำหรับการทดลอง 31

ตารางที่ 3.3 แสดงการอธิบายสถานที่ของแต่ละจุด 38

ตารางที่ 3.4 สรุประยะทางระหว่างโหนดเราท์เตอร์ที่อยู่ติดกัน 39

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการตัดข้อมูลจาก GPS อ้างอิงจากชุดข้อมูลตามรูปที่ 2 60

ตารางที่ 4.2 ค่าพิกัดตำแหน่งได้จากกำหนดจุดที่ไปเก็บข้อมูล 65

ตารางที่ 4.3 ค่าพิกัดตำแหน่งจาก GPS Box Tracker 66

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองหาค่าประสิทธิภาพความแม่นยำ GPS Box Tracker มีหน่วยเป็น เมตร 68

ตารางที่ 4.5 ผลสรุปการทดลองที่ได้จากการขับรถในระดับความเร็วต่างๆ (ความเร็วมีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง) 68

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดสอบอัพโหลดข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์ 69

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่าง X-bee 2 ตัวที่อัตราบอดต่างกัน 71

ตารางที่ 4.8 ตารางสรุปผลการทดลองรับส่งข้อมูลของ X-Bee 2 ตัว ที่จุดติดตั้ง X-Bee Router จริง 77

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

รถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรเปิดให้บริการอย่างต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลายาวนานเพื่อให้นิสิตนักศึกษา บุคลากรในมหาวิทยาลัยนเรศวร รวมไปถึงบุคคลภายนอกใช้บริการสัญจรไปยังจุดต่างๆภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อช่วยให้ประหยัดพลังงานและลดอุบัติเหตุ หลังจากนั้นจึงได้มีการปรับปรุงระบบขนส่งมวลชนมหาวิทยาลัยนเรศวร (ขส.มน) รถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรจึงมีการปรับเปลี่ยนใหม่และถูกใช้เรื่อยมาจนถึงปัจจุบันและยังคงตอบสนองในเรื่องการประหยัดพลังงานและลดอุบัติเหตุ รวมถึงตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการมากยิ่งขึ้นทำให้มีผู้สนใจใช้บริการเพิ่มมากยิ่งขึ้น

การให้บริการของรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรนั้นผู้ใช้บริการต้องรอที่ป้ายจอดรถไฟฟ้าจนกระทั่งรถไฟฟ้าเดินทางมาถึง แต่ไม่สามารถคาดคะเนเวลาที่แน่นอนได้ว่ารถไฟฟ้าจะเดินทางมาถึงป้ายเวลาใด ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้บริการได้ ดังนั้นสิ่งที่ผู้โดยสารอยากทราบเป็นอย่างยิ่งคือ รถเคลื่อนที่อยู่ที่ไหน รถไฟฟ้าจะเดินทางมาถึงป้ายจอดรถไฟฟ้าเมื่อใด

หากมีระบบที่สามารถประมาณเวลารถไฟฟ้าได้ว่ารถไฟฟ้าจะเดินทางมาถึงป้ายเมื่อใด จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น และเป็นการเพิ่มความสะดวกสบายต่อผู้ใช้บริการ จึงเป็นที่มาให้เกิดการพัฒนาระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee

1.2.2 เพื่อค้นหาตำแหน่งในการติดตั้งเสากระจายสัญญาณของระบบเครือข่ายไร้สาย Zigbee ที่เหมาะสมกับระบบนี้

1.2.3 เพื่อสร้าง GPS Tracker Box ในการติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

1.2.4 เพื่อส่งเสริมการให้บริการรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ระบบติดตามและประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee

1.3.2 ผู้พัฒนาได้รับความรู้ความเข้าใจในการประยุกต์การใช้งานเครือข่ายไร้สาย Zigbee และ GPS

1.3.3 อาจจะมีผู้ใช้บริการรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรเพิ่มมากขึ้นและลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการสัญจรภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงการ

1.4.1 GPS Tracker Box สามารถส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เกตเวย์ผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee ในระยะทางที่กำหนดไว้ได้

1.4.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เกตเวย์สามารถประมาณเวลาของรถไฟฟ้าที่จะเคลื่อนที่ไปถึงป้ายจอดรถไฟฟ้า โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 วินาที และส่งค่าไปยังป้ายจอดรถไฟฟ้า 3 จุดได้

1.4.3 คอมพิวเตอร์เกตเวย์สามารถส่งค่าตำแหน่งปัจจุบันของรถไฟฟ้าไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ทได้

1.4.4 ป้ายจอดรถไฟฟ้าสามารถแสดงค่าการประมาณเวลาของรถไฟฟ้าที่จะเคลื่อนที่ไปถึงป้ายจอดรถไฟฟ้าผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee ในระยะทางที่กำหนดได้

1.4.5 ระบบสามารถสื่อสารข้อมูลด้วยเครือข่าย Zigbee ครอบคลุมเส้นทางบริการรถไฟฟ้าสายสีแดง ภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยรถไฟฟ้าต้องมีความเร็วไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้

1.4.6 ระบบสามารถทำงานในสภาพอากาศปลอดโปล่งได้เท่านั้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1.5.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่ายไร้สาย Zigbee และการประยุกต์ใช้งาน

1.5.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ GPS และการประยุกต์ใช้งาน

1.5.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับMicrocontroller (STM32F103) และการประยุกต์ใช้งาน

1.5.4 พัฒนาระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5.5 พัฒนาระบบประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5.6 ทดสอบและปรับปรุงระบบ

1.6 แผนการดำเนินงานโครงการ

กิจกรรม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
1.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่ายไร้สาย Zigbee และการประยุกต์ใช้งาน	← →			
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ GPS และการประยุกต์ใช้งาน	← →			
3. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Microcontroller (STM32F103) และการประยุกต์ใช้งาน	← →			
4.พัฒนาระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร		← →		
5. พัฒนาระบบประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร		← →		
6. ทดสอบและปรับปรุงระบบติดตามรถไฟฟ้าและประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร		←	→	

1.7 งบประมาณของโครงงาน

1. X-Bee และอุปกรณ์ใช้งานร่วมกับ X-Bee (4 ชุด)	8,000	บาท
2. GPS Module	1,000	บาท
3. Microcontroller (STM32F103 Stamp)	2,000	บาท
4. ค่าจัดทำเอกสาร	1,000	บาท
รวม	**12,000**	**บาท**

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน โดยเป็นการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Zigbee ที่ประกอบไปด้วย เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย Zigbee โครงสร้างของ Zigbee มาตรฐานของ Zigbee และยังต้องศึกษาเกี่ยวกับ X-Bee ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลบนเครือข่ายไร้สาย Zigbee นอกจากนี้ยังต้องศึกษาเกี่ยวกับระบบบอกพิกัดโลก ระบบบอกพิกัดภูมิศาสตร์ และการคำนวณหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุด ทั้งหมดนี้เป็นการศึกษาเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจและนำมาประยุกต์ใช้งานต่อไป

2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย Zigbee

เป็นที่รู้กันดีอยู่แล้วว่าเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นการเพิ่มความสะดวกสบายในการสื่อสารให้มากยิ่งขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดเจนที่สุดคือการใช้อินเทอร์เน็ต (Internet) เป็นต้น แน่นอนว่าเครือข่ายไร้สายนั้นมีมากหมายหลายชนิดและเหมาะสำหรับงานที่แตกต่างกันออกไป หนึ่งในนั้นได้แก่เครือข่าย Zigbee

เครือข่าย Zigbee เป็นข้อกำหนดสำหรับโปรโตคอลการสื่อสารไร้สายในระดับสูง (High Level) โดยใช้มาตรฐานการสื่อสาร IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการสื่อสารแบบ PAN (Personal Area Networks) [7-9] โดยมีเป้าหมายมุ่งเน้นให้การใช้ Zigbee มีการใช้พลังงานต่ำ อัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ สามารถใช้งานได้นานกับแหล่งจ่ายไฟที่เป็นแบตเตอรี่ (Battery) และมีความปลอดภัยในระบบเครือข่าย โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 250 Kbps

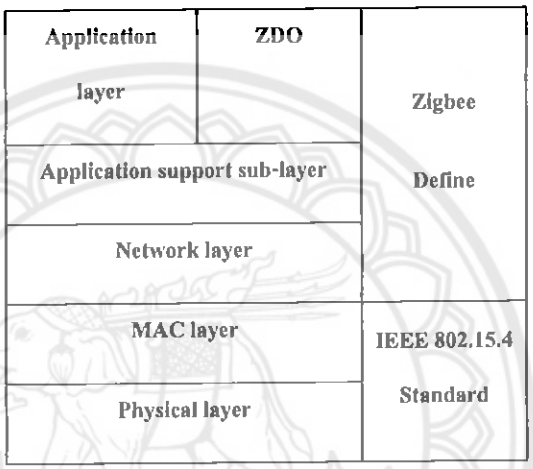
โดยทั่วไปการสื่อสารเครือข่าย Zigbee นิยมใช้สำหรับเครือข่ายการตรวจวัดไร้สาย (Wireless Sensor Network) และนิยมสร้างระบบเครือข่ายในรูปแบบตาข่าย (Mesh) ซึ่งมีความยืดหยุ่นต่อระบบสูงในการรับส่งข้อมูลในระยะทางไกลผ่านอุปกรณ์ภายในระบบเครือข่ายจนกระทั่งสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ที่อยู่จุดหมายปลายทางได้ในที่สุด

นอกจากนี้ Zigbee ยังเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ถูกออกแบบให้มีจุดเด่นหรือข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายชนิดอื่นโดยใช้พลังงานต่ำและมีราคาถูกด้วยคุณสมบัติดังกล่าว ทำให้ Zigbee เหมาะสำหรับการติดตั้งและใช้งานได้ยาวนาน

2.1.1 โครงสร้างของ Zigbee

โครงสร้างของ Zigbee ถูกออกแบบให้มีการใช้งาน 2 ชั้นล่างสุดได้แก่ชั้นกายภาพ (Physical layer) และชั้น MAC (MAC layer) บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ส่วนชั้นที่สูงถัดมามาจะใช้รูปแบบการสื่อสารบนมาตรฐานที่ Zigbee เป็นผู้กำหนด [8] โดยแสดงลำดับชั้นโครงสร้างของ Zigbeeดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลำดับชั้นโครงสร้างของ Zigbee



2.1.1.1 ชั้นแอพพลิเคชั่น (Application layer) อยู่ชั้นบนสุดของโครงสร้างโปรโตคอล (Protocol) โดยมี ZDO (Zigbee Device Object) เป็นตัวจัดการการเข้าถึงและใช้งานในชั้นนี้จะมีกรอบของแอพพลิเคชั่น (Application Framework) เป็นจุดสิ้นสุด (Endpoint)

2.1.1.2 ZDO ทำหน้าที่ในการจัดการการเข้าถึงและใช้งานชั้นแอพพลิเคชั่นและจัดการกับอุปกรณ์บนระบบ รวมถึงการจัดการในเรื่องการรักษาความปลอดภัยด้วย โดย ZDO เปรียบเสมือนวัตถุแอพพลิเคชั่น (Application Object) พิเศษที่มีอยู่ทุกโหนดและมีรายละเอียดของตัวเองคือ ZDP (Zigbee Device Profile) ซึ่ง Zigbee โหนดอื่นสามารถเข้าถึงได้

2.1.1.3 ชั้นย่อยสำหรับสนับสนุนชั้นแอพพลิเคชั่น(Application support sub-layer) ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมข้อมูลของชั้นแอพพลิเคชั่นและทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลกับชั้นแอพพลิเคชั่นและชั้นเครือข่าย (Network Layer)

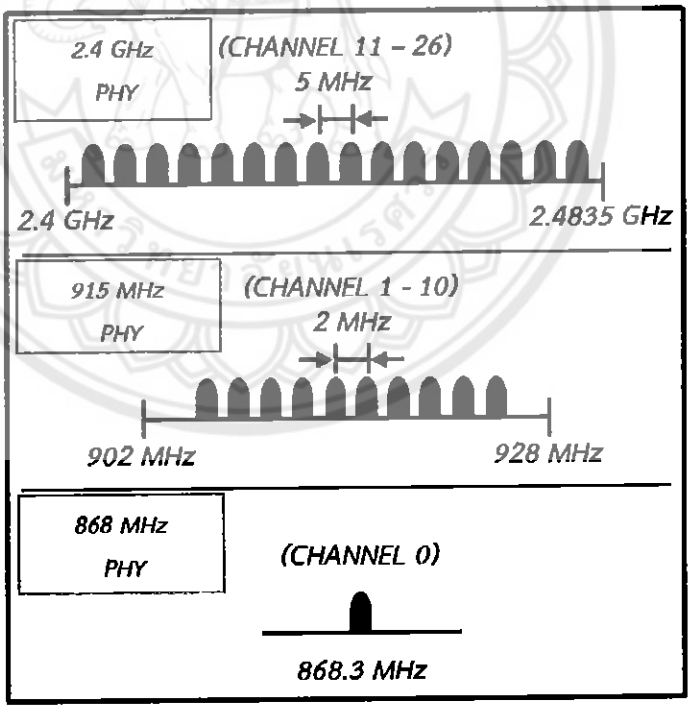
2.1.1.4 ชั้นเครือข่าย (Network layer) ทำหน้าที่ในการจัดการรูปแบบการเชื่อมต่อและจัดการกับ MAC นอกจากนี้แล้วยังทำหน้าที่ในการค้นหาเส้นทางและค้นหาโปรโตคอล รวมไปถึงการจัดการทางด้านความปลอดภัยด้วย

2.1.1.5 ชั้น MAC (Mac layer) ทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ การดูแลรักษาเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลและการสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลในการส่ง

2.1.1.6 ชั้นกายภาพ (Physical layer) เป็นในระดับของสัญญาณทำหน้าที่ในการสื่อสาร และรับย่านความถี่วิทยุในระดับกายภาพ

2.1.2 มาตรฐานของ Zigbee

สำหรับ Zigbee ใช้มาตรฐานการสื่อสาร IEEE 802.15.4 มีการกำหนดย่านความถี่ใช้งานมาตรฐานทั้งหมด 3 ย่าน ความถี่ได้แก่ย่านความถี่ 2.4 GHz ย่านความถี่ 915 MHz และย่านความถี่ 868 MHZ โดยแสดงย่านความถี่ของ Zigbee ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ของ Zigbee

1. จากรูปที่ 2.1 ด้านบนสุดเป็นย่านความถี่ 2.4 GHz โดยมีความถี่ต่ำสุดอยู่ที่ 2.4 GHz และสูงสุดอยู่ที่ 2.4835 GHz ประกอบไปด้วย 16 ช่องสัญญาณเริ่มตั้งแต่ช่องสัญญาณที่ 11 จนถึง ช่องสัญญาณที่ 26 และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 250 Kbps และมีความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ 5 MHz [8,12]

2. ถัดมาเป็นย่านความถี่ 915 MHz ซึ่งมีความถี่ต่ำสุดอยู่ที่ 902 MHz และสูงสุดอยู่ที่ 928 MHz ประกอบไปด้วย 10 ช่องสัญญาณเริ่มตั้งแต่ช่องสัญญาณที่ 1 จนถึงช่องสัญญาณที่ 10 และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 40 Kbps และมีความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ 2 MHz

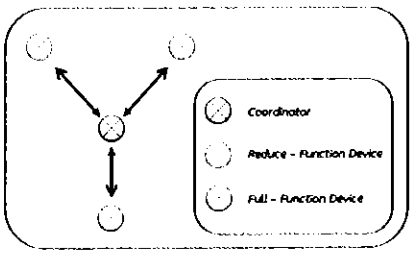
3. สุดท้ายเป็นย่านความถี่ 868 MHz ซึ่งมีความถี่เดียวคือ 868.3 MHz ประกอบไปด้วย 1 ช่องสัญญาณคือช่องที่ 0 และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 20 Kbps

2.1.3 รูปแบบการเชื่อมต่อ (Topology) ของ Zigbee

เครือข่าย Zigbee เป็นเครือข่ายการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personnel Area Network: WPAN) การสร้างเครือข่าย Zigbee ต้องประกอบไปด้วยโหนด 2 โหนดขึ้นไปโดยมีโหนดที่ทำหน้าที่เป็นโหนดประสานงาน (Coordinator Node) 1 โหนดและมีโหนดอื่นซึ่งสามารถจะเป็นโหนดฟังก์ชั่นอุปกรณ์แบบเต็มรูปแบบ (Full – Function Device) หรือโหนดฟังก์ชั่นอุปกรณ์แบบลดทอน (Reduce – Function Device)

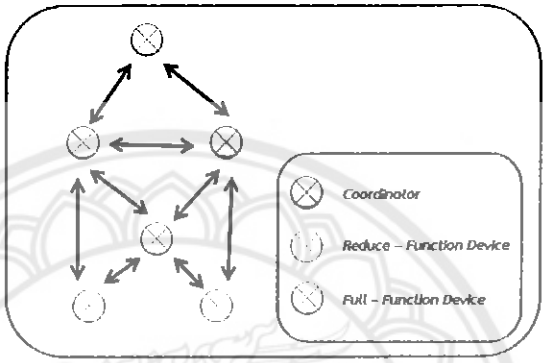
เครือข่ายไร้สาย Zigbee สามารถแบ่งรูปแบบการเชื่อมต่อได้เป็น 3 รูปแบบ [8-9,11-12] ดังนี้

1. รูปแบบการเชื่อมต่อแบบดาว (Star Topology) มีลักษณะการทำงานแบบแพร่กระจาย (Broadcast) และโหนดทุกโหนดที่อยู่ในระบบเครือข่ายจะได้รับข้อมูลที่ถูกส่งออกไปทุกตัว



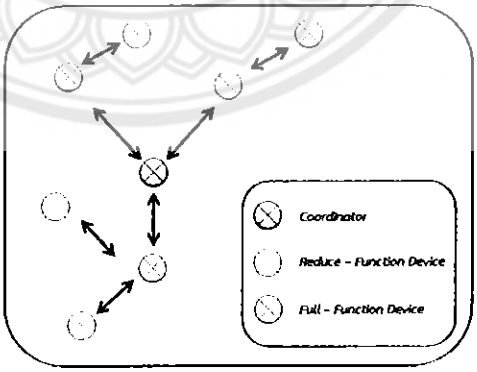
รูปที่ 2.2 แสดงการเชื่อมต่อแบบดาว

2. รูปแบบการเชื่อมต่อแบบตาข่าย (Mesh Topology) [10] มีลักษณะการทำงานโดยโหนดแต่ละโหนดเชื่อมต่ออยู่บนโครงข่ายกับหลายโหนดเป็นข้อดีคือ หากโหนดใดโหนดหนึ่งเสียหาย การสื่อสารข้อมูลยังสามารถทำงานได้อยู่ผ่านเส้นทางอื่น ดังนั้นการเชื่อมต่อแบบตาข่ายจึงเป็นรูปแบบการเชื่อมต่อที่มีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.3 แสดงการเชื่อมต่อแบบตาข่าย (Mesh Topology)

3. รูปแบบการเชื่อมต่อแบบกลุ่มต้นไม้ (Cluster Tree) มีลักษณะการทำงานในแบบส่งผ่านข้อมูล คือข้อมูลที่จะถูกส่งจากโหนดประสานงานไปยังโหนดปลายทาง ต้องส่งผ่านโหนดหาเส้นทาง ซึ่งเป็นตัวกลางในการค้นหาเส้นทางในการรับส่งข้อมูลภายในระบบ



รูปที่ 2.4 แสดงการเชื่อมต่อแบบกลุ่มต้นไม้ (Cluster Tree)

2.2 X-Bee

X-Bee เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารแบบไร้สารตามรูปแบบมาตรฐานของ Zigbee Protocol ภายในของตัว X-Bee จะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช่ในการควบคุมและสั่งการทำงาน X-Bee และมีไอซีคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งทำหน้าที่ทางด้านการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายของตัว X-Bee

X-Bee จะรับส่งข้อมูลแบบกึ่งสองทิศทาง (Half Duplex) คือสามารถที่จะส่งข้อมูลสวนทางกันได้แต่จะไม่สามารถส่งได้พร้อมกันจะต้องสลับกันรับและส่ง ที่ความถี่ 2.4 GHz นอกจากนี้ X-Bee มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ และใช้แรงดันแหล่งจ่ายไฟ 2.7 – 3.3 โวลต์ สามารถสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวอื่นผ่าน UART (TTL) ได้ แต่ต้องปรับระดับสัญญาณให้เท่ากันเสียก่อน

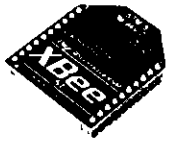
การใช้งาน X-Bee นั้นไม่ยุ่งยากเพราะทางบริษัทผู้ผลิตได้ทำการพัฒนา Firmware สำหรับใช้งานกับ X-Bee แต่ละรุ่นเอาไว้ให้ โดยสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ผ่านทาง software interface เช่น X-CTU เป็นต้น

2.2.1 ชนิดของ X-Bee

X-Bee ถูกพัฒนาขึ้นมาทั้งหมด 2 รุ่น ได้แก่รุ่น Serie1 และรุ่น Serie2 โดยทั้งสอง Series จะไม่สามารสื่อสารข้าม Series ได้ดังนั้นหากในระบบมีการเลือกใช้ X-Bee Series ใด ก็จะต้องเลือกใช้ Series นั้นทั้งระบบ และคุณสมบัติก็จะแตกต่างกันไป

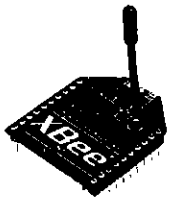
หากแบ่งชนิดของ X-Bee ตามชนิดของเสาอากาศ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดดังนี้

1. X-Bee ชนิด PCB Antenna เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้พื้นที่เล็กๆ และไม่มีสายอากาศยื่นออกมา ดังนั้นสามารถนำไปใส่กล่องพลาสติกได้แต่จะไม่สามารถใส่กล่องเหล็กได้ เพราะกล่องเหล็กจะบดบังสัญญาณทำให้ไม่สามารถสื่อสารได้



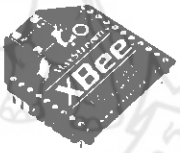
รูปที่ 2.5 X-Bee ชนิด PCB Antenna

2. X-Bee ชนิด Wire Antenna เหมาะสำหรับการทดลองหรือการมใช้งานทั่วไปโดยไม่ได้ติดตั้งในกล่องเพราะจะมีเสาอากาศที่เป็นปัญหาในการติดตั้งอยู่บ้าง แต่ก็ช่วยในการสื่อสารให้ได้ตามระยะทางที่ระบุไว้ตามรุ่น



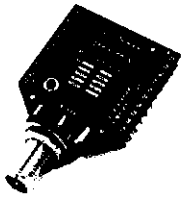
รูปที่ 2.6 X-Bee ชนิด Wire Antenna

3. X-Bee ชนิด UFL Antenna เหมาะสำหรับนำไปติดตั้งในกล่องจะใช้งานได้สะดวกและมีเสาอากาศยื่นออกมานอกกล่องได้แต่เนื่องจากใช้สายอากาศต่อจาก X-Bee และมีเสาต่อจากสายอากาศอีกจึงอาจทำให้สัญญาณมีการลดทอนบ้างและสามารถสื่อสารได้ไกลตามระยะที่ระบุไว้ตามรุ่น



รูปที่ 2.7 X-Bee ชนิด UFL Antenna

4. X-Bee ชนิด SMA Antenna เหมาะสำหรับการติดตั้งในกล่องแต่ต้องออกแบบจุดติดตั้ง X-Bee ให้เสาอากาศออกมานอกรูเจาะเพื่อใช้สำหรับเสียบเสาอากาศและ X-Bee ชนิดนี้สามารถส่งสัญญาณได้เสถียรที่สุดและสามารถสื่อสารได้ไกลตามระยะที่ระบุไว้ตามรุ่น



รูปที่ 2.8 X-Bee ชนิด SMA Antenna

2.3 ระบบบอกตำแหน่งพิกัดโลก (Global Positioning System : GPS) [3]

จีพีเอส คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่บอกตำแหน่งที่อยู่ของตัวมันเองบนพื้นผิวโลก โดยใช้การสื่อสารจากดาวเทียมตั้งแต่ 3 ดวงหรือมากกว่า คำนวณของความถี่สัญญาณนาฬิกาออกมาเพื่อค้นหาตำแหน่งให้ผู้ใช้ทราบ มีหลักการดังนี้

เริ่มจากคำนวณระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับเครื่องจีพีเอส ซึ่งจะต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แม่นยำ เมื่อเครื่องจีพีเอสสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้มากกว่าหรือเท่า 3 ดวงแล้ว จะมีคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมถึงเครื่องจีพีเอส โดยจากสูตรคำนวณทางฟิสิกส์คือ

$$s = vt \tag{2.1}$$

โดยที่ s คือ ระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับเครื่องจีพีเอส

v คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

t คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยดาวเทียมทั้ง 3 ดวงจะส่งสัญญาณเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามายังเครื่องจีพีเอสโดยมีความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นเท่ากับความเร็วของแสงประมาณ 299,792,458 เมตรต่อวินาที แต่ระยะเวลาในการรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากดาวเทียมแต่ละดวงจะไม่เท่ากัน เนื่องจากระยะห่าง หรือตำแหน่งของดาวเทียมต่างกัน ตัวอย่าง เช่น ดาวเทียมดวงที่ 1 มีระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมถึงเครื่องจีพีเอส ประมาณ 0.097 วินาที จึงมีระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับจีพีเอสประมาณ 29,079,868.426 เมตร

$$\begin{aligned} s &= 299,792,458 \times 0.097 \\ &= 29,079,868.426\,m \end{aligned}$$

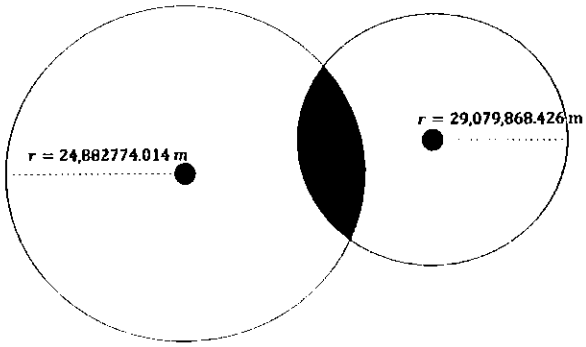
ณะนั้นตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในวงกลมที่มีรัศมีประมาณ 17,460 ไมล์ ซึ่งจะเห็นว่าดาวเทียมดวงเดียวยังไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอน หรือมีความละเอียดเพียงพอได้

รูปที่ 2.9 พื้นที่ตำแหน่งที่จีพีเอสคำนวณจากดาวเทียม 1 ดวง

จากนั้นจึงใช้ข้อมูลเพิ่มเติมจากดาวเทียมดวงที่ 2 มีระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมถึงเครื่องจีพีเอสประมาณ 0.083 วินาที ระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับจีพีเอสประมาณ 24,882,774.014 เมตร

$$s = 299,792,458 \times 0.083$$
$$= 24,882,774.014\,m$$

ณะนั้นตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในพื้นที่ซ้อนทับกัน (Intersect) ของทั้ง 2 พื้นที่ระหว่างวงกลมจากดาวเทียมดวงที่ 1 กับดาวเทียมดวงที่ 2 ดังพื้นที่สีเทาในรูปที่ 2.10

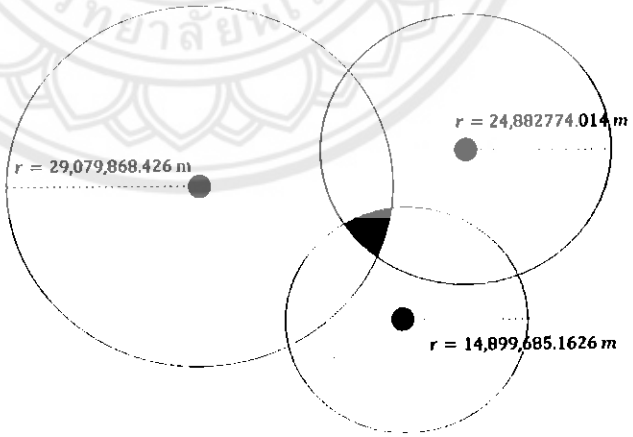


รูปที่ 2.10 พื้นที่ตำแหน่งที่จีพีเอสคำนวณจากดาวเทียม 2 ดวง

สุดท้ายค่าจากดาวเทียมดวงที่ 3 มีระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมถึงเครื่องจีพีเอสประมาณ 0.0497 วินาที ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับจีพีเอสประมาณ 14,899,685.1626 เมตร

$$s = 299,792,458 \times 0.0497$$
$$= 14,899,685.1626\,m$$

ณะนั้นตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในพื้นที่ซ้อนทับกัน (Intersect) ระหว่างวงกลมที่ได้คำนวณจากดาวเทียมทั้ง 3 ดวง ดังพื้นที่สีเทาในรูปที่ 2.11



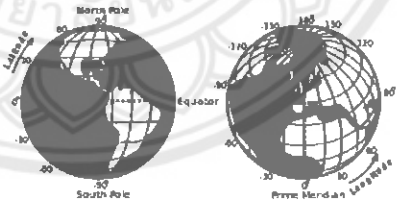
รูปที่ 2.11 พื้นที่ตำแหน่งที่จีพีเอสคำนวณจากดาวเทียม 3 ดวง

จะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนของดาวเทียมทำให้พื้นที่ที่ใช้ระบอกตำแหน่งของโมดูลจีพีเอสจะลดลง ดังนั้นหากมีจำนวนของดาวเทียมที่มากกว่า 3 ดวงจะทำให้ความแม่นยำ ในการบอกตำแหน่งก็จะมีเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

2.4 พิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinate System)

2.4.1 ละติจูด(Latitude) และ ลองจิจูด(Longitude) [5-6]

ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System) เป็นระบบที่ใช้ระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลก มีเส้นแนวนอนเรียกว่าละติจูด ใช้เส้น "ศูนย์สูตร" เป็นเส้นอ้างอิงตามธรรมชาติมีค่าเป็น 0° เส้นที่ขนานกับเส้นศูนย์สูตรขึ้นไปทางขั้วโลกเหนือมีหน่วยเป็นองศาเหนือหรืออาจแทนทิศทางเป็นค่าบวก เส้นที่ขนานกับเส้นศูนย์สูตรลงไปทางขั้วโลกใต้มีหน่วยเป็นองศาใต้หรืออาจแทนทิศทางเป็นค่าลบ เส้นแนวตั้งเรียกว่า ลองจิจูด มีการกำหนดเส้นอ้างอิงให้มีชื่อว่า "ไพรม์เมอริเดียน" มีค่า 0° เส้นที่ขนานกับเส้นไพรม์เมอริเดียนไปทางทิศตะวันออกมีหน่วยเป็นองศาตะวันออกหรืออาจแทนทิศทางเป็นค่าบวก และ เส้นที่ขนานกับเส้นไพรม์เมอริเดียนไปทางทิศตะวันตกมีหน่วยเป็นองศาตะวันตกหรืออาจแทนทิศทางเป็นค่าลบ หน่วยมาตรฐานสำหรับการคำนวณมีหลายมาตรฐาน



รูปที่ 2.12 เส้นละติจูด และ ลองจิจูดของโลก [4]

2.4.2 การแปลงหน่วยระบบพิกัดโลก

ซึ่งหน่วยที่นำมาใช้กับบทความนี้มี 2 หน่วยคือ

หน่วย Degrees Minutes Seconds (DMS) มักใช้ในโมดูลระบบบอกตำแหน่งพิกัดโลก (GPS) แบ่งออกเป็น 3 ค่า ค่าแรกเป็นค่าองศาหากเป็นค่าของ ละติจูด มีค่าเริ่มต้นที่ 0° จนถึง 90° แบ่งเป็นองศาเหนือ (N) กับองศาใต้ (S) และค่าของลองจิจูดมีค่าเริ่มต้นที่ 0° จนถึง 180° แบ่งเป็นองศาตะวันออก (E) กับองศาตะวันตก (W) แต่ละองศาแบ่งออกเป็นค่า Minutes มี 60 ลิปดา แต่ละลิปดาแบ่งออกเป็นค่า Seconds มี 60 ฟิลิปดา แต่ละฟิลิปดามีค่าระยะทางประมาณ 30.48 เมตร

หน่วย Decimal Degrees (DD) หน่วยนี้ใช้ระบุค่าในลักษณะของทศนิยมซึ่งง่ายต่อการนำมาคำนวณในคอมพิวเตอร์ หากเป็นค่าของ ละติจูด เริ่มต้นที่ 0° จนถึง 90° แบ่งเป็นองศาเหนือ (N) กับองศาใต้ (S) และ ลองจิจูด เริ่มต้นที่ 0° จนถึง 180° แบ่งเป็นองศาตะวันออก (E) กับองศาตะวันตก (W) เช่นเดียวกับแบบ DMS แต่จะความละเอียดของตำแหน่งโดยใช้จุดทศนิยมแทน

การแปลงค่าพิกัดตำแหน่งในหน่วย DMS เป็น DD เพื่อที่จะนำค่าที่อ่านได้จาก Module GPS มาคำนวณในคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงดังสมการที่ (2.2)

$$DD = \left(\frac{Seconds}{3600}\right) + \left(\frac{Minutes}{60}\right) + \deg rees \qquad (2.2)$$

2.5 มาตรฐานโปรโตคอล NMEA 0183 [1]

อุปกรณ์จีพีเอสเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องมีการติดต่อกับหน่วยประมวลผล หรือระบบประมวลผลอื่นเพื่อนำเอาข้อมูลที่ได้ไปใช้งานต่อไป การติดต่อระหว่าง 2 โมดูลนี้ใช้มาตรฐานการสื่อสารโปรโตคอล NMEA 0183 (National Marine Electronics Association) เป็นมาตรฐานการสื่อสารในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางทะเล ในชุดข้อมูลประกอบด้วยฟิลด์ที่บอกข้อมูลในหมวดต่างๆ มีประโยค (sentence) ที่ชัดเจน และจะขึ้นต้นด้วย "$GP" แล้วตามด้วยชื่อฟิลด์นั้นๆ หากต้องการทราบข้อมูลใด จะต้องทราบรูปแบบของประโยคนั้นๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องตามต้องการ 1 ชุดข้อมูลประกอบด้วยฟิลด์ต่างๆดังดังตารางที่ 0 (ตามโมดูลจีพีเอสของบริษัท LOCOSYS รุ่น S4-1513 ใช้CHIPSET SiRF Star 4)

ตารางที่ 2.2 ฟิลด์ข้อมูลจากจีพีเอสโมดูล

ฟิลด์	คำอธิบาย
$GPGGA	Time, position and fix type data
$GPGLL	Latitude, Longitude, UTC time of position fix and status
$GPGSA	GPS receiver operating mode, satellites used in the position solution, and DOP values
$GPGSV	Number of GPS satellites in view satellite ID numbers, elevation, azimuth, & SNR values
$GPMSS	Signal-to-noise ratio, signal strength, frequency, and bit rate from a radio-beacon receiver
$GPRMC	Time, date, position, course and speed data
$GPVTG	Course and speed information relative to the ground

จากข้อมูลต่างๆตามตารางที่ 2.2 พบว่าระบบประมาณเวลาจะเลือกใช้เพียง 2 ฟิลด์คือ $GPGLL เพื่อใช้ค้นหาตำแหน่งปัจจุบันของรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร และฟิลด์ $GPVTG เพื่อใช้หาความเร็ว (Velocity) ในการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งแต่ละฟิลด์มีรูปแบบของประโยคดังนี้

2.5.1 ฟิลด์ $GPGLL

ฟิลด์นี้จะเป็นฟิลด์ที่ใช้บอกตำแหน่งซึ่งสามารถอธิบายรูปแบบของประโยคดังตัวอย่างตามข้อมูลต่อไปนี้ โดยใช้ตารางที่ 2.3 อธิบายรายละเอียดของข้อมูล

*"$GPGLL,3723.2475,N,12158.3416,W,161229.487,A,A*41"*

ตารางที่ 2.3 อธิบายลักษณะของประโยคฟิลด์ข้อมูล $GPGLL

ชื่อ	ตัวอย่าง	คำอธิบาย
Message ID	$GPGLL	GLL protocol header
ละติจูด	3723.2475	ddmm.mmm
N/S Indicator	N	N=north or South
ลองจิจูด	12158.3416	dddmm.mmm
E/W Indicator	W	E=east or W=west
UTC Time	161229.487	hhmmss.sss

Status	A	A=data valid or V=data not valid
Mode	A	A = Autonomous, D=DGPS, E=DR
Checksum	*41	
<CR><LF>		End of message termination

2.5.2 ฟิลด์ $GPVTG

ฟิลด์นี้จะเป็นฟิลด์ที่ใช้บอกความเร็วในการเคลื่อนที่ซึ่งสามารถอธิบายรูปแบบของประโยคดังตัวอย่างตามข้อมูลต่อไปนี้ โดยใช้ตารางที่ 2.4 อธิบายรายละเอียดของข้อมูล

*"$GPVTG,309.62,T, ,M,0.13,N,0.2,K,A*23"*

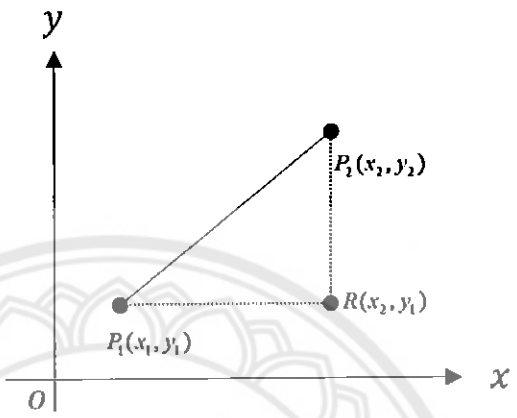
ตารางที่ 2.4 อธิบายลักษณะของประโยคฟิลด์ข้อมูล $GPGLL

ชื่อ	ตัวอย่าง		คำอธิบาย
Message ID	$GPVTG		VTG protocol header
Course	309.62	degrees	Measured heading
Reference	T		True
Course		degrees	Measured heading
Reference	M		Magnetic
Speed	0.13	Knots	Measured horizontal speed
Units	N		Knots
Speed	0.2	km/hour	Measured horizontal speed
Unit	K		Kilometers per hour
Checksum	*23		
<CR><LF>			End of message termination

2.6 ระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด [2]

การคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดคือการนำตำแหน่ง 2 ตำแหน่งแสดงในลักษณะของคู่อันดับ (x, y) กำหนดให้เป็นจุด $P_1(x_1, y_1)$ และจุด $P_2(x_2, y_2)$ อยู่ในบนระนาบใดๆ ที่

ประกอบด้วยแกนพิกัด 2 แกนตั้งฉากกัน โดยในแกนแนวตั้งเป็นแกน y และแกนในแนวนอนเป็นแกน x ทั้ง 2 แกนตัดกันที่จุดกำเนิด o ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 จุด 2 จุดบนพิกัดฉาก

จากรูปที่ 2.13 ระยะห่างระหว่างจุด P_1 และ P_2 ทำได้โดยลากเส้นตรงขนานกับแกน x ให้ผ่านจุด $P_1(x_1, y_1)$ และลากเส้นตรงอีกเส้นขนานกับแกน y ให้ผ่านจุด $P_2(x_2, y_2)$ เส้นตรงทั้งสองจะตัดกันที่จุด $R(x_2, y_1)$ จะได้รูปสามเหลี่ยม P_1RP_2 เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยมีมุมคือ P_1RP_2 เป็นมุมฉาก จากทฤษฎีบทปีธาโกรัส จะได้ว่า

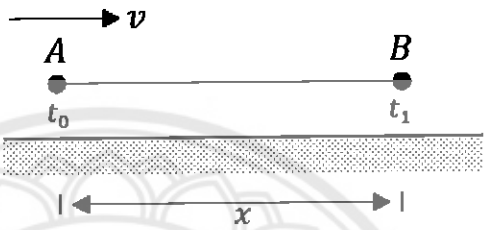
$$|P_1P_2| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \qquad (2.3)$$

2.7 การเคลื่อนที่ และการประมาณเวลา

การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุใดๆ แบ่งเป็นการศึกษาใน 2 ลักษณะคือ kinematics และ dynamics สำหรับ kinematics เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยไม่คำนึงถึงสาเหตุที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไป

ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ประกอบด้วยจุดเริ่มต้นของวัตถุ ตำแหน่งสุดท้ายของวัตถุ และเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นเมตร (m) อัตราเร็ว หมายถึง ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s)

พิจารณาการเคลื่อนที่ของจุดในแนวตรง ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ

จากรูปที่ 2.14 เมื่อจุดเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ที่เวลา t_0 ด้วยความเร็ว v ไปจนถึงจุด B ที่เวลา t_1 จะได้ระยะทางที่มีขนาดเท่ากับ x ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.4

$$x = (t_1 - t_0)v \tag{2.4}$$

ในการประมาณเวลาที่รถไฟฟ้าจะเคลื่อนที่มาถึงจุดจอดรับผู้โดยสาร (Bus Stop) นั้น มีข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากโมดูลจีพีเอส ซึ่งประกอบด้วย ตำแหน่งของรถไฟฟ้า (A) อัตราเร็วของรถ (v) และตำแหน่งของจุดจอดรับผู้โดยสาร (B) จากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำไปหาระยะห่าง (x) ระหว่างรถไฟฟ้า และจุดจอดรับผู้โดยสารได้จากสมการที่ 2.0 เมื่อได้ระยะห่างระหว่าง 2 จุด มาแล้ว จึงนำสมการที่ 2.5 มาหาค่า t_1 เพื่อใช้ประมาณเวลาในการที่รถไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปจุดจอดรับผู้โดยสาร โดย $t_0 = 0$ เสมอ

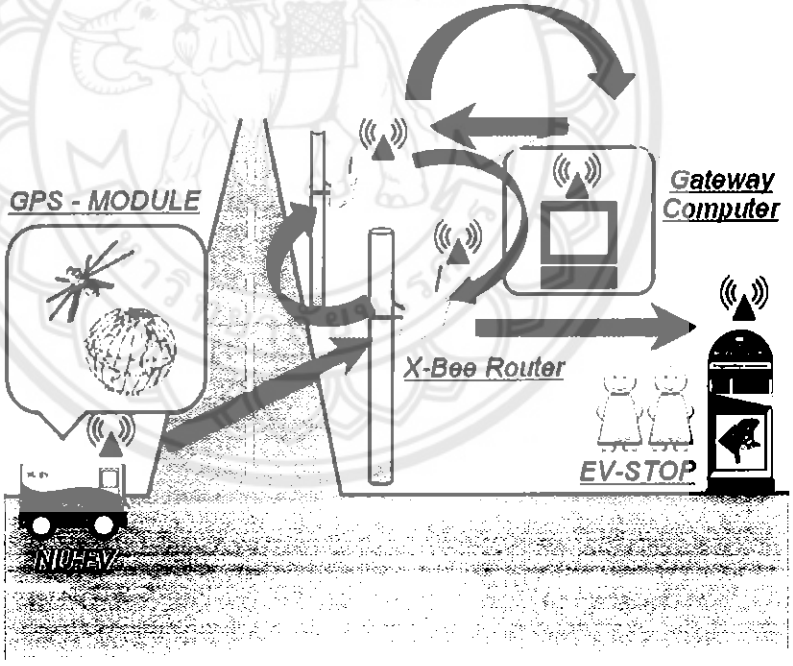
$$t_1 = \frac{x}{v} \tag{2.5}$$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

ในบทนี้เป็นการนำหลักการและทฤษฎีที่ได้ศึกษามาใช้ในขั้นตอนของการดำเนินโครงการ โดยจะต้องวิเคราะห์ ออกแบบระบบและประยุกต์ใช้งานกับระบบ โดยจะกล่าวถึงภาพรวมระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร การระบุตำแหน่งของรถไฟฟ้า GPS Tracker Box เครือข่ายการสื่อสารของระบบ คอมพิวเตอร์เกตเวย์และ Gateway Box การออกแบบระบบการรับข้อมูลของป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร การออกแบบจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ การออกแบบ X-Bee โหนดเราท์เตอร์ การออกแบบป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร และ การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์

3.1 ภาพรวมระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร



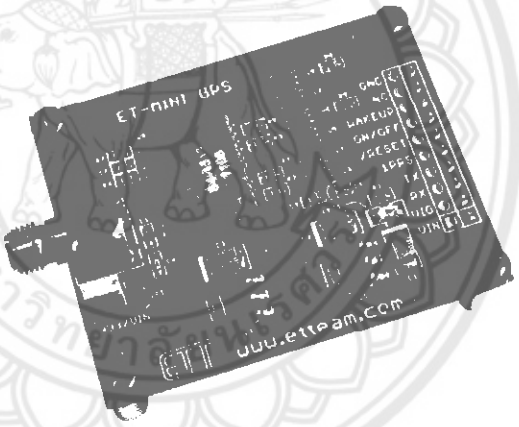
รูปที่ 3.1 ภาพรวมระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรผ่านเครือข่าย Zigbee

จากรูปที่ 3.1 เป็นภาพรวมของระบบติดตามรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรโดยมีหลักการทำงานคือรถไฟฟ้าจะติดตั้งโมดูลบอกตำแหน่งพิกัด (GPS – Module) และ X-Bee เอาไว้

รถไฟฟ้าจะทำการรับข้อมูลตำแหน่งพิกัดและส่งผ่าน X-Bee ไปยัง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ หลังจากนั้น X-Bee โหนดเราท์เตอร์จะทำการค้นหาเส้นทางไปยัง X-Bee ที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์เกตย์เวย์เพื่อประมวลผลค่าการประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรและทำการส่งไปยัง X-Bee ที่ติดตั้งอยู่กับป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้ที่ใช้บริการจะสามารถรู้ค่าการประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรได้ว่าจะรถไฟฟ้าจะเดินทางมาถึงเมื่อใด

3.2 การระบุตำแหน่งของรถไฟฟ้า

โมดุลบอกตำแหน่งพิกัด รุ่น ET-MINI GPS มีชิพประมวลผลสัญญาณจีพีเอสที่สื่อสารกับดาวเทียมรุ่น S4-1513 SiRF Star IV ความเร็วในการอัพเดทข้อมูลที่ประมาณ 1 วินาทีต่อครั้ง (ขึ้นอยู่ที่การตั้งค่า) ใช้โปรโตคอล โดย National Marine Electronics Association (NMEA) 0183 แสดงข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ใช้รูปแบบการสื่อสารอนุกรม (UART) TTL 3.3 โวลต์

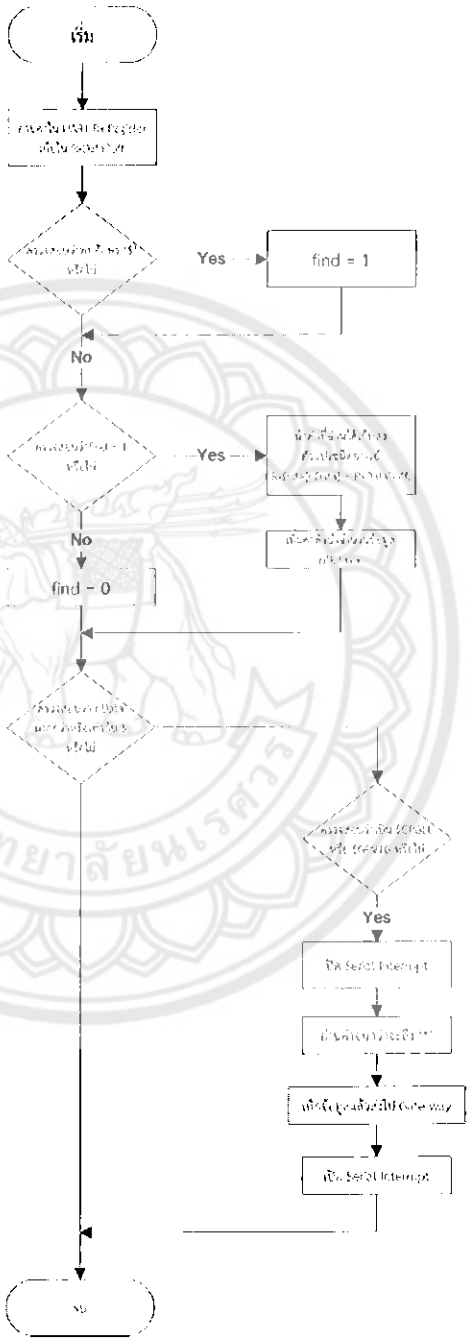


รูปที่ 3.2 Module GPS รุ่น ET-GPS MINI

```
$GPGGA,113230.000,1644.7696,N,10011.7926,E,1,06,4.6,190.7,M,-33.0,M,,0000*7A<CR><LF>
$GPGLL,1644.7696,N,10011.7926,E,113230.000,A,A*59<CR><LF>
$GPGSA,A,3,19,13,03,06,16,07,,,,,,6.7,4.6,4.8*32<CR><LF>
$GPGSV,3,1,12,19,76,083,21,13,60,300,41,03,56,034,32,06,35,038,34*71<CR><LF>
$GPGSV,3,2,12,16,20,037,36,07,19,324,42,23,56,178,26,28,02,255,30*72<CR><LF>
$GPGSV,3,3,12,30,00,000,18,42,40,108,,11,29,080,,32,18,220,*70<CR><LF>
$GPRMC,113230.000,A,1644.7696,N,10011.7926,E,0.00,51.15,070413,,,A*5F<CR><LF>
$GPVTG,51.15,T,,M,0.00,N,0.0,K,A*3D<CR><LF>
$GPGGA,113231.000,1644.7696,N,10011.7926,E,1,06,4.6,190.7,M,-33.0,M,,0000*7B<CR><LF>
$GPGLL,1644.7696,N,10011.7926,E,113231.000,A,A*58<CR><LF>
$GPGSA,A,3,19,13,03,06,16,07,,,,,,6.7,4.6,4.8*32<CR><LF>
$GPGSV,3,1,12,19,76,083,21,13,60,300,41,03,56,034,32,06,35,038,33*76<CR><LF>
$GPGSV,3,2,12,16,20,037,36,07,19,324,43,23,56,178,26,28,02,255,31*72<CR><LF>
$GPGSV,3,3,12,30,00,000,18,42,40,108,,11,29,080,,32,18,220,*70<CR><LF>
$GPRMC,113231.000,A,1644.7696,N,10011.7926,E,0.00,51.15,070413,,,A*5E<CR><LF>
$GPVTG,51.15,T,,M,0.00,N,0.0,K,A*3D<CR><LF>
$GPGGA,113232.000,1644.7696,N,10011.7926,E,1,06,4.6,190.7,M,-33.0,M,,0000*78<CR><LF>
```

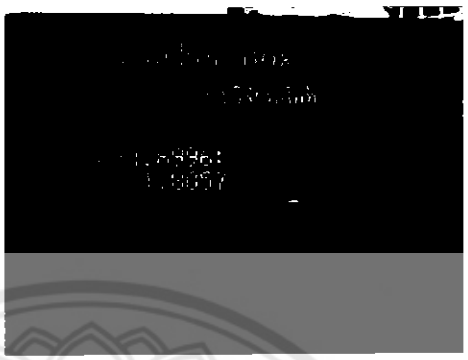
รูปที่ 3.3 ลักษณะโครงสร้างข้อมูลของโปรโตคอล NMEA 0183

จากนั้นเขียนโปรแกรมเพื่อตัดประโยคของฟิลด์ $GPGLL และ $GPVTG ส่งไปคำนวณหาค่าเส้นรุ้ง และเส้นแวง และความเร็วของการเคลื่อนที่ต่อไป มีวิธีการตัดประโยคในฟังก์ชันการขัดจังหวะด้วยสัญญาณจากพอร์ตอนุกรม (Serial Interrupt) ดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าละติจูด กับ ลองจิจูด

ใช้การสื่อสารข้อมูลอนุกรรมระหว่างโมดุลระบุพิกัดตำแหน่งพิกัดโลกกับไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล ARM Cortex-M3 เบอร์ STM-32F103/128 ด้วยอันตราการรับส่งขอมูล baud rate ที่ 9600



รูปที่ 3.5 แสดงผลลัพธ์การอ่านค่าจากโมดุลระบุตำแหน่งพิกัดโลก

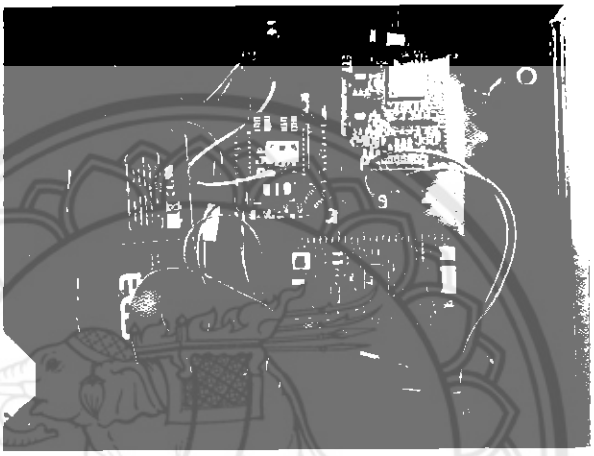
3.3 PS Tracker Box

GPS Tracker Box เป็นกล่องอิเล็กทรอนิกส์ที่ภายในบรรจุระบบหาตำแหน่งพิกัดของตัวมันเอง สามารถส่งข้อมูลที่อ่านได้ผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee โดยใช้โมดุล X-Bee 2.4 GHz ผ่านระบบเครือข่ายที่วางไว้ด้วย Zigbee เช่นกันไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เกตเวย์ จากนั้นคอมพิวเตอร์เกตเวย์ จึงนำข้อมูลที่ได้ไปส่งไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์เซิฟเวอร์เก็บลงฐานข้อมูลต่อไป ภายในกล่อง GPS Tracker Box ประกอบไปด้วยโมดุลหลัก 3 ตัว คือ ไมโครคอนโทรเลอร์ 32 บิต ตระกูล ARM Cortex-M3 เบอร์ STM32F103/128 กับโมดุล X-Bee และโมดุลจีพีเอส รุ่น ET-GPS MINI ภายในเครื่องยังมีระบบแสดงสถานะของปริมาณไฟฟ้าในแบตเตอรี่ภายในว่าอยู่ในระดับใดเพื่อให้ผู้ใช้สามารถรู้ได้ว่าเวลาใดควรนำแบตเตอรี่ไปชาร์จ รูปภาพภายในกล่อง GPS Tracker Box แสดงดังรูป

รูปที่ 3.6 การจัดว่าง Module ต่างๆภายใน GPS Tracker Box

จากรูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งการวางโมดูลต่างๆภายใน GPS Tracker Box ดังนี้

1. ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล ARM Cortex-M3 เบอร์ STM32F103/128
2. โมดูล GPS MINI
3. โมดูล Wireless Zigbee 2.4 GHz รุ่น X-Bee Pro 50mW U.FL Series 2 (SB)



รูปที่ 3.7 แสดงภาพรวมภายในทั้งหมด

ภายในกล่อง GPS Tracker Box ตัวมันเองมีแบตเตอรี่ที่จ่ายพลังงานให้กับระบบ ขนาดของแบตเตอรี่คือ 6 โวลต์ 1.3Ah/20HR รุ่น LS6-1.3 ชนิด PB สามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย

ภายนอกประกอบด้วยด้านหน้าที่เป็นส่วนแสดงผล และปุ่มสั่งงาน ต่างๆของระบบเพื่อให้ผู้ใช้สามารถดูสถานะต่างๆที่จำเป็นในการใช้งานได้ เช่นแอลซีดีแสดงตำแหน่งปัจจุบันที่ GPS Tracker Box อ่านค่าได้แบ่งออกเป็น 2 บรรทัด คือ ด้านบนแสดงตำแหน่ง ละติจูดด้านล้างแสดงลองจิจูด กึ่งกลางด้านหน้ามีปุ่มกด 2 ปุ่ม โดยปุ่มบนเป็นปุ่มสั่งให้ไมโครคอนโทรเลอร์ภายในเริ่มต้นการทำงานใหม่ หรือเป็นการส่งให้ระบบเริ่มต้นทำงานใหม่ทั้งหมด และปุ่มด้านล่างเป็นปุ่มที่ใช้ในการปิด/เปิดการรับค่าจากโมดูลจีพีเอส หากปิดการใช้งานอยู่จะมีไฟแจ้งว่าโมดูลจีพีเอส ไม่ทำงาน ถัดไปเป็นส่วนแสดงผลด้วยหลอดไฟแอลอีดีมีทั้งแถวบนและแถวล่าง แถวบนเป็นหลอดไฟแอลอีดีแสดงสถานะของการสื่อสารข้อมูลมีจำนวน 3 หลอดหลอดแรกสีแดงแสดงสภาวะของ RSSI และถัดมาเป็นหลอดไฟสีเขียวแสงว่าโมดูล X-Bee ได้รับพลังงานไฟฟ้า และสุดท้ายเป็น

หลอดสีแดงแสงสภาวะของ ASSO ต่อมาเป็นชุดแสดงผล แอลอีดีด้านล่าง มีด้วยกัน 2 ตัว ด้านซ้ายเป็นหลอด แอลอีดีแสดงว่าตอนนี้ GPS Tracker Box เปิดใช้งานอยู่หรือไม่หากเปิดใช้งานหลอดแอลอีดีดวงนี้จะติด ถัดไปด้านขวาเป็นหลอด แอลอีดีแสดงสถานะของจีพีเอสว่าถูกเปิดใช้งานอยู่หรือไม่หากหลอด แอลอีดีติดแสดงว่าปิดการใช้งาน GPS อยู่ในขณะนั้น ด้านหน้าของ GPS Tracker Box สามารถแสดงได้ดังรูป

รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งของส่วนแสดงผลและส่วนควบคุมด้านหน้า GPS Tracker Box

จะเห็นว่าด้านหน้าของ GPS Tracker Box ออกแบบลวดลายให้มีความสวยงามและแสดงตำแหน่งของส่วนแสดงและส่วนควบคุมไว้เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน

ด้านหลังของ GPS Tracker Box แบ่งออกเป็นส่วนของ Power และส่วนของการติดต่อสื่อสารของระบบ โดยส่วนของ Power จะเป็นสวิตช์ปิด/เปิดการจ่ายพลังงานให้กล่องเริ่มต้นการใช้งาน หรือปิดเมื่อเลิกใช้งานแล้ว ถัดมามีช่องไว้เสียบสายชาร์จแบตเตอรี่ให้กับกล่อง สีแดงเป็นขั้วบวก และสีดำเป็นขั้วลบ โดยก่อนชาร์จแบตเตอรี่ควรปิดสวิตช์ Power ก่อนชาร์จ ถัดไปเป็นช่องเสียบเสาสัญญาณโมดูลเครือข่ายไร้สาย Zigbee 2.4 GHz และข้างๆ กันเป็นช่องเสียบสายสัญญาณ รุ่น GPS-GAA1575A ลักษณะด้านหลังของ GPS Tracker Box แสดงดังรูป

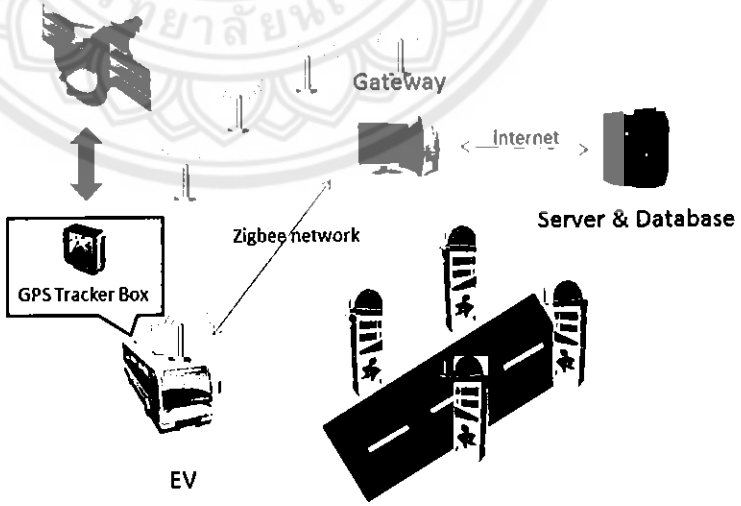
รูปที่ 3.9 ด้านหลังของ GPS Tracker Box

จากรูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งด้านหลังของ GPS Tracker Box สามารถอธิบายตำแหน่งต่างๆ ตามตัวเลขที่แสดงได้ดังนี้

1. ช่องเสียบสายสัญญาณ GPS-GAA1575A
2. ช่องเสียบเสาสัญญาณโมดุลเครือข่ายไร้สาย Zigbee 2.4 GHz
3. ช่องเสียบที่ชาร์จแบตเตอรี่
4. สวิตช์ เปิด/ปิด Power ของระบบ

รูปที่ 3.10 GPS Tracker Box

3.4 เครือข่ายการสื่อสารของระบบ



รูปที่ 3.11 ระบบการสื่อสารโดยรวมของ GPS Tracker Box เกตเวย์และป้ายจุดต่างๆ

การสื่อสารของระบบเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย โดยใช้ตัวกระจายสัญญาณรับ-ส่งข้อมูลเป็นโมดุลเครือข่ายไร้สาย Zigbee 2.4 GHz ถือเป็นตัวกลางในการสื่อสารหลัก โดยมีลำดับในการสื่อสารดังนี้ เริ่มจาก GPS Tracker Box สื่อสารกับดาวเทียมต่างๆ เพื่อหาพิกัดตำแหน่งปัจจุบันการการคำนวณ แล้วน้ำตำแหน่งที่ได้แสดงผลที่กล่อง จากนั้นส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย Zigbee ไปสู่คอมพิวเตอร์เกตเวย์ที่ตั้งห่างออกไปในขณะที่รถเคลื่อนที่ GPS Tracker Box จะส่งตำแหน่งของรถไปเรื่อยๆ ในขณะเดียวกันคอมพิวเตอร์เกตเวย์ก็มีการนำข้อมูลตำแหน่งรถที่ได้ขึ้นไปเก็บที่ฐานของมูลในคอมพิวเตอร์เซิฟเวอร์ จากนั้นคอมพิวเตอร์เซิฟเวอร์จะทำการคำนวณเวลาที่เหลือที่จะถึงป้ายที่ใกล้ที่สุด และทุกๆป้ายไว้ คอมพิวเตอร์เกตเวย์ มีหน้าที่ไปนำข้อมูลเหล่านั้นส่งไปแสดงผลที่ป้านรอรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรต่อไปผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee ไปในทุกๆป้านโดยแต่ละป้ายจะมี ID ของตัวเองเพื่อเป็นตัวระบบว่าป้ายไหนควรแสดงค่าเวลาเท่าไร รวมทั้งอุปกรณ์สื่อสารทุกตัวมี ID ประจำตัวเองทั้งหมดโดยอ้างอิงจาก ID ของตัว Zigbee ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์นั้นๆ ตามตารางต่อไปนี้

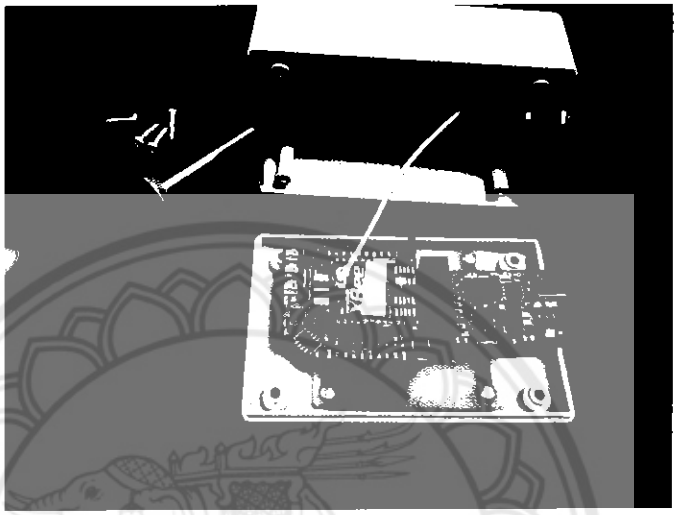
ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์หลักที่ต้องมีการติดต่อสื่อสาร

ลำดับ	ID Zigbee	อุปกรณ์
1	4070FE78	Gateway Box
2	40995BAE	GPS Tracker Box
3	409E1ACD	ป้าย A
4	409E1B15	ป้าย B
5	409E1B14	ป้าย C
6	409E1AC5	ป้าย D

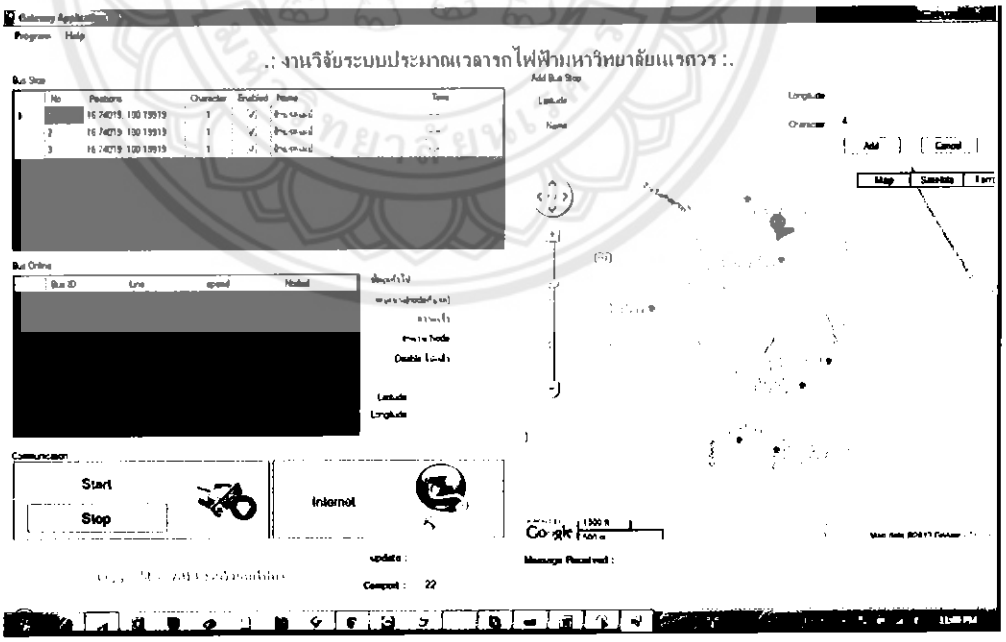
3.5 คอมพิวเตอร์เกตเวย์และ Gateway Box

คอมพิวเตอร์เกตเวย์ถือเป็นตัวกลางการสื่อสารของระบบระหว่างเครือข่ายไร้สาย Zigbee และ คอมพิวเตอร์เซิฟเวอร์ ดังนั้นคอมพิวเตอร์เกตเวย์จึงต้องมีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตอยู่ตลอดเวลาและติดตั้งโมดุลเครือข่ายไร้สาย Zigbee เพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายในอีกด้วย

คอมพิวเตอร์เกตเวย์จะติดตั้งไว้ภายในตัวอาคาร ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ที่คอมพิวเตอร์เกตเวย์ต้องเปิดโปรแกรม Gateway Communication Application ไว้เพื่อวิเคราะห์ผลและสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 3.12 ภายใน Gateway Box



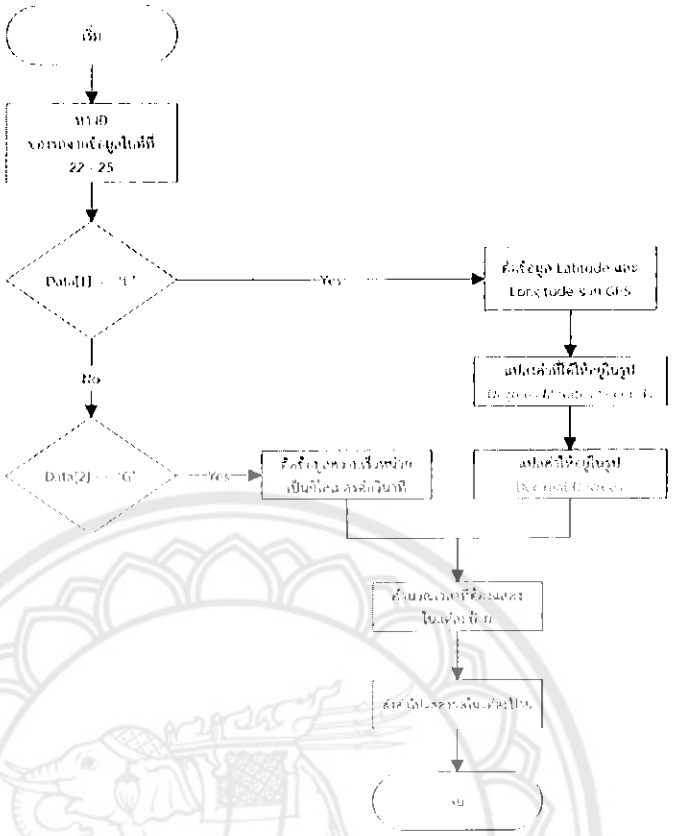
รูปที่ 3.13 โปรแกรม Gateway Application

โปรแกรมจะแสดงค่าที่รับได้จากเครือข่ายไร้สาย Zigbee ที่มาจากรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร ส่งค่ามาแล้วนำค่าละติจูด กับลองจิจูดมาปรับค่าแล้วส่งไปให้คอมพิวเตอร์เซิฟเวอร์เก็บค่าลงฐานข้อมูลต่อไป

กล่อง Gateway Box ภายในบรรจุโมดูลสื่อสารเครือข่ายไร้สาย Zigbee 2.4 GHz พร้อมกับติดตั้ง Dongle USB เพื่อให้ง่ายในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เกตเวย์ที่ช่อง Mini USB Port

รูปที่ 3.14 ภายนอก Gateway Box ช่องเสียบสาย Mini USB

โปรแกรม Gateway Box Application ได้รับข้อมูลมาอยู่ในเฟรมข้อมูลของ Zigbee จึงสามารถหาตัวระบุรหัสของรถต้นทางในการรับข้อมูลได้ ข้อมูลมีลักษณะเป็นชุดๆ ซึ่งจะมี 2 แบบ คือข้อมูลที่ได้จากฟิลด์ $GPGLL กับ $GPVTG แต่ละแบบข้อมูลจะมีตัวอักษรตัวหน้าสุดเป็นตัวบ่งบอกว่าเป็นข้อมูลที่ได้มาจากฟิลด์ใด ซึ่งถ้าตัวหน้าสุดเป็น 'L' แสดงว่าเป็นฟิลด์ข้อมูลจาก $GPGLL หากเป็น 'G' แสดงว่าเป็นฟิลด์ข้อมูลจาก $GPVTG



รูปที่ 3.15 ลำดับการทำงานของโปรแกรม Gateway Applications

จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผล ซึ่งแต่ละฟิลด์มีขั้นตอนที่แตกต่างกัน เริ่มจากชุดข้อมูลที่ได้มาจากฟิลด์ $GPGLL ภายในชุดข้อมูลนี้จะประกอบไปด้วยตำแหน่งที่ GPS Box Tracker อ่านค่าได้ดังนั้นจึงต้องมีการตัดข้อมูลส่วนที่เป็นตำแหน่งออกมาประมวลผล ตัวอย่างเช่น L,1644.7157,N,10011.7960,E,114413.000,A,A* จากตัวอย่างข้อมูลดังกล่าวส่วนที่จะนำมาหาค่าเส้นรุ้ง ($Latitude_0$) ได้แก่ 1644.7157 และส่วนที่จะนำมาหาค่าเส้นแวง ได้แก่ 10011.7960 ค่าดังกล่าวที่อ่านได้เป็นจำนวนจริง อันดับแรกหาค่าองศาด้วยการนำค่าที่อ่านได้ไปหารด้วย 100 ตามสมการที่ (3.1) เก็บค่าลงตัวแปรชนิดจำนวนเต็ม (Integer) ดังนั้นนำส่วนที่จะหาค่าเส้นรุ้งมาหารด้วย 100 คำตอบที่ได้จะเป็น 16 เป็นค่าองศา (Degrees)

$$\lfloor Degrees \rfloor = \frac{Latitude_0}{100} \tag{3.1}$$

หาค่า Minutes มีหน่วยเป็นลิปดา ได้จากสมการที่ (3.2)

$$[Minutes] = Latitude_0 - ([Degrees] \times 100) \quad (3.2)$$

หาค่า Seconds มีหน่วยเป็นฟิลิปดา ได้จากสมการที่ (3.3)

$$[Seconds] = (Latitude_0 - ([Degrees] \times 100) - [Minutes]) \times 60 \quad (3.3)$$

เป็นวิธีในการหาค่าพิกัดตำแหน่งให้อยู่ในรูปแบบ Degrees Minutes Seconds (DMS) ใช้วิธีการคำนวณแบบเดียวกันทั้งในการหาค่าเส้นรุ้ง และการหาค่าเส้นแวง เมื่อได้ค่าที่อยู่ในรูปแบบดังกล่าวแล้วการที่จะบอกพิกัดตำแหน่งของรถไฟฟ้าใน Google Map ได้ต้องแปลงค่าของเส้นรุ้ง (Latitude) และค่าเส้นแวง (Longitude) ให้อยู่ในรูปแบบของ Decimal Degrees (DD) ดังสมการที่ (3.4)

$$DD = \left(\frac{Seconds}{3600}\right) + \left(\frac{Minutes}{60}\right) + degrees \quad (3.4)$$

ต่อมาการประมวลผลฟิลด์ข้อมูล $GPVTG ภายในฟิลด์ข้อมูลนี้จะบอกความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้ามีหน่วยให้เลือกหากหลายแต่ในที่นี้เลือกหน่วยความเร็วเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างเช่น G,7.08,T,,M,12.72,N,23.5,K,A* จากตัวอย่างอ่านค่าความเร็วได้ 23.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

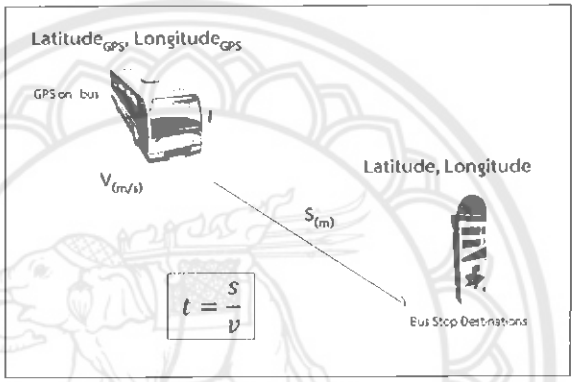
จากการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากฟิลด์ $GPGLL และ $GPVTG นำมาวิเคราะห์เวลาที่เหลือที่รถไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งป้ายทั้ง 4 ป้าย โดยตำแหน่งของป้ายแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงตำแหน่งของป้ายที่ใช้สำหรับการทดลอง

ลำดับ	ชื่อสถานที่	ตำแหน่ง (DD)		ชื่อป้าย
		Latitude	Longitude	
1.	ป้ายรถเมล์หน้าสระว่ายน้ำ	16.746253	100.196918	D
2.	สามแยกเข้าตึก EN	16.74539	100.19739	C
3.	ตราคณะวิศวกรรมศาสตร์	16.744429	100.197647	B
4.	สามแยกทางออกประตู 4	16.743599	100.198093	A

จากตารางที่ 3.2 ทำให้ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของป้าย ซึ่งจะเป็นค่าคงที่เสมอ วิธีการคำนวณจะต้องเป็นไปตามลำดับของป้ายตามแต่ละสายจากตำแหน่งของป้ายที่ใช้ในการทดลองนี้จะสอดคล้องกับการเดินรถไฟฟ้าในสายสีแดง เริ่มจากป้าย A บริเวณใกล้ๆ ทางแยกออกประตู 4 ผ่านป้าย B ตราคณะวิศวกรรมศาสตร์ ผ่านป้าย C ที่ทางแยกเข้าตึก EN ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ผ่านป้านสุดท้ายป้าย D ป้ายรถเมล์หน้าสระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยนเรศวร การในการคำนวณเวลาที่เหลือที่รถจะเคลื่อนที่ไปถึงป้ายจากสมการ (3.5)

$$t = \frac{s}{v} \tag{3.5}$$



รูปที่ 3.16 ค่าที่ใช้ในจุดต่างๆ การคำนวณ

เริ่มต้นต้องหา s และ v ก่อนซึ่งสามารถหาได้จากข้อมูลที่ทำการประมวลผลแล้วของ $GPGLL และ $GPVTG s คือระยะห่างระหว่างตัวรถและป้ายนั้นๆ และต้องมีหน่วยตามมาตรฐาน International System of Units (SI) ดังนั้นหน่วยของระยะทางนี้ต้องมีหน่วยเป็นเมตร สามารถหาได้จากสมการที่ (3.6)

$$Interval_{DD} = \sqrt{(Lat_{Bus} - Lat_{Label})^2 + (Long_{Bus} - Long_{Label})^2} \tag{3.6}$$

จากนั้นค่าที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ Decimal Degrees (DD) จึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ Degrees Minutes Seconds (DMS) ด้วยสมการที่ (7)

$$interval_{DMS} = Interval_{DD} \times 60 \tag{3.7}$$

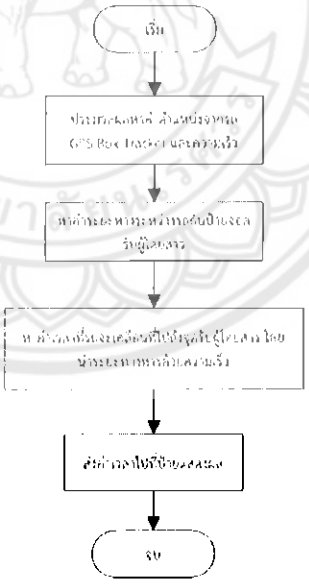
ค่าระยะห่างของ 2 จุดที่ได้ยังคงมีหน่วยเป็นลิปดา สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ SI จากความสัมพันธ์ 1 ลิปดาเท่ากับ 1828.8 เมตร จึงหาค่าระยะห่างจากรถถึงป้ายมีหน่วยเป็นเมตร ได้จากสมการที่ (3.8)

$$Distance = interval_{DMS} \times 1828.8 \quad (3.8)$$

ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ v ของรถไฟฟ้าที่อ่านได้จากฟิลด์ $GPVTG มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมงต้องแปลงให้อยู่ในรูปเมตรต่อวินาทีเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจากสมการที่ (3.9)

$$v_{m/s} = \frac{v_{\frac{km}{h}}}{3.6} \quad (3.9)$$

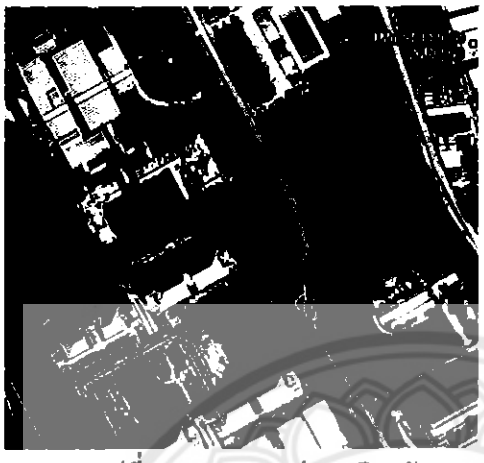
เมื่อได้ค่า v และ s ในหน่วยของระบบ SI แล้วจึงนำค่าดังกล่าวไปคำนวณตามสมการที่ (3.5) จึงได้ค่าระยะเวลาที่รถจะเคลื่อนที่ผ่านป้ายในหน่วยวินาที ทั้งนี้การคำนวณลักษณะนี้เหมาะกับสถานการณ์ที่รถวิ่งด้วยความเร็วประมาณคงที่ ค่าที่ได้จึงไม่ผิดเพี้ยนไปมาก



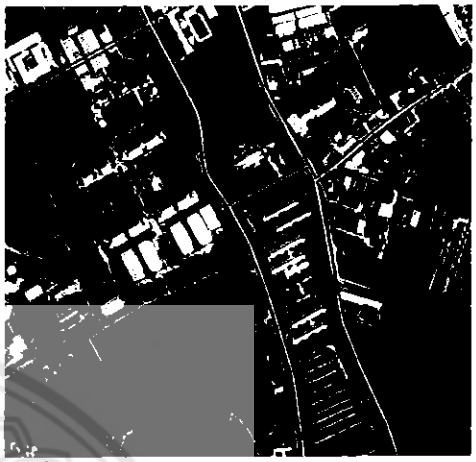
รูปที่ 3.17 แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่าเวลาที่ต้องแสดงผลที่ป้าย

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ เช่น รถไฟฟ้าสายสีแดง เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กำลังเคลื่อนที่ไปที่ป้ายหน้าทางแยกเข้าตึก EN คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตำแหน่งของป้ายบริเวณแยกเข้าตึก EN ตั้งอยู่ที่ค่าเส้นรุ้ง 16.74539 ค่าเส้นแวง 100.19739 และตำแหน่งของรถอยู่ที่

ค่าเส้นรุ้ง 16.744447 เส้นแวงที่ 100.197614 นำมาเข้าสมการหาระยะทางระหว่างจุดสองจุด โดยให้ค่าจากเส้นรุ้งเป็นค่าในแนวแกน y และค่าเส้นแวงเป็นค่าจากแนวแกน x จากนั้นเข้าคำนวณตามสมการที่ (3.6)



รูปที่ 3.18 ตำแหน่งรถปัจจุบัน



รูปที่ 3.19 ตำแหน่งป้ายจอดรับผู้โดยสาร

$$Interval_{DD} = \sqrt{(16.744447_{Bus} - 16.74539_{Label})^2 + (100.197614_{Bus} - 100.19739_{Label})^2}$$

แปลงค่าที่อยู่ในรูปแบบ DD ให้เป็นแบบ DMS ตามสมการที่ (3.7)

$$interval_{DMS} = (9.692394 \times 10^{-4}) \times 60$$

แปลงหน่วยให้เป็นเมตร ตามสมการที่ (3.8)

$$Distance = 0.0581544 \times 1828.8$$

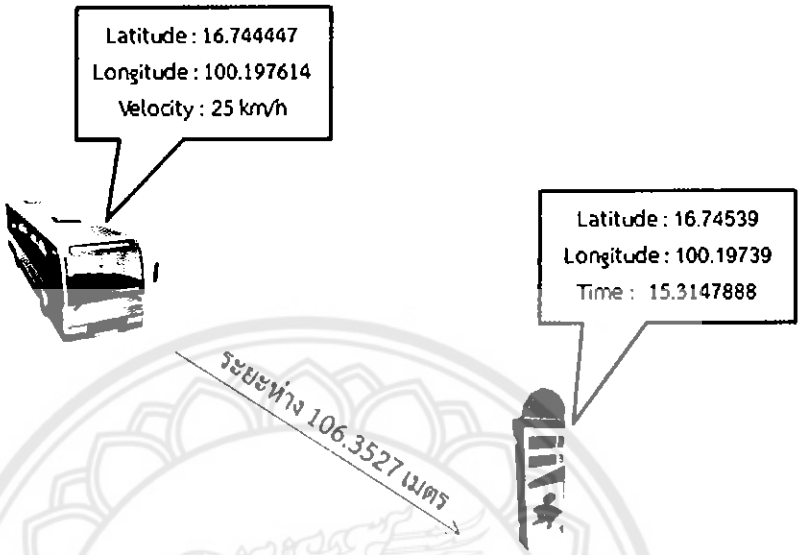
ได้ค่าระยะห่าง s ระหว่างรถไฟฟ้ากับป้ายรอดรับผู้โดยสารเป็นระยะทาง 106.3527 เมตร ต่อมาหาค่าความเร็วที่มีหน่วยเป็นเมตรต่อชั่วโมง ตามสมการที่ (3.9)

$$v_{m/s} = \frac{25_{\frac{km}{h}}}{3.6}$$

ได้ความเร็ว v = 6.9444 เมตรต่อวินาที หาค่าเวลาที่เหลือที่รถไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ผ่านป้ายจอดรับผู้โดยสาร ตามสมการที่ (5)

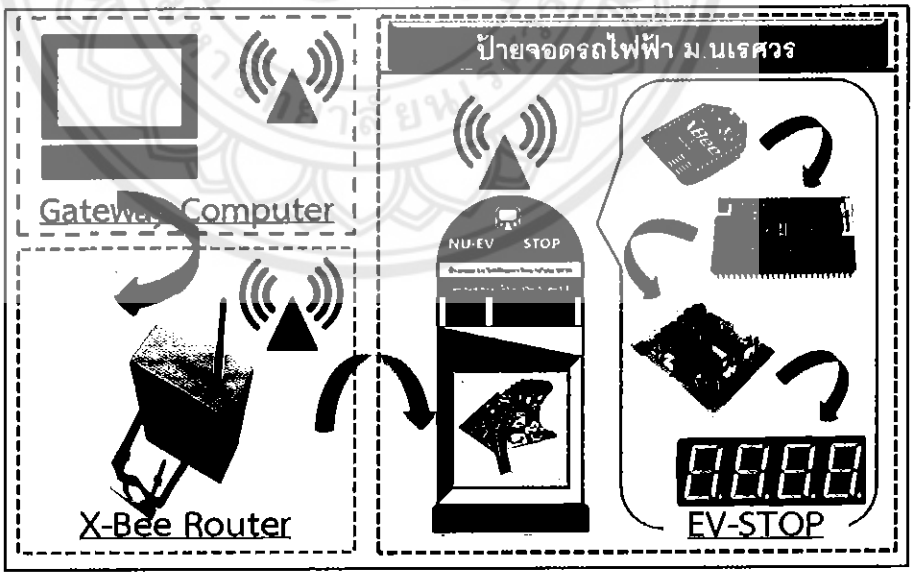
$$t = \frac{106.3527}{6.9444}$$

ผลลัพธ์สุดท้ายคือค่าเวลาที่มีหน่วยเป็นวินาทีที่รถไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ผ่านหาค่าได้ 15.3147888 วินาที ดังรูปที่ 17



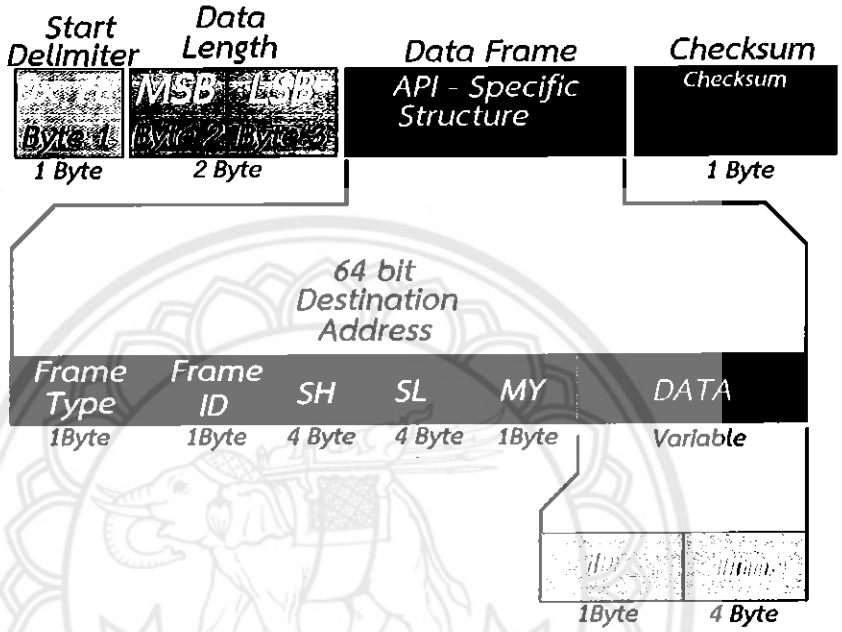
รูปที่ 3.20 แสดงผลลัพธ์ของระบบ

3.6 การออกแบบระบบการรับข้อมูลของป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 3.21 แสดงระบบการรับข้อมูลการประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

จากรูปที่ 3.21 เป็นระบบการรับข้อมูลการประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร ข้อมูลจะถูกส่งจากคอมพิวเตอร์เกตเวย์มายังป้ายจอครถไฟฟ้าผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ ดังนั้น ระบบจะต้องมีการสื่อสารข้อมูลโดยใช้ Zigbee API Protocol [13] โดยสามารถแสดง Zigbee API Frame ดังรูปที่ 3.22

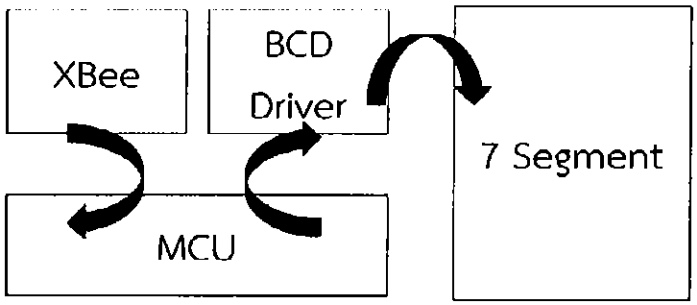


รูปที่ 3.22 Zigbee API Frame

จากรูปที่ 3.22 เป็น Zigbee API Frame ที่ใช้ในการสื่อสารระหว่าง X-Bee โดยในส่วนของ DATA จะมีการส่งข้อมูลการระบุตัวตน (ID) และส่งข้อมูลการประมาณเวลา (Time) มายัง X-Bee ที่ถูกติดตั้งอยู่กับป้ายจอครถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร ในส่วนข้อมูลการระบุตัวตนเป็นการระบุว่าต้องการให้แสดงค่าการประมาณเวลาบน 7 – Segment 4 หลักของรถไฟฟ้าสายใด และข้อมูลการประมาณเวลาก็จะถูกแสดงออกมายัง 7 – Segment 4 หลักตัวดังกล่าว

หลังจาก X-Bee ที่ติดตั้งกับป้ายจอครถไฟฟ้ารับข้อมูลการประมาณเวลารถไฟฟ้าเข้ามาแล้วจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเลือกใช้ ET-ARM STAMP STM32 เบอร์ STM32F103 ทำหน้าที่ในการรับค่าการประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรเพื่อประมวลผลค่าเวลาและส่งต่อไปยังวงจรแปลง BCD เป็น 7 – Segment เพื่อแปลงข้อมูลสำหรับให้แสดงผลเวลาจากการประ

มวนผลออกทาง 7 – Segment 4 หลัก โดยสามารถแสดงผังการทำงานภายในป้ายจอดรถไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3.23



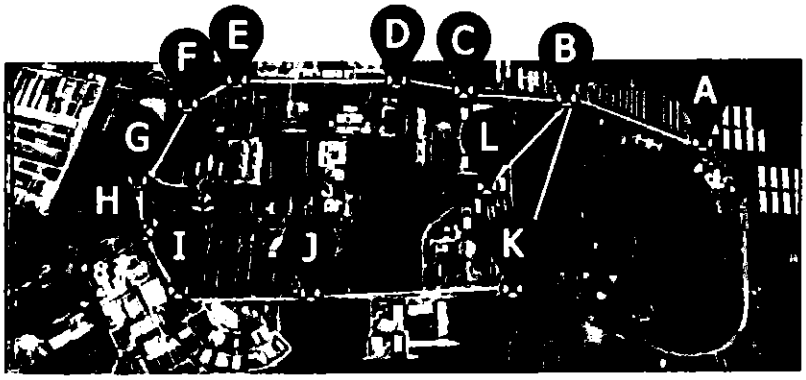
รูปที่ 3.23 แสดงผังการทำงานภายในป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

3.7 การออกแบบจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์

การออกแบบจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ในสภาพแวดล้อมรอบมหาวิทยาลัยนเรศวรนั้นเป็นการสร้างระบบเครือข่ายเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ทั่วทุกจุดที่รถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรขับผ่าน ดังนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสื่อสารข้อมูลซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ตึก อาคาร ทางโค้ง ทางแยก และต้นไม้ต่างๆ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการทำงานในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee เพราะปัจจัยต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวปิดกั้นสัญญาณทำให้ระดับความเข้มสัญญาณของตัว X-Bee มีระดับที่ต่ำและส่งได้ไม่ไกล

ดังนั้นการติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ ในบางจุดสามารถที่จะติดตั้งได้ในระดับที่ไกลพอสมควรแต่ในขณะเดียวกันในบางจุดที่เป็นจุดอับสัญญาณอาจมีตึกบัง เป็นทางแยกหรือทางโค้งหรือมีต้นไม้บดบัง จุดอับสัญญาณเหล่านี้จะต้องติดตั้งให้ X-Bee อยู่ใกล้กันจนสัญญาณสามารถรับส่งกันได้ ทั้งนี้ในการติดตั้งจะคำนึงถึงความคุ้มค่าในการออกแบบจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ด้วย

การออกแบบจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ สำหรับระบบการประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรแสดงไว้ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์

จากรูปที่ 3.24 เป็นจุดสำหรับติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ทั้งหมด ที่ได้ออกแบบสำหรับระบบการประมาณเวลารถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร โดยสามารถอธิบายสถานที่ในแต่ละจุดได้ดังตารางที่ 3.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงการอธิบายสถานที่ของแต่ละจุด

จุด	สถานที่	จุด	สถานที่
A	จุดพักรถไฟฟ้า [หอใน]	G	บริเวณลานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช
B	บริเวณหน้าอาคารโภชนาคาร	H	บริเวณหน้าโรงพยาบาล
C	ศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์	I	ทางโค้งหน้าคณะเภสัชศาสตร์
D	ทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์	J	สามแยกหน้าคณะแพทย์ศาสตร์
E	หน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร	K	สามแยกคณะวิทยาศาสตร์
F	ทางเข้าอาคารอเนกประสงค์	L	ทางโค้งหน้าคณะวิทยาศาสตร์

สำหรับการออกแบบจุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์สามารถสรุประยะทางระหว่างโหนดเราท์เตอร์ที่อยู่ติดกันโดยอ้างอิงข้อมูลจุดการติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ จากรูปที่ 3.24 และสถานที่ในแต่ละจุดตามตารางที่ 3.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 สรุประยะทางระหว่างโหนดเราท์เตอร์ที่อยู่ติดกัน

โหนด (จาก)	โหนด (ถึง)	ระยะทาง (เมตร)
D	E	450
E	F	160
F	G	270
G	H	150
H	I	150
I	J	320
J	K	530
K	B	570
B	L	320
B	A	420
B	C	245
C	D	190

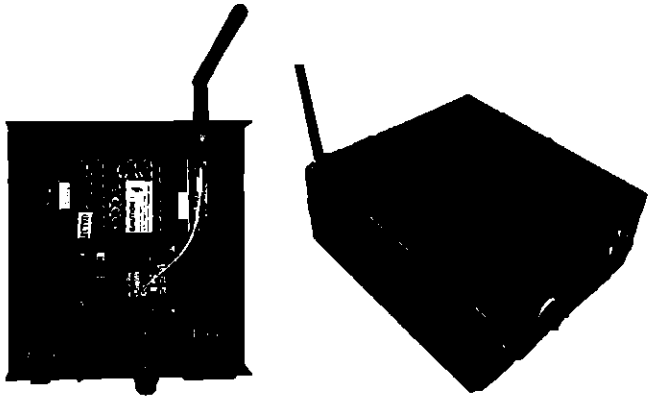
จากตารางที่ 3.4 เป็นผลสรุประยะทางระหว่างโหนดเราท์เตอร์ที่อยู่ติดกันซึ่งได้ทดสอบรับส่งข้อมูลจำนวน 5 ครั้ง โดยใช้ข้อมูล 58 ไบต์ และสามารถรับส่งกันได้ทั้ง 5 ครั้ง

3.8 การออกแบบ X-Bee โหนดเราท์เตอร์

การออกแบบ X-Bee โหนดเราท์เตอร์เป็นการออกแบบเพื่อให้สามารถนำ X-Bee โหนดเราท์เตอร์ไปติดตั้งยังจุดต่างๆได้อย่างสะดวกและคงทน

3.8.1 ออกแบบกล่องชั้นในสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์

การออกแบบกล่องชั้นในจะใช้กล่องพลาสติกสำหรับใส่วงจรของ ตัว X-Bee เราท์เตอร์และแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งลงไปด้านใน ตัวกล่องสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟได้สองรูปแบบคือจาก ไฟบ้าน 220 VAC โดยจะมีเต้ารับติดตั้งอยู่กับตัวกล่อง และอีกรูปแบบหนึ่งคือแบตเตอรี่ 12VDC



รูปที่ 3.25 แสดงกล่องชั้นในสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์

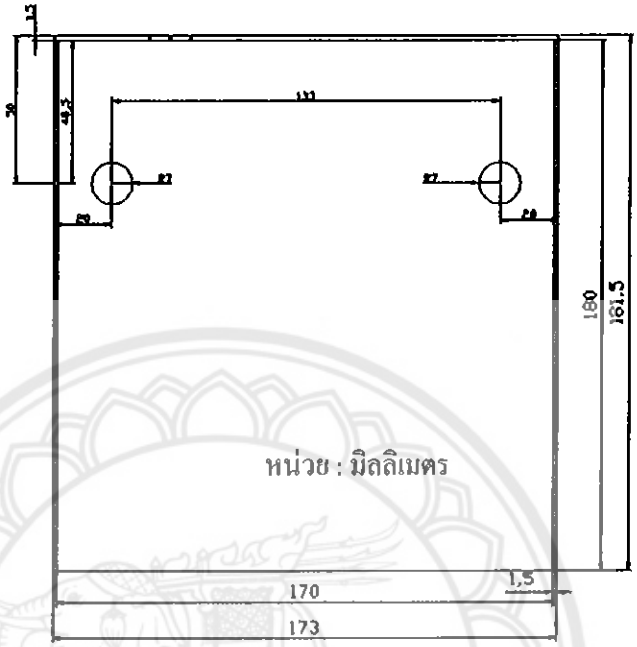
การใช้งานกล่องชั้นในสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์นั้น หากจะใช้ไฟบ้าน 220VAC การใช้งานสามารถทำได้โดยนำเต้าเสียบมาเสียบที่เต้ารับและต่อกับไฟบ้าน 220 VAC และให้เลือกสวิตช์ไปที่ ON ระบบก็จะสามารถทำงานได้ และหากจะเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟ 12VDC ให้เลือกสวิตช์ไปที่ OFF [Use Battery] ระบบก็สามารถทำงานได้เช่นกัน นอกจากนี้ตัวกล่องได้ออกแบบให้มี FUSE สำหรับป้องกันกระแสที่เกินในกรณีที่ใช้ไฟบ้าน 220 VAC เพื่อป้องกันวงจร X-Bee เราท์เตอร์เสียหายด้วย

รูปที่ 3.26 แสดงด้านหน้ากล่องชั้นในสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์

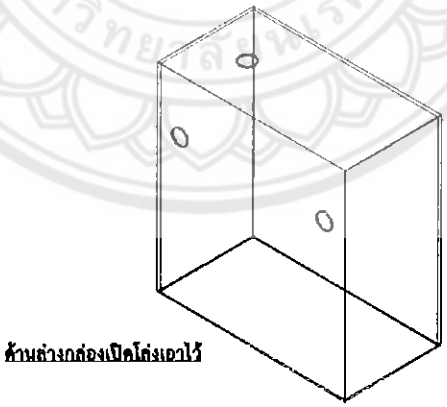
3.8.2 ออกแบบกล่องชั้นนอกสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์

การออกแบบกล่องชั้นในสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ใช้โปรแกรม AutoCAD 2007 ในการออกแบบ โดยจะนำแบบที่ได้มาสร้างกล่องชั้นนอกสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ เพื่อให้สามารถนำไปติดตั้งได้อย่างสะดวก และเพื่อความทนทานต่อทุกสภาพอากาศ โดยการออกแบบจะ

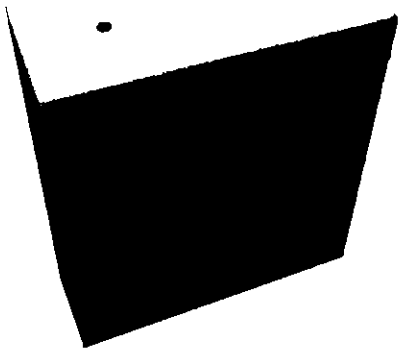
เจาะให้มีรูสำหรับเสาออกทางด้านบน และมีรูสำหรับนำไปติดตั้งกับที่ยึดทางด้านหลัง และทางด้านล่างจะเปิดโล่งเอาไว้เพื่อนำกล่องพลาสติกที่ใส่ ชุด X-Bee เราท์เตอร์ มาใส่ไว้ด้านใน



รูปที่ 3.27 แสดงภาพ Top View กล่องสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD



รูปที่ 3.28 แสดงภาพ 3 มิติ กล่องสำหรับใส่ x-Bee เราท์เตอร์ ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD



รูปที่ 3.29 กล่องชั้นนอกสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ เสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งาน

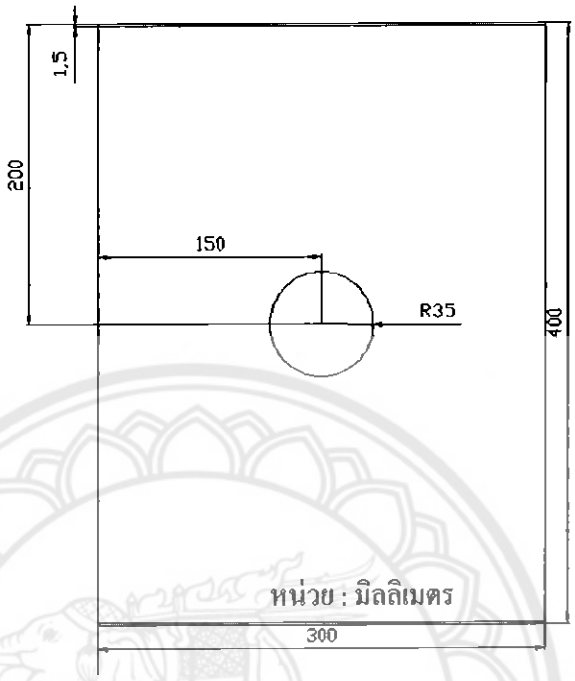
หลังจากกล่องชั้นนอก X-Bee เราท์เตอร์ เสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งานแล้ว เราก็นำไปติดตั้งกับกล่องชั้นในโดยสวมใส่กล่องชั้นในจากด้านล่างและให้เสาอากาศยื่นออกมา และใส่ที่ยึดเสาเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับนำไปติดตั้งกับฐานสำหรับตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ ดังรูป

รูปที่ 3.30 กล่องชั้นนอกสำหรับใส่ X-Bee เราท์เตอร์ ที่ติดตั้งกับกล้องชั้นในและที่ยึดเสาเรียบร้อยแล้ว

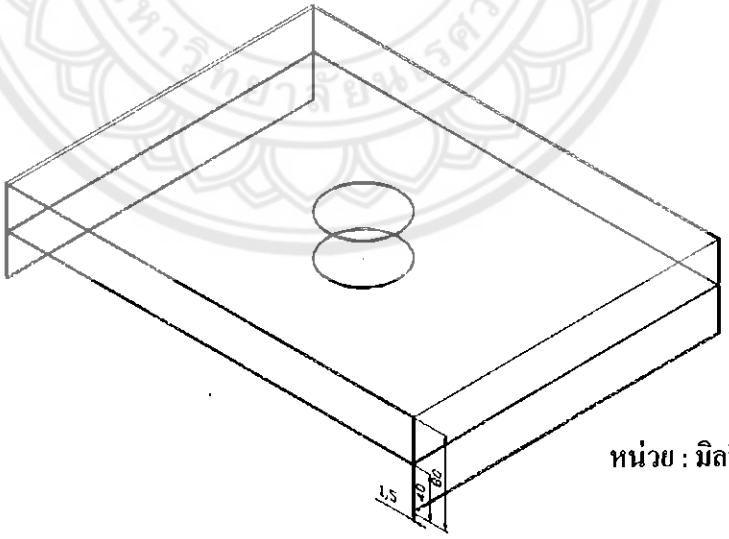
3.8.3 ออกแบบฐานสำหรับตั้ง X-Bee เราท์เตอร์

การออกแบบฐานสำหรับตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ ใช้โปรแกรม AutoCAD 2007 ในการออกแบบโดยจะนำแบบที่ได้มาสร้างฐานสำหรับตั้ง x-Bee เราท์เตอร์ เพื่อนำไปใช้งานจริง

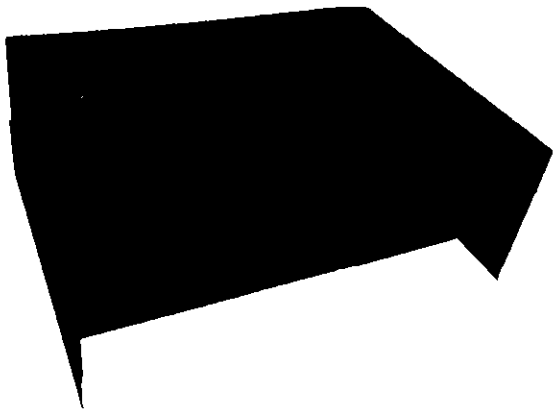
การออกแบบจะเจาะรูตรงกลาง และทำเป็นสองชั้น เพื่อนำท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว ยาว 2 เมตร มาเสียบเอาไว้ สำหรับให้นำ X-Bee เราท์เตอร์ มาติดตั้งบนท่อ PVC



รูปที่ 3.31 แสดงภาพ Top View ฐานสำหรับติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD

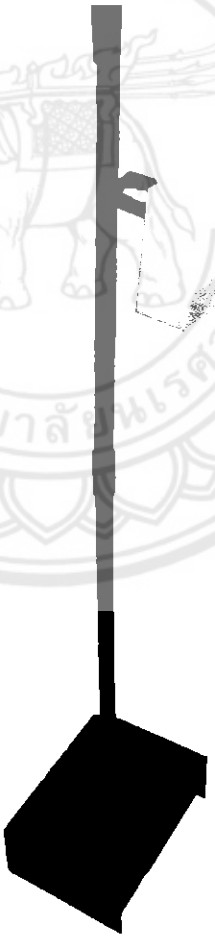


รูปที่ 3.32 แสดงภาพ 3 มิติ ฐานสำหรับติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD



รูปที่ 3.33 ฐานสำหรับติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ เสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งาน

หลังจากกล่องชั้นนอกสำหรับติดใส่ X-Bee เราท์เตอร์ และ ฐานสำหรับติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ เสร็จสมบูรณ์แล้วจะนำมาติดตั้งเข้าด้วยกันในลักษณะดังรูป



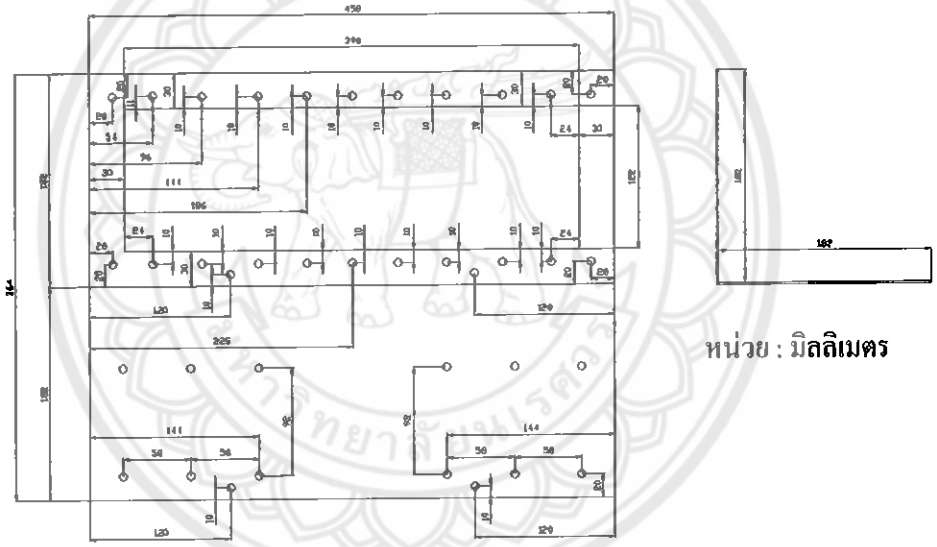
รูปที่ 3.34 การติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์ ไว้กับเสาของฐานติดตั้ง X-Bee เราท์เตอร์

3.9 การออกแบบป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

เป็นการออกแบบเพื่อนำป้ายจอดรถไฟฟ้าไปติดตั้งยังจุดต่างๆและสามารถบอกเวลาการประมาณของรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรที่จะเดินทางมาถึงยังป้ายผ่าน 7 – Segment 4 หลัก

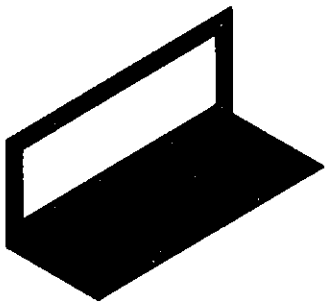
3.9.1 ออกแบบที่ยึด 7 Segment สำหรับติดตั้งภายในป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

การออกแบบที่ยึด 7 Segment สำหรับติดตั้งภายในป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรนี้ออกแบบให้สามารถติดตั้ง 7 Segment 4 หลักให้แนบชิดติดกันอย่างพอดี และมีที่สำหรับการวางวงจรได้แก่ วงจรแสดงผลแอลอีดีซึ่งขั้นอยู่ตรงกลางระหว่าง 7 Segment แสดงผลนาที และวินาที และจะมีที่สำหรับวางวงจรแปลง BCD เป็น 7 Segment 2 วงจรนอกจากนี้แล้วยังมีพื้นที่เหลือสำหรับวางไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้งานร่วมกับวงจรแปลง BCD เป็น 7 Segment ด้วย



หน่วย : มิลลิเมตร

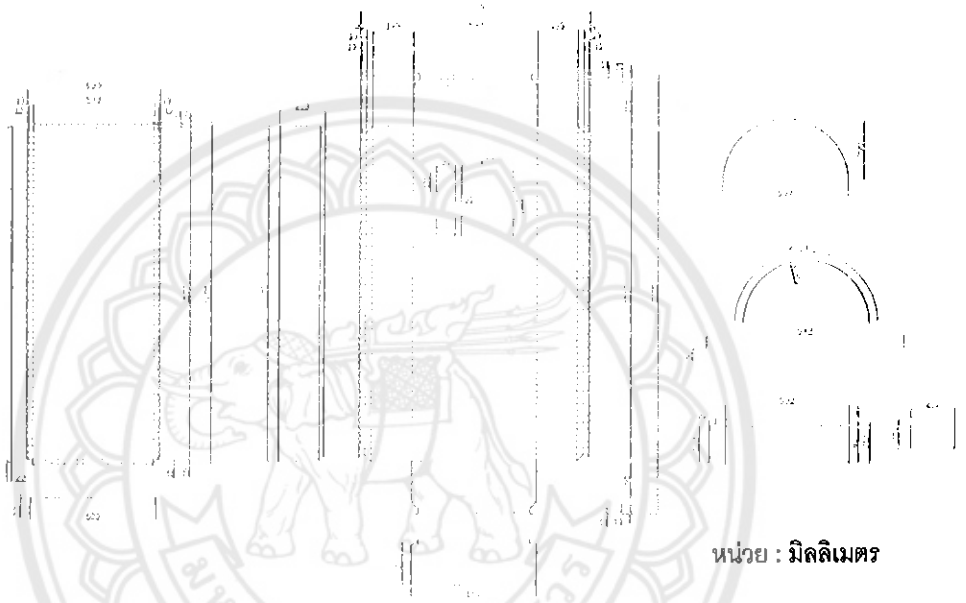
รูปที่ 3.35 แสดงภาพ Top View ที่ยึด 7 Segment 4 หลัก ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD



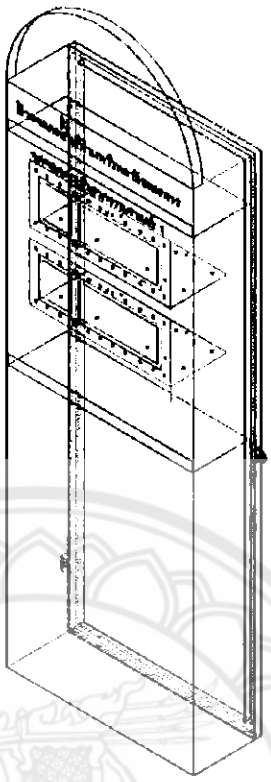
รูปที่ 3.36 แสดงภาพ 3มิติ ที่ยึด 7 Segment 4 หลัก ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD

3.9.2 ออกแบบตัวป้ายจอดไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

การออกตัวป้ายจอดรถไฟฟ้าจะมีการเจาะรูส่วนบนของตู้เพื่อให้เสาอากาศ X-Bee ยื่นออกมาได้ และจะมีการเจาะรูสำหรับให้ 7 – Segment แสดงผลทั้งหมด 4 หลัก และ ด้านซ้ายของ 7 – Segment ก็เจาะรูไว้สำหรับแสดงสายการเดินรถในการออกแบบยังมีการออกแบบให้สามารถเปิดจากด้านหลังได้เพื่อให้สะดวกในการใช้งานและซ่อมบำรุง มีชั้นด้านบนสำหรับวาง X-Bee และ ชั้นด้านล่างสำหรับวางแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจร



รูปที่ 3.37 แสดง Font View ป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD



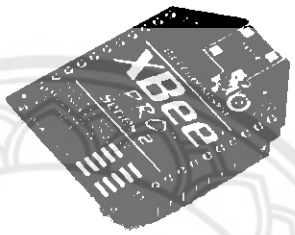
รูปที่ 3.38 แสดงภาพ 3มิติ ที่ยึด 7 Segment 4 หลัก ออกแบบจากโปรแกรม AutoCAD

รูปที่ 3.39 แสดงป้ายจอดรถไฟฟ้าจริงที่เสร็จสมบูรณ์และพร้อมใช้งาน

3.10 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์

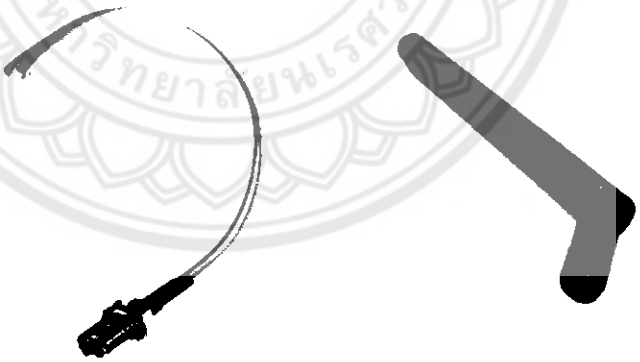
3.10.1 Configuration ตัว X-Bee

ในการดำเนินโครงการได้เลือก X-Bee Series 2 นำมาใช้ได้แก่ X-Bee Pro 50mW U.FL Connection ซึ่งเป็น X-Bee ที่มีความสามารถรับส่งข้อมูลไร้สายได้ไกลถึง 1500 เมตร ที่ย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐานโปรโตคอล ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร 3.3VDC และมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลถึง 250 Kbps



รูปที่ 3.40 แสดง X-Bee Pro 50mW U.FL Connection

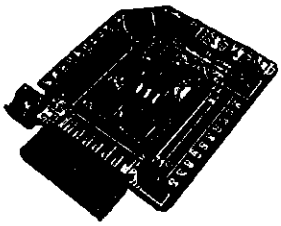
การจัดเตรียมอุปกรณ์ X-Bee นั้นจะต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมคือสายอากาศหัว UFL แปลงเป็นหัว SMA ตัวเมีย และจะต้องมีเสาอากาศแบบ SMA ตัวผู้ด้วยเพื่อทำให้ X-Bee สามารถส่งสัญญาณไปได้ระยะทางที่ไกลขึ้น



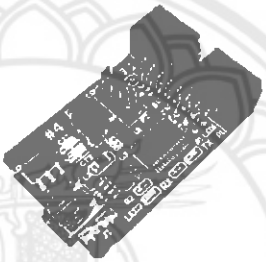
รูปที่ 3.41 แสดง (ซ้าย) สายอากาศแบบหัว UFL แปลงเป็น SMA ตัวเมีย
(ขวา) เสาอากาศแบบ SMA ตัวผู้

การ Configuration ตัว X-Bee ต้องใช้โปรแกรม X-CTU ซึ่งสามารถ Download ได้จาก http://www.digi.com/ เพื่อทำการ Configuration โดยการ Update Firmware ให้กับตัว X-Bee

เพื่อให้ X-Bee ที่ต้องใช้ในระบบรู้จักกัน อยู่ภายในช่องสัญญาณเดียวกันและสามารถสื่อสารกันได้ และต้องใช้อุปกรณ์ที่ต่อสวมกับตัว X-Bee ได้แก่ Blue-Bee Dongle และ X-Bee USB Dongle ในการเชื่อมต่อ X-Bee กับ คอมพิวเตอร์เพื่อ Update Firmware ผ่านโปรแกรม X-CTU



รูปที่ 3.42 แสดง Blue-Bee Dongle



รูปที่ 3.43 แสดง X-Bee USB Dongle

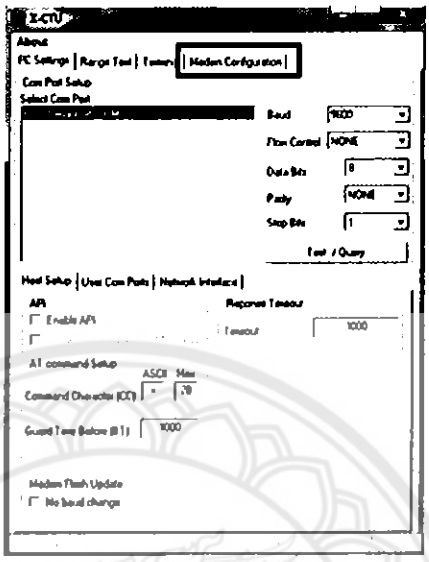
การ Configuration ต้องทำทั้งหมดสองรูปแบบคือการ Configuration ให้ X-Bee เป็น Coordinator API และ Configuration ให้ X-Bee เป็น Router API ซึ่งภายในระบบนี้ X-Bee ที่เป็น Coordinator ได้แก่ X-Bee ที่ติดตั้งไว้กับเซิฟเวอร์ โดยมีหน้าที่ในการรับข้อมูลจากรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรเข้ามาประมวลผลและทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลไปยังไปจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรด้วย ผ่าน X-Bee เราท์เตอร์ ต่างๆในระบบ

ส่วน X-Bee ที่ถูกติดตั้งให้เป็น Router API นั้นได้แก่ X-Bee ที่ติดตั้งตามเสาเป็น X-Bee เราท์เตอร์ และ X-Bee ที่ติดอยู่กับป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร รวมไปถึง X-Bee ที่อยู่บนรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรด้วยเช่นกัน โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวรับและส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางด้วยการ Route ไปยัง X-Bee ตัวที่อยู่ในระยะสัญญาณจนกระทั่งจุดหมายปลายทางได้รับข้อมูล

การConfiguration X-Bee [14] ให้เป็น Coordinator API และ Router API และการตรวจสอบสถานะของการรู้จักและสามารถสื่อสารกันได้ระหว่าง X-BEE สามารถทำได้ดังนี้

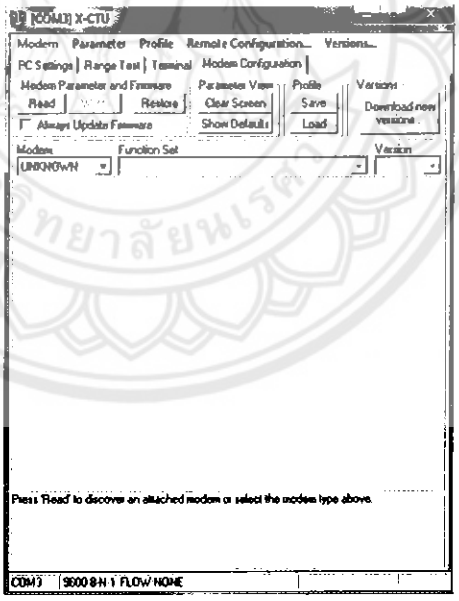
3.10.1.1 การ Configuration X-Bee เป็น Coordinator API

1. เปิดโปรแกรม X-CTU ขึ้นมา ที่ Menu เลือกไปที่ Modem configuration



รูปที่ 3.44 แสดงหน้าต่าง X-CTU และการเลือก Modem Configuration

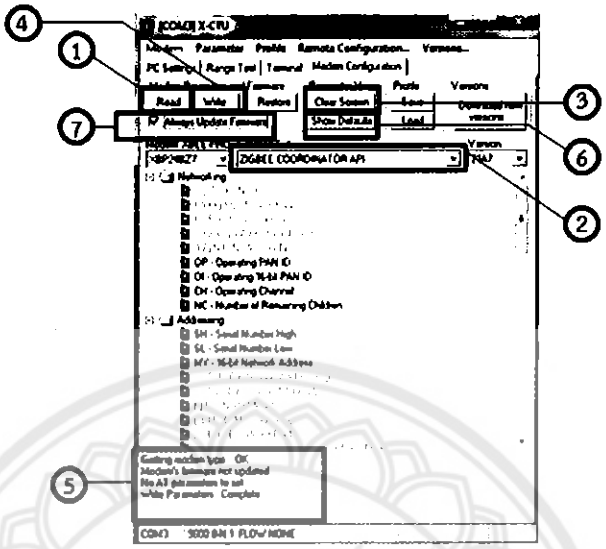
2. เมนูจะย้ายมาอยู่ที่หน้า Modem Configuration



รูปที่ 3.45 แสดงหน้าต่างเมนู Modem Configuration

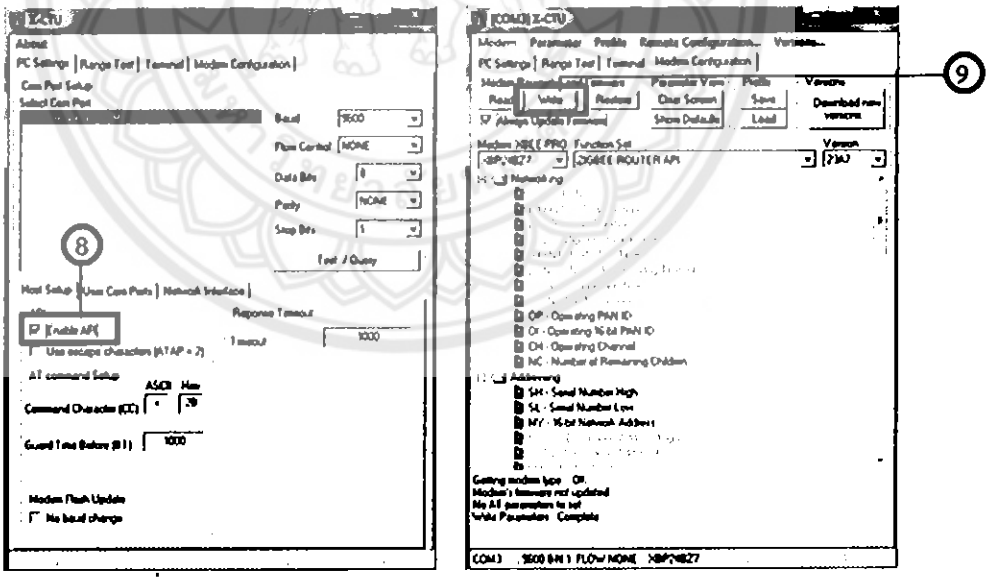
3. กดปุ่ม Read (1) เพื่ออ่านข้อมูล Firmware หลังจากนั้นเลือกใน Function Set ให้เป็น ZIGBEE COORDINATOR API (2) กดปุ่ม Clear Screen (3) และกดปุ่ม

Write (4) โปรแกรมจะทำการ Update Firmware เมื่อสำเร็จจะมีข้อความ (5) จากนั้นกด Show Defaults (6) และ Always Update Firmware (7) ให้มีเครื่องหมายถูก ดังรูป



รูปที่ 3.46 แสดงการ Configuration ZIGBEE COORDINATOR API

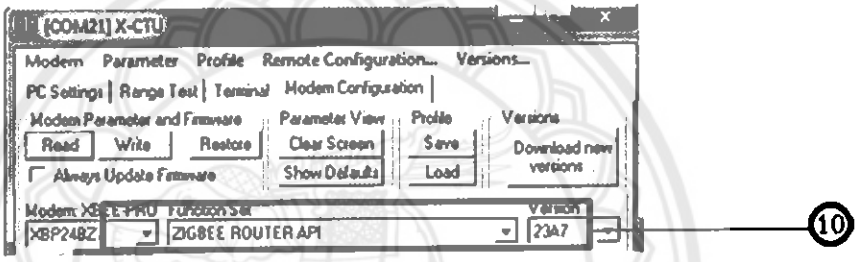
4. เลือกเมนูกลับไปที่ PC Setting แล้วเลือกให้มีเครื่องหมายถูกที่ Enable API (8) และจากนั้นกลับมายังเมนู Modem Configuration อีกครั้ง และกด Write (9) ดังรูป



รูปที่ 3.47 แสดงการเลือก Enable API และการ Write Firmware

3.10.1.2 การ Configuration X-Bee เป็น Router API

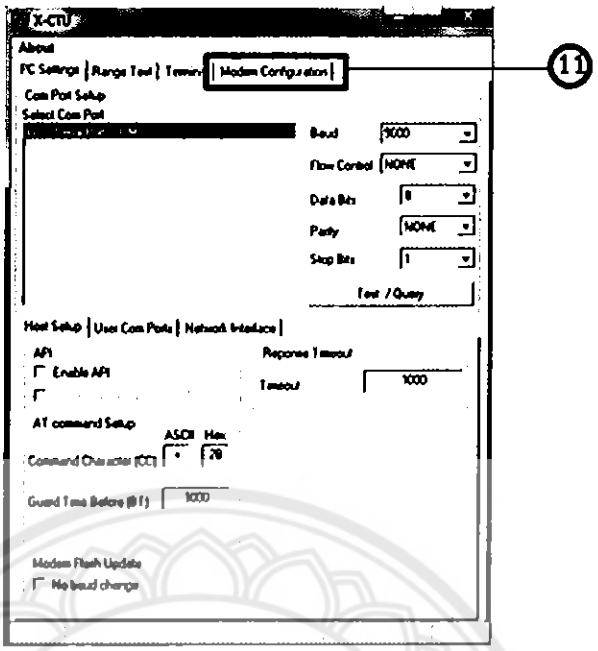
1. การ Configuration X-Bee เป็น Router API นั้นทำลักษณะเดียวกันกับการ Configuration X-Bee เป็น Coordinator API เมื่อต้องการให้ X-Bee อยู่ในวงเดียวกันกับ Coordinator ตัวแรกที่ Configurationแล้ว วิธีการคือ ขณะที่จะ Write Firmware ของ ZIGBEE ROUTER API ให้ทำการต่อไฟเพื่อให้ X-Bee ตัวแรกที่ทำหน้าที่เป็น ZIGBEE COORDINATOR API นั้นทำงานอยู่ด้วย X-Bee ตัวที่จะ Write Firmware จะทำการเลือก Channel ไปอยู่ Channel เดียวกันกับ X-Bee ที่ถูก Configuration เป็น COORDINATOR API และการ Configuration มีจุดแตกต่างกันตรงที่การเลือก Function Set ในหน้าต่างของ Modem Configuration ให้เป็น ZIGBEE ROUTER API (10) เท่านั้นเอง ดังรูป



รูปที่ 3.48 แสดงการเลือก ZIGBEE ROUTER API

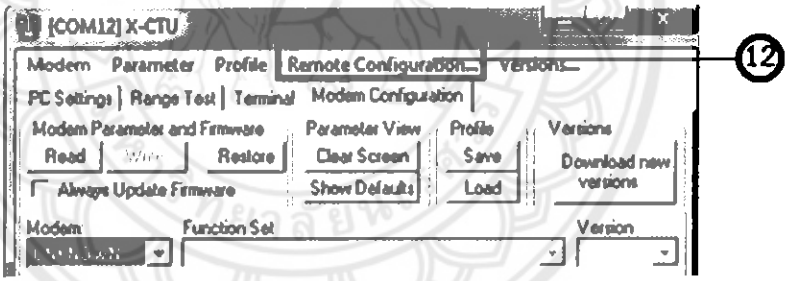
3.10.1.3 การตรวจสอบสถานะของการรู้จักกันอยู่ในวงเดียวกัน สามารถสื่อสารกันได้ระหว่าง X-BEE สามารถทำได้หลายวิธี โดยเลือกนำเสนอการทดสอบด้วยการใช้โปรแกรม X-CTU

1. การเตรียมพร้อมนั้นเราจะต้องเสียบ X-Bee ตัวที่ต้องการตรวจสอบสถานะของการอยู่ในวงเดียวกันหรือรู้จักกันนั้นไว้กับเครื่อง Computer จากตัวอย่างนี้จะใช้ตัวที่ Configuration เป็น ZIGBEE ROUTER API และต่อไฟเลี้ยงให้กับ X-Bee อีกตัวที่เป็น ZIGBEE COORDINATOR API ไว้เพื่อให้ทำงาน เพราะขณะทดสอบจะต้องมีการ Route เพื่อทำการค้นหาอุปกรณ์ที่อยู่ในวงเดียวกันหรือรู้จักกัน จากนั้นให้เปิดโปรแกรม X-CTU ขึ้นมาและไปที่ Modem Configuration (11) ดังรูป



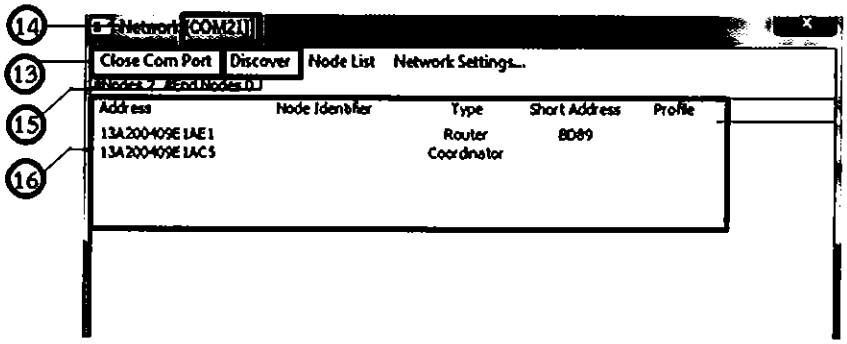
รูปที่ 3.49 หน้าต่าง X-CTU การเลือก Modem Configuration

2. ที่หน้าต่าง Modem Configuration นั้นให้เราสังเกตด้านบนให้เลือก Remote Configuration (12) ดังรูป



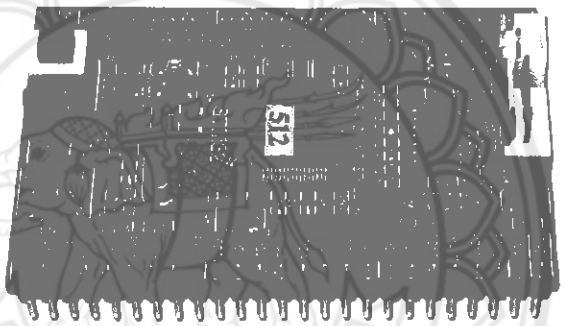
รูปที่ 3.50 หน้าต่าง X-CTU การเลือก Remote Configuration

3. จะปรากฏหน้าต่าง Networkขึ้นมา ให้ทำการเลือก Open Com Port (13) หลังจากนั้นสังเกตที่ด้านหลังคำว่า Network จะมีชื่อ Port ที่เชื่อมต่อขึ้นมาหมายถึงได้ทำการเปิด Com Port เพื่อใช้งาน (14) หลังจากนั้นกดที่ปุ่ม Discover (15) ตัว X-Bee จะทำการ Route ค้นหา X-Bee ทุกตัวที่อยู่ในระยะการสื่อสารและรู้จักกันหรืออยู่ในวงเดียวกัน และหากค้นหาและพบ X-Bee ตัวใดก็จะแสดงผลที่ตาราง (16) ดังรูป



รูปที่ 3.51 หน้า Network และแสดงตารางการ Route พบอุปกรณ์ที่อยู่ในวงเดียวกัน

3.10.2 ET-ARM STAMP STM32F103/128



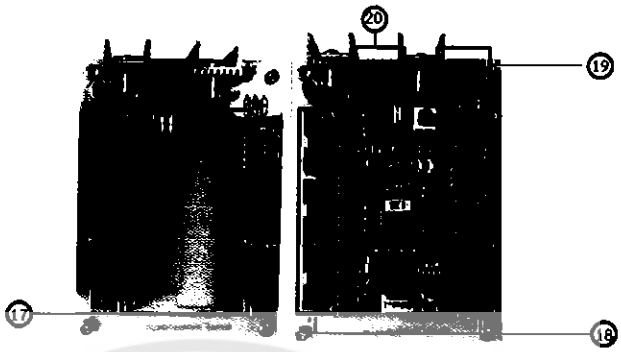
รูปที่ 3.52 แสดง ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-ARM STAMP STM32F103/128

สำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-ARM STAMP STM32F103/128 ใช้ CPU 32 bit เบอร์ STM32F103RBT6 และมีหน่วยความจำโปรแกรม Flash 128 Kbyte และ RAM 20KByte

ไมโครคอนโทรลเลอร์ นี้จะถูกติดตั้งไว้บริเวณในป้ายบอกเวลารถไฟฟ้า ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก X-Bee เข้ามาประมวลผลโดยเป็นการทำ Serial Interrupt เมื่อมีการ Interrupt จากสัญญาณที่ขารับของพอร์ตอนุกรมโปรแกรมก็จะเริ่มรับข้อมูลจาก X-Bee เข้ามาและประมวลผลและทำการนับถอยหลังจากนั้นจึงแปลงเป็นรหัส BCD และส่งให้กับวงจรแปลง BCD เป็น 7 – Segment เพื่อส่งไปแสดงบน 7- Segment ต่อไป

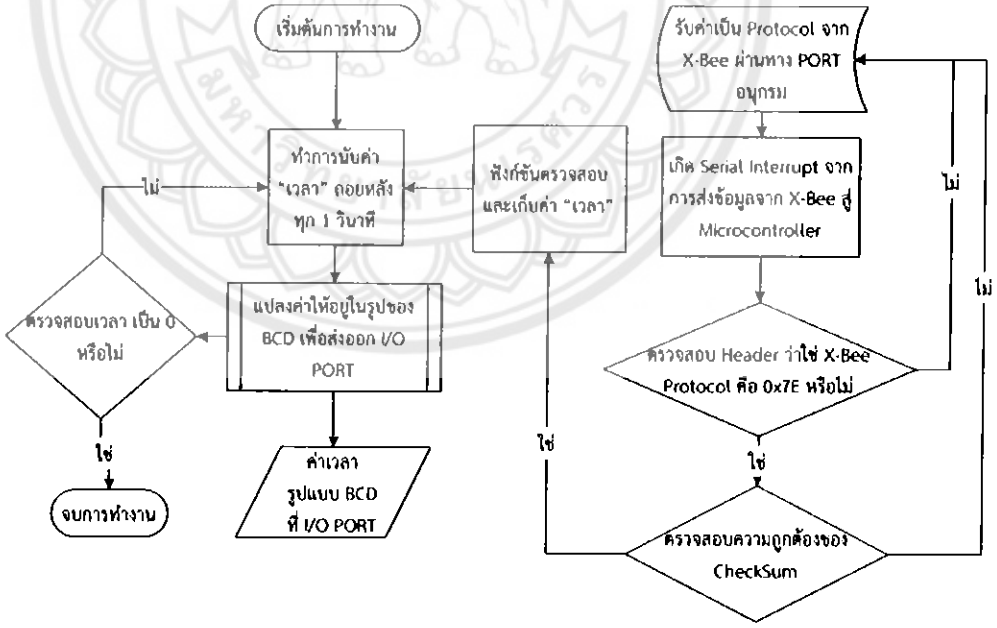
ในการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ นี้เพื่อให้การใช้งานเป็นไปได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้นจึงออกแบบให้มีวงจรสำหรับต่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีที่เสียบขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ (17) ได้ ซึ่งถูกออกแบบเพื่อป้อนแรงดันไฟเลี้ยงวงจรให้กับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีช่องสำหรับต่อขา IO Port (18) ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับใช้งานสะดวกมากขึ้น และสามารถจ่ายไฟเลี้ยงวงจร 12VDC (19) หรือ 5VDC ได้ (20) ดังรูป



รูปที่ 3.53 แสดงวงจรสำหรับต่อใช้งานร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 และการต่อใช้งานร่วมกัน

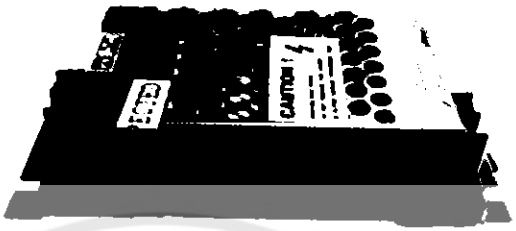
สำหรับการทำงานของโปรแกรมควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-ARM STAMP STM32F103/128 สำหรับระบบป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวรนี้ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.54 แสดงแผนผังการทำงานโปรแกรมควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-ARM STAMP STM32F103/128 สำหรับระบบป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

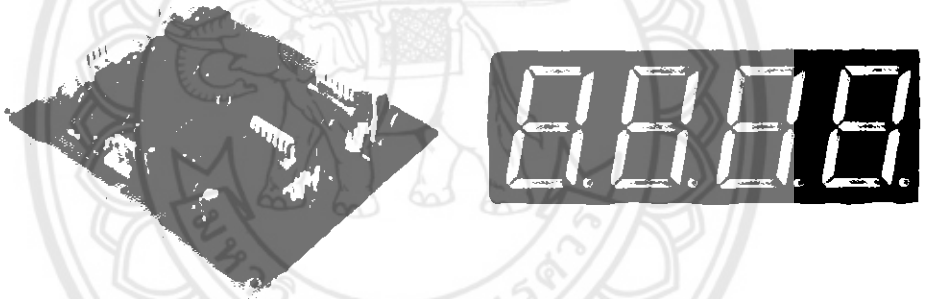
3.10.3 Switching Power Supply

สำหรับในระบบนี้ ใช้ Switching Power Supply Input 220 VAC 50 Hz มี Output 12VDC 2A เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรทั้งหมดภายในป้ายจอครถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร และใช้สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ X-Bee เราท์เตอร์ ด้วย



รูปที่ 3.55 แสดง Switching Power Supply Output 12VDC 2A

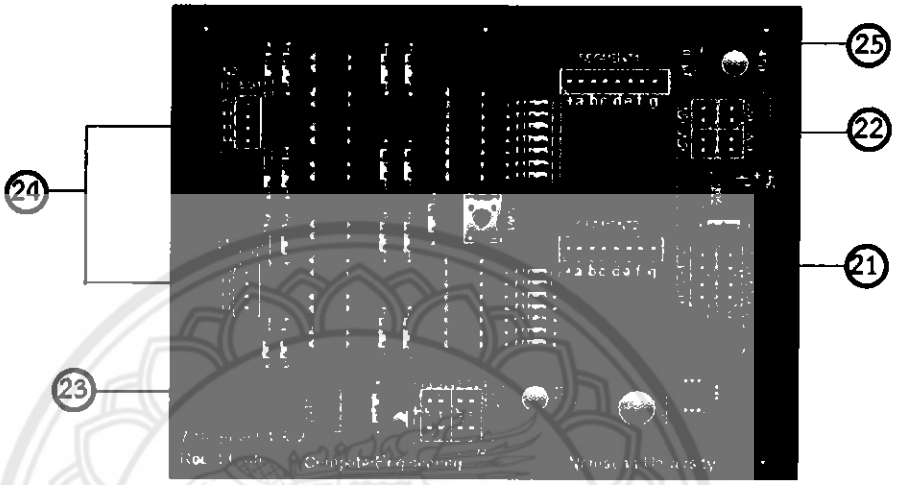
3.10.4 วงจรแปลง BCD เป็น 7 – Segment และ 7 Segment แสดงผล 4 หลัก



รูปที่ 3.56 แสดงวงจรแปลง BCD เป็น 7 - Segment และ 7 Segment แสดงผล 4 หลัก

3.10.4.1 วงจรแปลง BCD เป็น 7 – Segment ทำหน้าที่รับข้อมูลมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะรับมาเป็น BCD และจะมี IC เบอร์ 7447 ทำการแปลง BCD เป็นตัวเลขสำหรับแสดงบน 7-Segment โดยใช้ไฟเลี้ยงวงจรจาก Switching Power Supply 12VDC 2A ต่อเข้ามาที่จุดจ่ายไฟของวงจร (21) และที่จุดเดียวกันจะนำไปต่อกับบอร์ดที่ต่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีวงจรแปลงไฟสองส่วน ได้แก่วงจรแปลงไฟเหลือ 5VDC และ 3.3VDC โดยวงจรแปลงไฟให้เหลือ 5VDC ใช้ในการเลี้ยงวงจร เลี้ยงวงจรและ IC ต่างๆ และมี Output ให้สามารถต่ออุปกรณ์ต่อไฟเลี้ยงใช้แรงดัน 5VDC ได้ (22) ส่วน 3.3VDC นั้นใช้ในการเลี้ยงวงจร X-Bee ภายในตู้และเลี้ยง Opto-isolator โดยมี Outputให้

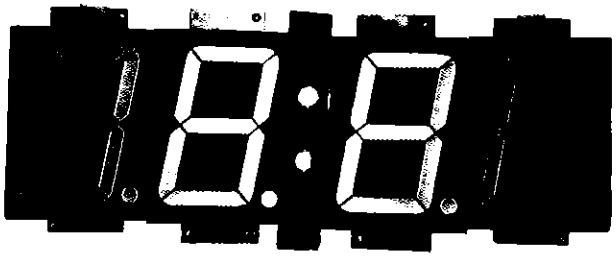
ต่ออุปกรณ์ต่อไฟเลี้ยงใช้แรงดัน 3.3VDC (23) นอกจากนี้แล้วยังมีส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งได้แก่ ส่วนรับข้อมูล BCD มาจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ (24) จากนั้นก็จะส่งออกไปที่ 7 Segment (25) ดังรูป



รูปที่ 3.57 แสดง แผงวงจรแปลง BCD เป็น 7 - Segment

3.10.4.2 ตัว 7 – Segment แสดงผล 4 หลัก ทำหน้าที่แสดงเวลาของรถไฟฟ้าที่จะมาถึงป้าย โดย รับข้อมูลที่ถูกถอดรหัสสำหรับแสดงผลบน 7 - Segment จากวงจรแปลง BCD เป็น 7 - Segment เข้ามาที่วงจรสำหรับใช้งานร่วมกับ 7 – Segment ที่ Connector 8 Pin (26) ซึ่งวงจรนี้จะทำหน้าที่เรียงขาของ 7 – Segment ให้เป็นตามลำดับเพื่อง่ายต่อการใช้งานกับการสั่งงาน และเพื่อนำไปยึดติดกับป้ายจอดรถไฟฟ้าได้ง่าย

รูปที่ 3.58 แสดงวงจรสำหรับใช้งานร่วมกับ 7 – Segment



รูปที่ 3.59 แสดง 7 – Segment 4 หลักที่ติดกับวงจรสำหรับใช้งานร่วมกับ 7 – Segment และวงจรแสดงผลแอลอีดีแสดง จุด ขั้นระหว่างนาทีและวินาที

สำหรับวิธีการดำเนินโครงการเป็นการนำเอาทฤษฎีที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบในทุกส่วนทั้งในเรื่องของการรับข้อมูลและตีความหมายของ GPS การสื่อสารข้อมูลด้วยเครือข่าย Zigbee ผ่านโมดูล X-Bee การวิเคราะห์จุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ รวมไปถึงการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM (STM32F103 STAMP) เพื่ออ่านข้อมูลจาก X-Bee และนำไปแสดงผลยัง 7 – Segment ด้วย รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมด พร้อมวิธีการตั้งค่าต่างๆด้วย โดยผลการทดลองในส่วนต่างๆของระบบที่ได้ออกแบบเอาไว้ในขั้นตอนวิธีการดำเนินโครงการนี้จะกล่าวถึงในบทถัดไป

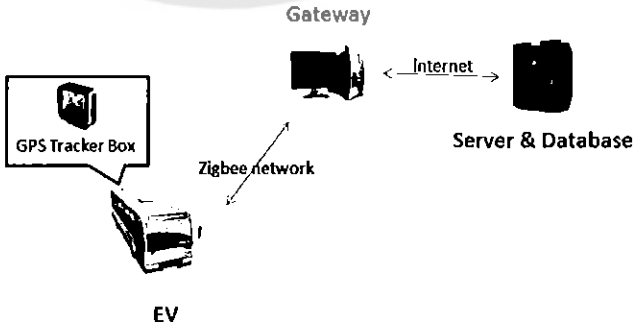
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงการทดลองต่างๆหลังจากนำระบบที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นนำมาทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลเอาไว้ตั้งแต่การเก็บตำแหน่งของถนนเส้นทางมหาวิทยาลัยนเรศวร การทดลองการทำงานของระบบเบื้องต้น การทดลองความแม่นยำในการระบุพิกัดตำแหน่งจาก GPS Box Tracker การทดลองความแม่นยำในการบอกค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถจาก GPS Box Tracker การวัดประสิทธิภาพการอัพโหลดข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์ การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่อัตราบอด (Baud Rate) ต่างกัน การทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee ผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ในระบบ การทดลองรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่จุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ และการทดลองระบบโดยรวม

4.1 การทดลองเก็บตำแหน่งของถนนเส้นทางมหาวิทยาลัยนเรศวร

การทดลองเก็บตำแหน่งเส้นทางภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรโดยใช้กล่อง GPS Tracker Box ภายในติดตั้ง Module GPS ไว้กับไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อทำการตัดคำที่ได้จากโมดูล GPS ให้ออกมา 2 ชุดได้แก่ เป็นค่า $PGGLL กับ $PGVTG อีกทั้งต้องสื่อสารไร้สายผ่านโมดูลเครือข่ายไร้สาย Zigbee 2.4 GHz กับคอมพิวเตอร์เกตเวย์แล้วใช้โปรแกรมที่เชื่อมต่อกับเครื่องเซิร์ฟเวอร์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตนำข้อมูลไปจัดเก็บลงฐานข้อมูลที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์เพื่อนำค่าตำแหน่งรถปัจจุบันไปใช้แสดงผลที่แพลตฟอร์มอื่นๆ ได้



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการสื่อสารข้อมูลของระบบ

การเดินทางเก็บจุดตำแหน่งต่างๆตามเส้นทางการเดินรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย ด้วยความเร็วเฉลี่ยที่ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เริ่มต้นจากเริ่มจากการเก็บข้อมูลสายสีแดงที่หน้าธนาคารกรุงไทย หอพักใน ผ่านคณะวิศวกรรมศาสตร์ ไปทางโรงพยาบาล เลี้ยวเข้าทางผ่านหน้าตราคณะวิทยาศาสตร์ และกลับมายังจุดเดิม หน้าธนาคารกรุงไทย หอพักใน และสายสีเหลือง เริ่มจากหน้าธนาคารกรุงไทย หอพักใน เลี้ยวซ้ายผ่านคณะวิทยาศาสตร์ ไปโรงพยาบาล ผ่านลานพระรูปองค์สมเด็จพระนเรศวร ผ่านคณะวิศวกรรมศาสตร์ กลับไปจุดเริ่มต้นหน้าธนาคารกรุงไทย หอพักใน โดยใช้โปรแกรมอ่านค่าจาก GPS Tracker Box บันทึกลงเป็น 2 ไฟล์ เก็บค่าชุดข้อมูล NMEA 0183 ตลอดเส้นทางแล้วนำมาวิเคราะห์

```
$GPGGA,145401.000,1644.7064,N,10011.4392,E,1,06,1.9,52.9,M,-33.0,M,,0000*4B
$GPGLL,1644.7064,N,10011.4392,E,145401.000,A,A*53
$GPGSA,A,3,08,07,01,17,11,28,,,,,,,4.1,1.9,3.6*38
$GPGSV,3,1,12,08,75,311,27,07,67,171,27,01,53,053,22,17,36,276,21*72
$GPGSV,3,2,12,11,34,040,23,28,34,339,17,04,10,210,27,13,08,178,05*79
$GPGSV,3,3,12,26,09,290,19,48,00,076,,20,21,127,,09,15,322,*72
$GPRMC,145401.000,A,1644.7064,N,10011.4392,E,12.65,327.82,080413,,,A*56
$GPVTG,327.82,T,,M,12.65,N,23.4,K,A*04
```

รูปที่ 4.2 ชุดข้อมูลตัวอย่าง 1 ชุดที่อ่านได้จาก GPS Tracker Box

จากรูปที่ 4.2 เป็นชุดข้อมูลในแต่ละช่วงที่ GPS Tracker Box อัพเดทอยู่เสอมเป็นระยะเวลาทุกๆ 1 วินาที ไมโครคอนโทรเลอร์ที่อยู่ใน GPS Tracker Box จะทำการตัดคำที่อยู่ใน $GPGLL และ $GPVTG ออกมา หากตัดได้จาก $GPGLL ต้องเพิ่มตัวอักษร 'L' ที่ด้านหน้าประโยค และหากตัดได้จาก $GPVTG ออกมา ต้องเพิ่มตัวอักษร 'G' ด้านหน้าประโยค ตัวอย่างเช่น อ้างอิงจากชุดข้อมูลรูปที่ 2 จะได้ข้อมูลที่ตัดออกมาตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการตัดข้อมูลจาก GPS อ้างอิงจากชุดข้อมูลตามรูปที่ 2

ฟิลด์	ประโยคที่ตัดออกแล้ว
$GPGLL	L,1644.7064,N,10011.4392,E,145401.000,A,A*
$GPVTG	G,327.82,T,,M,12.65,N,23.4,K,A*

จากตารางที่ 4.1 ไมโครคอนโทรเลอร์ ARM Cortex-M3 ทำการแพ็คข้อมูลส่งต่อให้กับ Zigbee แล้ว Zigbee ส่งข้อมูลออกไปให้กับคอมพิวเตอร์เกตเวย์

คอมพิวเตอร์เกตเวย์นำข้อมูลที่รับมาจาก GPS Tracker Box มาตัดคำและแปรความหมายออกมาเป็น 3 ขอมูลสำคัญที่ต้องใช้คือ

1. ค่าเส้นรุ้ง (Latitude)
2. ค่าเส้นแวง (Longitude)
3. ค่าความเร็ว (Velocity)

ค่าตำแหน่งในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinate system) ได้มาจากฟิลด์ข้อมูล $GPGLL ซึ่งตามมาตรฐานของ NMEA 0183 v.3 ฟิลด์ข้อมูล $GPGLL บอกตำแหน่งองศาเส้นรุ้ง และเส้นแวง อยู่ภายในฟิลด์ด้วย ค่าที่ให้มามีความละเอียดในระดับลิปดาต้องมีการคำนวณหาฟิลิปดาต่อไป การคำนวณนี้ที่โปรแกรม Gateway Box เป็นตัวคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์นี้ ตัวอย่างเช่น (อ้างอิงจากชุดข้อมูลตามรูปที่ 2) 1644.7064,N,10011.4392,E แบ่งเป็นเส้นรุ้ง 1644.7064,N และเส้นแวง 10011.4392,E ซึ่งมีความหมายว่าละติจูดที่ 16 องศาเหนือ 44.7064 ลิปดา และ ลองจิจูด ที่ 100 องศาตะวันออก 11.4392 ลิปดา ค่าที่ได้นั้นยังไม่ละเอียดพอที่ใช้ในการระบุตำแหน่งต้องทำการหาค่า ฟิลิปดาออกมาด้วย จากการคำนวณ ค่าหลังจุดทศนิยม นำไปคูณกับ 60 จะได้ เส้นรุ้งที่ 16 องศาเหนือ 44 ลิปดา 0.7064 × 60 เท่ากับ 42.384 ฟิลิปดา เช่นเดียวกับ เส้นแวงที่ 100 องศาตะวันออก 11 ลิปดา 0.4392 × 60 เท่ากับ 26.352 ฟิลิปดา จากการที่ได้ค่าในระบบพิกัดภูมิศาสตร์มาแล้วในแบบ Degrees Minutes Seconds (DMS) ต้องมีการแปลงให้อยู่ในรูป Decimal Degrees (DD) ด้วยสมการที่ (4.1)

$$DD = \left(\frac{Seconds}{3600}\right) + \left(\frac{Minutes}{60}\right) + degrees \qquad (4.1)$$

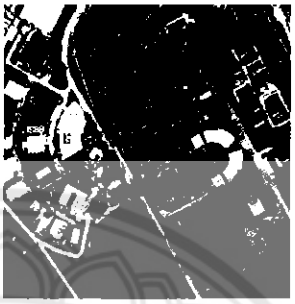
ตัวอย่างการคำนวณเช่น (อ้างอิงชุดข้อมูลจากรูปที่ 2) เส้นรุ้งที่ 16 องศาเหนือ 44 ลิปดา 42.384 ฟิลิปดา จะได้

$$DD = \left(\frac{42.384}{3600}\right) + \left(\frac{44}{60}\right) + 16 = 16.74510667$$

เส้นแวงที่ 100 องศาตะวันออก 11 ลิปดา 26.352 ฟิลิปดา จะได้

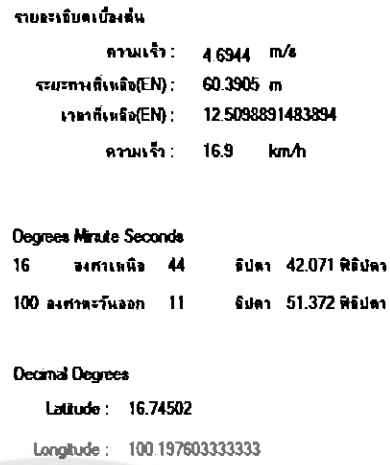
$$DD = \left(\frac{26.352}{3600}\right) + \left(\frac{11}{60}\right) + 100 = 100.1906533$$

จากค่าที่ได้สามารถนำไปกำหนดตำแหน่งใน Google Map ได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งบน Google Map ที่ได้จากการคำนวณ

เมื่อได้ค่าเส้นรุ้ง (Latitude) และค่าเส้นแวง (Longitude) ต่อมาหาค่าของความเร็ว (Velocity) ที่รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปจุดต่างๆ ได้จากฟิลด์ข้อมูล $GPVTG ซึ่งฟิลด์นี้ให้ความเร็วมา 3 หน่วยจึงเลือกใช้หน่วยที่เป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) ตัวอย่างเช่น (อ้างอิงชุดข้อมูลจากรูปที่ 2) G327.82,T,,M,12.65,N,23.4,K,A* ในที่นี้สามารถแปรความหมายของความเร็วออกมาได้ว่ารถกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 23.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งความเร็วนี้จะใช้ในการคำนวณเพื่อหาว่าหากรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่านี้จะถึงป้ายรถที่รออยู่อีกกี่วินาที ซึ่งต้องมีการแปลงหน่วยจาก กิโลเมตรต่อชั่วโมง ให้เป็น เมตร/วินาที เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์และคำนวณต่อไป เมื่อคำนวณโปรแกรม Gateway Box แสดงผลออกมาให้ทราบ

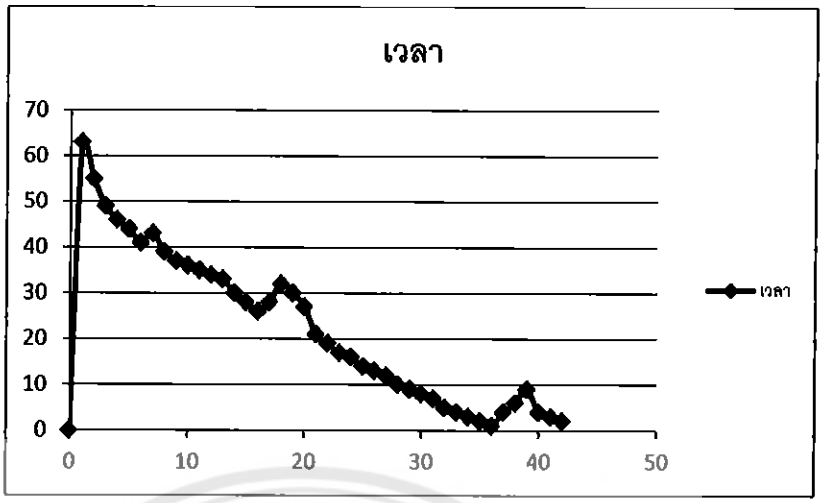


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการแสดงผลที่โปรแกรม Gateway Box

จากการทดลองเก็บค่าจากการเดินรถทั้งสายสีแดง และสายสีเหลือง ใช้เวลาแต่ละรอบเฉลี่ย 11 นาที 4.5 วินาที ที่ความเร็วเฉลี่ย 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะทาง 5.54 กิโลเมตร นำค่าที่ได้มาคำนวณหาตำแหน่ง และ Plot ลง Google Map พบว่าตำแหน่งที่แสดงออกมามีความละเอียด และแม่นยำมาก ความละเอียดที่ GPS สามารถบอกได้ที่ 18.024 เซนติเมตร แต่ทั้งนี้ก็ยังสามารถพบค่าความผิดพลาด (Error) อยู่บ้าง

4.2 การทดลองการทำงานของระบบเบื้องต้น

การทดลองนี้เป็นการทดลองติดตั้งกล่อง GPS Tracker ไว้ที่รถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร จำลอง ตั้งต้นที่หน้าคณะวิทยาการการจัดการมุ่งหน้ามาทางสามแยกทางเข้าตึก EN คณะวิศวกรรมศาสตร์ มีลักษณะเส้นทางเป็นทางตรงระหว่างการทดลองไม่มีรถมากนัก เริ่มการทดลองเปิดโปรแกรม Gateway Box และเว็บไซต์ http://inear.embeddednu.com/ เพื่อคอยดูว่ามีการแสดงผลที่เว็บไซต์ได้ถูกต้องและรวดเร็วมากแค่ไหน เมื่อรถเริ่มเคลื่อนตัว GPS Box Tracker จึงเริ่มส่งข้อมูลมาที่คอมพิวเตอร์เกตเวย์โปรแกรมจึงคำนวณค่าที่ได้ หากค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ มากว่าหรือเท่ากับ 23 กิโลเมตร โปรแกรม เกตเวย์จึงจะส่งค่าไปแสดงผลที่ป้ายแสดผลทันที จากนั้นบันทึกค่าที่มีการอัพเดทไปที่ป้ายทุกครั้ง ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 5 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการอัพเดทแต่ละครั้งกับเวลาที่เหลือที่รถจะเคลื่อนที่มาถึงป้ายที่วางตำแหน่งไว้สามแยกทางเข้าอาคารเรียนรวม EN ของคณะวิศวกรรมศาสตร์



รูปที่ 4.5 แสดงระยะเวลาที่เหลือที่รถจะเคลื่อนที่มาถึงป้าย

จากกราฟพบว่าเวลามีการเพิ่มขึ้นในช่วงแรกเนื่องจากรถได้เคลื่อนที่ได้ระดับความเร็วขึ้นไปเรื่อยๆ ในขณะที่รถเคลื่อนที่ ระยะทางก็สั้นลงเรื่อยๆ เวลาที่รถจะไปถึงจึงลดน้อยลงเรื่อยๆตามความสัมพันธ์ของสมการ

$$t = \frac{s}{v} \tag{4.2}$$

จากการทดลองรถเคลื่อนที่ผ่านป้ายในการอัพเดทข้อมูลครั้งที่ 36 ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าเวลาต่ำที่สุด และลักษณะของกราฟมีลักษณะที่ค่าเวลาลดลงอย่างต่อเนื่อง มีความสมเหตุสมผล

4.3 การทดลองความแม่นยำในการระบุพิกัดตำแหน่งจาก GPS Box Tracker

การทดลองนี้เป็นการทดลองนำกล่อง GPS Box Tracker ไปเก็บตำแหน่ง ที่จุดต่างๆที่วางแผนไว้ดังรูปที่ 6 ทั้งหมด 5 จุด ตามตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

รูปที่ 4.6 ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลจาก GPS Box Tracker

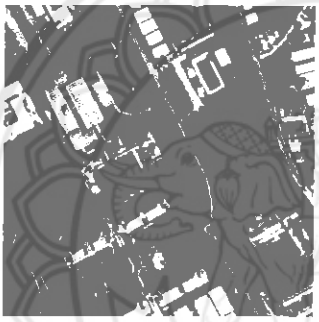
ตารางที่ 4.2 ค่าพิกัดตำแหน่งได้จากกำหนดจุดที่ไปเก็บข้อมูล

ลำดับ	ชื่อตำแหน่ง	ตำแหน่งที่ได้จากกำหนดจุดที่ไปเก็บข้อมูล	
		Latitude	Longitude
1.	ป้ายรถเมล์หน้าสระว่ายน้ำ	16.746234	100.196869
2.	สามแยกเข้าตึก EN	16.745469	100.197252
3.	ตราคณะวิศวกรรมศาสตร์	16.744398	100.197534
4.	สามแยกทางออกประตู 4	16.743093	100.198277
5.	หน้า ธ.กรุงไทย หอพักใน	16.737388	100.199425

ตารางที่ 4.3 ค่าพิกัดตำแหน่งจาก GPS Box Tracker

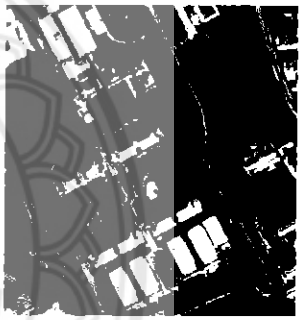
ลำดับ	ชื่อตำแหน่ง	ตำแหน่งที่ได้จาก GPS	
		Latitude	Longitude
1.	ป้ายรถเมล์หน้าสระว่ายน้ำ	16.746225	100.1968517
2.	สามแยกเข้าตึก EN	16.74545667	100.1972683
3.	ตราคณะวิศวกรรมศาสตร์	16.74432333	100.1975217
4.	สามแยกทางออกประตู 4	16.743035	100.1982683
5.	หน้า ธ.กรุงไทย หอพักใน	16.737385	100.1994083

นำค่าที่อ่านได้นำไป Plot ลง Google Maps ผลการ Plot แสดงดังรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.11

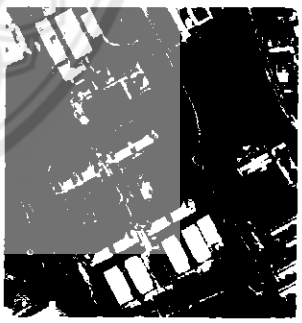


รูปที่ 4.7 ป้ายรถเมล์หน้าสระว่ายน้ำ

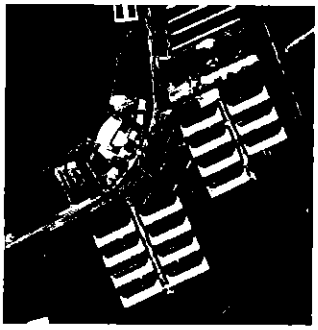
รูปที่ 4.8 สามแยกเข้าตึก EN



รูปที่ 4.9 ตราคณะวิศวกรรมศาสตร์



รูปที่ 4.10 สามแยกทางออกประตู 4



รูปที่ 4.11 หน้า ธ.กรุงไทย หอพักใน

จากการนำข้อมูลทั้งสองแหล่ง มาหาค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อแสดงให้เห็นว่าค่าที่อ่านได้จาก GPS Box Tracker มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่กำหนดไว้กี่เมตร เริ่มจากหาค่าระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดตามสมการที่ (4.3)

$$Interval_{DD} = \sqrt{(Lat_{GPS} - Lat)^2 + (Long_{GPS} - Long)^2} \quad (4.3)$$

จากนั้นค่าที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ Decimal Degrees (DD) จึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ Degrees Minutes Seconds (DMS) ด้วยสมการที่ (4.4)

$$interval_{DMS} = Interval_{DD} \times 60 \quad (4.4)$$

จากการแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ Degrees Minutes Seconds (DMS) หาระยะห่างที่มีหน่วยเป็นเมตรจากความสัมพันธ์ 1 ลิปดาเท่ากับระยะ 1828.8 เมตร ดังนั้นค่าความผิดพลาด (Error) หาได้จาก สมการที่ (4.5)

$$Error = interval_{DMS} \times 1828.8 \quad (4.5)$$

จากการเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองหาค่าประสิทธิภาพความแม่นยำ GPS Box Tracker มีหน่วยเป็น เมตร

ลำดับ	ชื่อสถานที่	ค่าความต่าง (DD)		ค่าความผิดพลาด (Error)
		Latitude	Longitude	
1.	ป้ายรถเมย์หน้าสระว่ายน้ำ	0.00000900	0.00001730	2.1398085396925
2.	สามแยกเข้าตึก EN	0.00001233	0.00001630	2.2426398050446
3.	ตราคณะวิศวกรรมศาสตร์	0.00007467	0.00001230	8.3038065223967
4.	สามแยกทางออกประตู 4	0.00005800	0.00000870	6.4354232520706
5.	หน้า ธ.กรุงไทย หอพักใน	0.00000300	0.00001670	1.8617902575080

4.4 การทดลองความแม่นยำในการบอกค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถจาก GPS Box Tracker

เป็นการทดลองขับรถเคลื่อนที่ไปในทางตรงระยะทาง 200 เมตร ซึ่งรถต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตลอดระยะทางที่ทำการทดลอง 200 เมตร ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลสรุปการทดลองที่ได้จากการขับรถในระดับความเร็วต่างๆ (ความเร็วมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง)

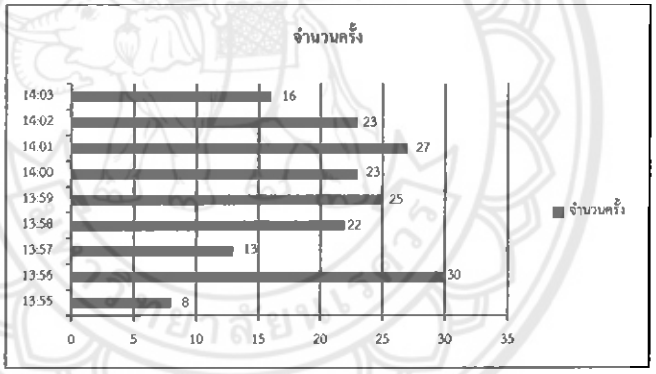
ลำดับ	ความเร็ว (รถ)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (คำนวณ)	ความเร็ว (GPS)
1	20	200	34.77	20.70750647	17.9
2	30	200	25.55	28.18003914	สรุปไม่ได้
3	40	200	17.55	41.02564103	35.3
4	50	200	14.68	49.04632153	44.2
5	60	200	10.86	66.29834254	52.3

4.5 การวัดประสิทธิภาพการอัพโหลดข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์

การทดลองนี้ทำเพื่อทดสอบประสิทธิภาพความเร็วในการ upload ข้อมูลของตัว Gateway Box ว่าทำได้เร็วเท่าไรสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.12

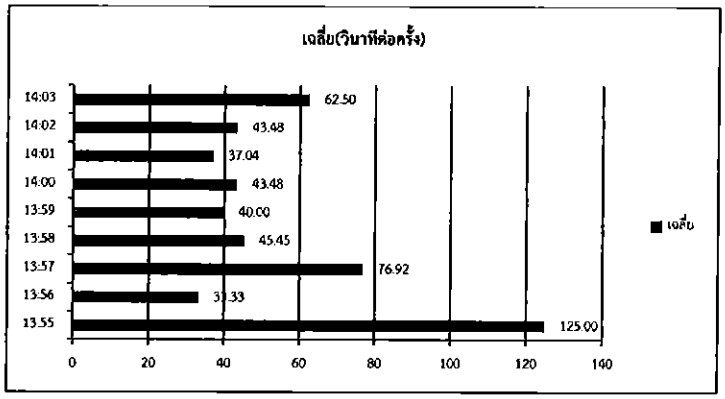
ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดสอบอัพโหลดข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์

เวลา	13:55	13:56	13:57	13:58	13:59	14:00	14:01	14:02	14:03
จำนวนครั้ง	8	30	13	22	25	23	27	23	16
เฉลี่ย (ms/ครั้ง)	125	33.3333	76.9231	45.4545	40	43.4783	37.037	43.4783	62.5



รูปที่ 4.12 แสดงจำนวนครั้งในแต่ละช่วงที่มีการอัพเดทข้อมูล

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าในแต่ละวินาทีมีการบันทึกข้อมูลที่เครื่อง Server รับมาจาก Gateway สามารถส่งได้ถี่สูงสุดที่ 30 ครั้ง และความถี่ต่ำสุดที่ 8 ครั้ง จากการทดลองในการส่งข้อมูลจำนวน 200 ชุดไปที่ Server และใน 1 วินาทีสามารถหาค่าเฉลี่ยในการบันทึกค่าข้อมูลในแต่ละช่วงได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงอัตราเฉลี่ยของเวลาในการอัพเดทข้อมูลหน่วยเป็นมิลลิวินาที

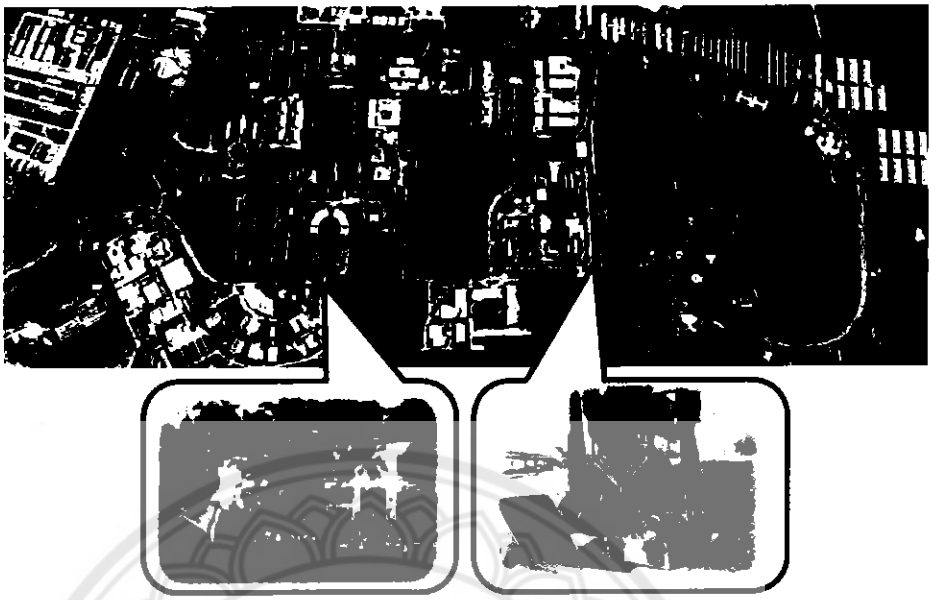
จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นแต่ละช่วงเวลาที่มีการอัพเดทข้อมูลไปเฉลี่ยกี่ครั้งต่อวินาที ซึ่งอัพเดทที่เร็วที่สุดในการทดลองคือ 33.33 มิลลิวินาที แต่หากนำมาเฉลี่ยทั้งหมดจะอยู่ที่ 20.778 ครั้งต่อวินาที

4.6 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่อัตราบอด (Baud Rate) ต่างกัน

การทดสอบนี้ใช้ X-Bee ทั้งหมด 2 ตัว ตัวแรกถูกตั้งค่า (Configuration) ให้เป็น Coordinator API และอีกตัวหนึ่งถูกตั้งค่าให้เป็นRouter APIการทดลองนี้จะทำการปรับค่าอัตราบอดของ X-Bee และทำการรับส่งข้อมูลกันX-Bee ที่ทำหนี้ที่เป็นCoordinator นั้นจะต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้เขียนโปรแกรมสั่งการทำงานเอาไว้โดยทำหน้าที่ในการนับเวลาหลังจากที่เริ่มส่งข้อมูลและจะหยุดนับเมื่อX-Beeที่เป็นตัวรับตอบกลับมายังตัวส่งว่าได้รับข้อมูลแล้ว หลังจากนั้นจะส่งค่าไปแสดงบนหน้าจอ คอมพิวเตอร์และทำการบันทึกผลเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยเวลาในการรับส่งข้อมูลที่อัตราบอดต่างกันเพื่อดูว่าอัตราบอดมีผลต่อการรับส่งหรือไม่

การทดสอบนี้ใช้ระยะทางในการทดสอบเท่ากันที่ 600 เมตรและมีการปรับค่าอัตราบอดที่ 9600 19200 38400 57600 และ 115200 และทดสอบการรับส่งข้อมูลที่ 58byte การทดสอบจะทำการติดตั้ง X-Bee ที่ทำหน้าที่เป็นเราท์เตอร์ไว้บริเวณหน้าคณะแพทยศาสตร์และติดตั้ง X-Bee ที่ทำหน้าที่เป็น Coordinatorไว้บริเวณสามแยกคณะวิทยาศาสตร์โดยทดลองในเวลาที่ใกล้เคียงกันและสภาพแวดล้อมเหมือนกัน

สำหรับจุดที่ใช้สำหรับทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่อัตราบอดต่างกัน แสดงไว้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงจุดทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่อัตราบอด (Baud Rate) ต่างกัน

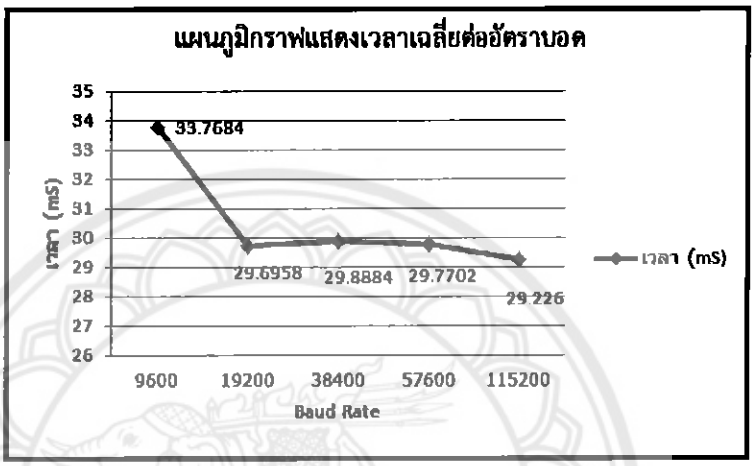
จากรูปที่ 4.14 ภาพซ้ายคือบริเวณสามแยกคณะวิทยาศาสตร์ซึ่งอยู่ใกล้กับศูนย์วิจัยพลังงาน และภาพขวาคือบริเวณด้านหน้าคณะแพทยศาสตร์ด้านตรงข้ามฝั่งถนนระยะห่างประมาณ 600 เมตร สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงได้ในรูปแบบตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่าง X-bee 2 ตัวที่อัตราบอดต่างกัน

Baud Rate	ระยะเวลาในการรับส่ง (ms)				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
9600	33.664	35.215	33.002	34.337	32.624
19200	29.656	29.465	29.883	30.719	28.756
38400	32.005	29.25	29.261	28.766	30.16
57600	28.94	30.123	29.258	29.501	31.029
115200	30.639	29.364	26.757	28.693	30.677

จากตารางที่ 4.7 เป็นการแสดงผลการทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่าง X-bee 2 ตัว ที่อัตราบอดต่างกันโดยแต่ละอัตราบอดจะทดสอบโดยการรับส่งทั้งหมด 5 ครั้ง

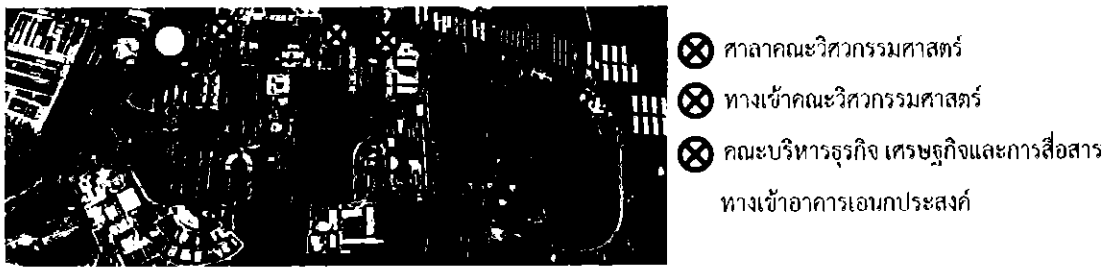
จากผลการทดสอบปรากฏว่าอัตราบอดนั้นมีผลต่อความเร็วในการรับส่งข้อมูลโดยอัตราบอดยิ่งสูงขึ้นยิ่งทำให้การรับส่งข้อมูลเร็วขึ้นด้วยโดยสามารถสรุปผลการทดสอบในรูปแบบของแผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่ออัตราบอด ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่ออัตราบอด (Baud Rate)

จากรูปที่ 4.15 พบว่าอัตราที่ 9600 ส่งข้อมูลได้ช้าที่สุด ที่เวลาเฉลี่ย 33.7684 ms และอัตราบอด 115200 ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลเร็วที่สุดที่ 29.226 ms

4.7 การทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee ผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ในระบบ



รูปที่ 4.16 แสดงจุดในการทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee ผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์

การทดสอบนี้ต้องการหาระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee ผ่านจำนวนX-Beeโหนดเราท์เตอร์ที่แตกต่างกันไปได้แก่ การทดสอบรับส่งข้อมูลไม่ผ่าน X-bee โหนดเราท์เตอร์ การทดสอบรับส่งข้อมูลผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ 1 ตัว และ 2 ตัวตามลำดับ โดยจุดที่เป็นตัวส่งข้อมูลจะอยู่กับที่คือที่บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์และจุดหมายปลายทางจะเปลี่ยนที่ไปเรื่อยๆ เพื่อให้มีการรับส่งข้อมูลผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ที่คิดตั้งเอาไว้

หลักการในการทดสอบคือ จะทำการทดสอบรับส่งในแต่ละจุดจุดละ 5ครั้ง X-Bee ทุกตัวสื่อสารกันที่อัตราบอด 9600 และใช้ชุดข้อมูลในการรับส่ง 58 byteโดยแต่ละครั้งจะเก็บค่าของระยะในการรับส่งไว้โดย X-Bee ที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator จะถูกติดตั้งอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยมีการเขียนโปรแกรมเอาไว้ เมื่อกดส่งข้อมูลไปยังX-Bee ที่เป็นจุดหมายปลายทาง จะเริ่มทำการนับเวลาและหลังจากนั้นเมื่อX-Beeที่เป็นจุดหมายปลายทางตอบกลับมา (Acknowledge)ไมโครคอนโทรลเลอร์จะหยุดนับเวลาและส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม(Serial Port) ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลผ่านโปรแกรม Docklight ซึ่งดาวน์โหลดได้จาก http://www.docklight.de/download_en.htm หลังจากนั้นจึงทำการบันทึกผลและนำมาหาค่าเฉลี่ยเวลาต่อจำนวนโหนดที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

โดยสามารถแบ่งการทดสอบได้เป็น 3 การทดสอบย่อยดังนี้

รูปที่ 4.17 แสดงจุดทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่ผ่านเราท์เตอร์

1. การทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่ผ่านเราท์เตอร์ การทดลองนี้จะให้ X-Bee ตัวที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator อยู่บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์และจะให้ X-Bee ที่ต้องการรับข้อมูลติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ การดทดลองนี้จะทดลองรับส่งโดยไม่ผ่านเราท์เตอร์

รูปที่ 4.18 แสดงจุดทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสารผ่านเราท์เตอร์ ทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์

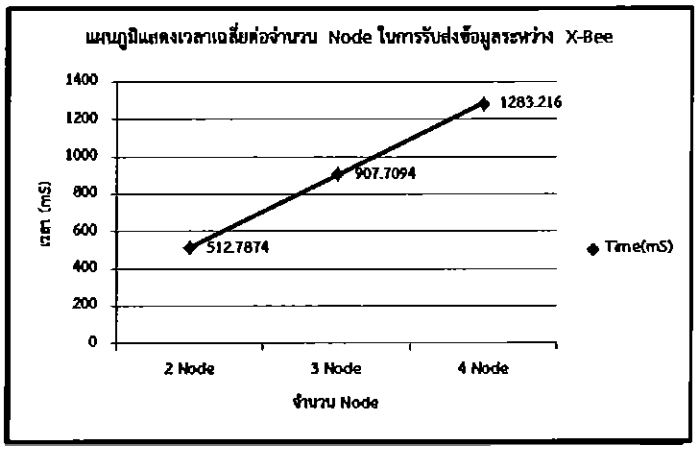
2. การทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสารผ่านเราท์เตอร์ ทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ การทดลองนี้จะให้ X-Bee ตัวที่ทำหน้าที่เป็น Coordinatorอยู่บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์และจะให้ X-Bee ที่ต้องการรับข้อมูลติดตั้งอยู่บริเวณคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร ส่วนเราท์เตอร์ในการทดลองนี้จะใช้ทั้งหมด 1ตัว โดยติดตั้งอยู่ที่บริเวณทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์

3. การทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงทางเข้าอาคารเอนกประสงค์ผ่านเราท์เตอร์ ทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์และหน้าคณะบริหารธุรกิจและการสื่อสารการทดสอบนี้จะให้ X-Bee ตัวที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator อยู่บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ และจะให้ X-Beeที่ต้องการรับข้อมูลติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าอาคารเอนกประสงค์

ส่วนเราท์เตอร์ในการทดลองนี้จะใช้ทั้งหมด 2ตัวโดยติดตั้งอยู่ที่บริเวณทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์และหน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร

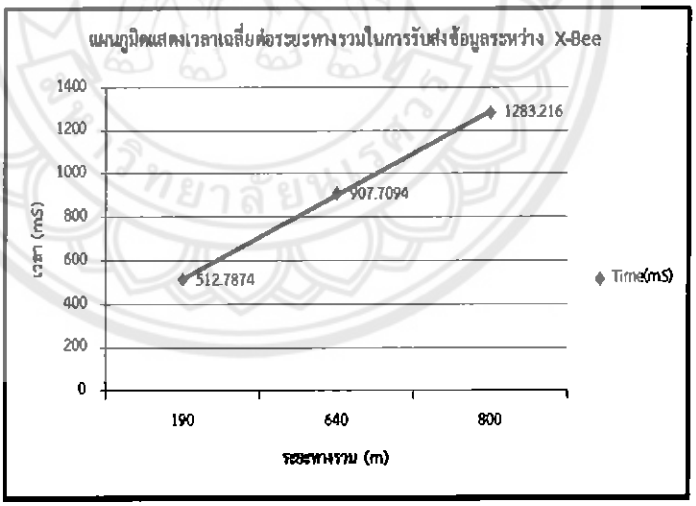
รูปที่ 4.19 แสดงจุดทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ถึงทางเข้า อาคารเอนกประสงค์ผ่านเราท์เตอร์ ทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์และหน้าคณะ บริหารธุรกิจและการสื่อสาร

การทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee ผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ในระบบได้ข้อสรุปว่าจำนวนโหนดมีผลต่อการรับส่งข้อมูล โดยจำนวนโหนดยิ่งมากยิ่งทำให้ระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลช้าลง นอกจากนี้ระยะทางรวมก็ยังมีผลต่อการรับส่งข้อมูลด้วยเช่นกันโดยระยะทางยิ่งมากระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลยิ่งช้าลง โดยสามารถสรุปผลการทดสอบในรูปแบบของแผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อจำนวนโหนดในการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee ดังรูปที่ 4.20 และแผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อระยะทางรวมในการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee ดังรูปที่ 4.21 ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 แผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อจำนวนโหนดในการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee

จากรูปที่ 4.20 เป็นแผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อจำนวนโหนด (Node) จะเห็นว่าที่การทดสอบ 2 โหนด คือรับส่งข้อมูลโดยไม่ผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ จะใช้เวลาในการส่งข้อมูลเร็วที่สุดเฉลี่ย 512.7874 ms และเมื่อทดสอบ 4 โหนด คือรับส่งโดยผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ (Router Node) จะใช้เวลาช้าที่สุดเฉลี่ย 1283.216 ms



รูปที่ 4.21 แผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อระยะทางรวมในการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee

จากรูปที่ 4.21 เป็นแผนภูมิกราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อระยะทางรวมในการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee โดยจะเห็นว่าการทดสอบที่ระยะทางรวม 190 เมตร จะใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลเร็วที่สุดเฉลี่ย 512.7874 ms และการทดสอบที่ระยะทางรวม 640 เมตร จะใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลช้า

ลงมาเฉลี่ย 907.7094 ms และสุดท้ายการทดสอบที่ระยะทางรวม 800 เมตร จะใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลช้าลงมาเฉลี่ย 1283.216 ms

4.8 การทดลองรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่จุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์

ในการทดลองรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่จุดติดตั้ง X-Bee Router จริงนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาผลลัพธ์การรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee หากติดตั้งไว้ที่จุดติดตั้ง X-Bee Router จริงและต้องได้ผลลัพธ์การรับส่งข้อมูลซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลกันได้ 5 ครั้งติดต่อกัน

การทดลองใช้วิธีการติดตั้ง X-Bee ตัวหนึ่งให้อยู่กับที่ เสมือนติดตั้งเป็น Router อยู่ตามเสา และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ และส่งข้อมูลมายัง X-Bee ตัวที่ติดตั้งอยู่กับที่เป็นระยะจนกระทั่งสัญญาณไม่ถึงแล้วจึงถอยกลับมาหาจุดที่สามารถส่งได้ไกลที่สุดและสัญญาณยังคงส่งถึงอยู่ โดยการส่งข้อมูลทั้งหมด 5 ครั้งและสื่อสารกันได้ครบทั้ง 5 ครั้ง

ในการทดลองได้ทำการทดลองโดย Configuration X-Bee ให้เป็น Coordinator APIและ Router API ที่ Baud Rate 9600 และสามารถแสดงผลสรุปการทดลองได้ดังนี้

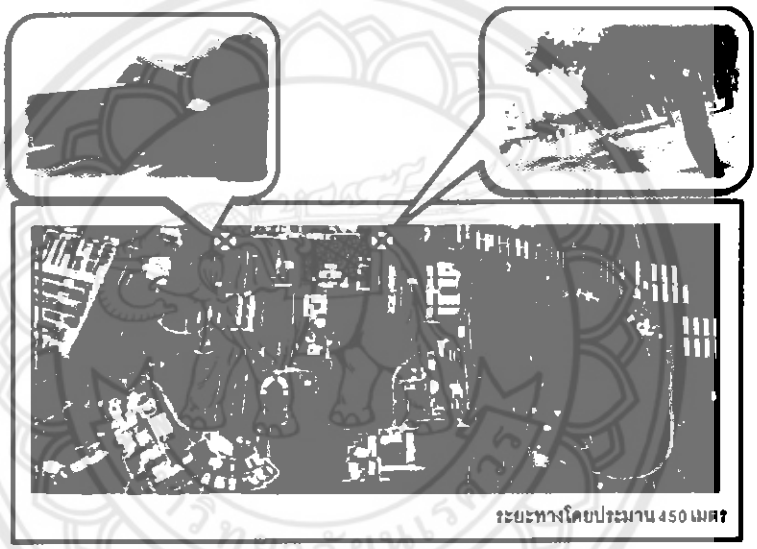
ตารางที่ 4.8 ตารางสรุปผลการทดลองรับส่งข้อมูลของ X-Bee 2 ตัว ที่จุดติดตั้ง X-Bee Router จริง

โหนด (จาก)	โหนด (ถึง)	ระยะทาง (เมตร)
D	E	450
E	F	160
F	G	270
G	H	150
H	I	150
I	J	320
J	K	530
K	B	570
B	L	320
B	A	420
B	C	245
C	D	190

4.8.1 ทดสอบระยะทางจาก หน้าทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ ถึง หน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร

การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่ตรงหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณหน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร เป็นระยะทางรวม 450 เมตร

สำหรับการทดสอบนี้ สามารถส่งสัญญาณได้ในระดับที่ไกลพอสมควรเนื่องจากเส้นทางเป็นเส้นทางตรงอีกทั้งเป็นพื้นที่โล่ง มีต้นไม้บดบังเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

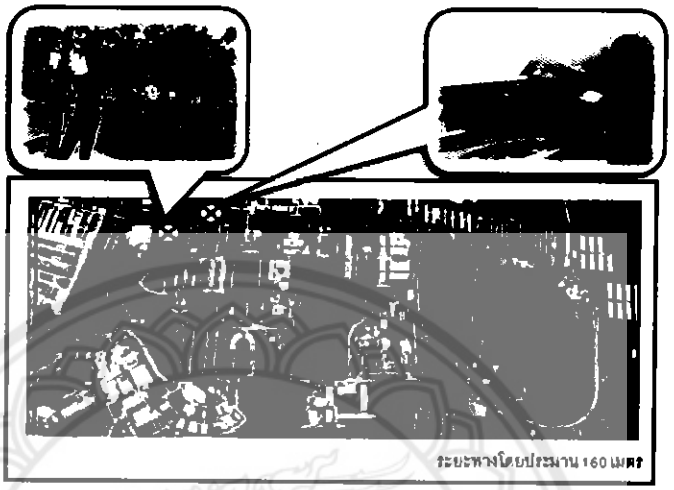


รูปที่ 4.22 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ ถึง หน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร

4.8.2 ทดสอบระยะทางจากหน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร ถึง ทางเข้าอาคารเอนกประสงค์

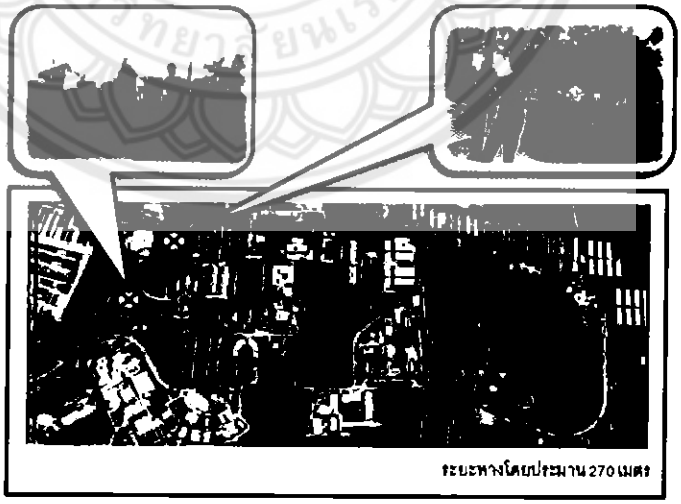
การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่หน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณหน้าทางเข้าอาคารอเนกประสงค์ เป็นระยะทางรวม 160 เมตร

สาเหตุหลักที่ทำให้บริเวณนี้สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกล้มากนักเป็นเพราะปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ถนนที่เป็นทางโค้ง อีกทั้งต้นไม้ค่อนข้างสูงใหญ่และมีอยู่ค่อนข้างทึบซึ่งบดบังสัญญาณเป็นอย่างมากทำให้สัญญาณส่งไปได้ไม่ไกล



รูปที่ 4.23 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐกิจและการสื่อสาร ถึง ทางเข้าอาคารอเนกประสงค์

4.8.3 ทดสอบระยะทางจากหน้าทางเข้าอาคารเอนกประสงค์ ถึง บริเวณลานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช



รูปที่ 4.24 แสดงการทดสอบระยะทางจากหน้าทางเข้าอาคารเอนกประสงค์ ถึง บริเวณลานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช

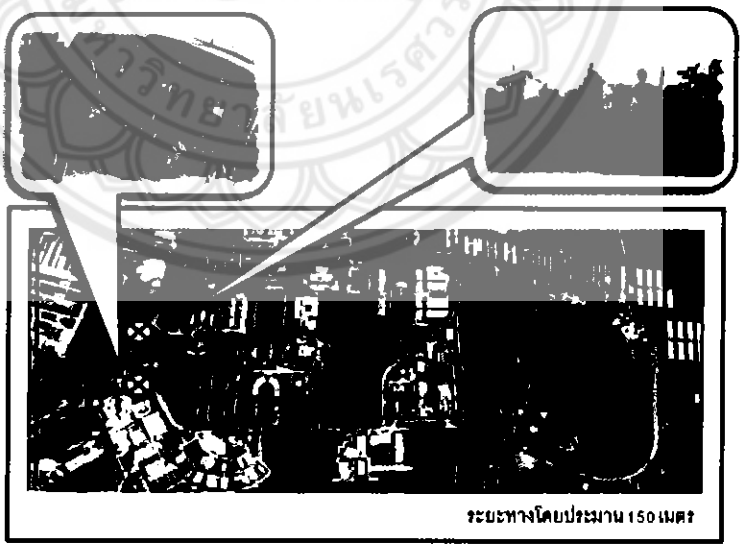
การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่หน้าทางเข้าอาคารเอนกประสงค์ และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณลานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช เป็นระยะทางประมาน 270 เมตร

สาเหตุหลักที่ทำให้บริเวณนี้สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกล้มากนั้นเป็นเพราะปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ถนนที่เป็นทางโค้ง อีกทั้งต้นไม้ค่อนข้างสูงใหญ่และมีอยู่ค่อนข้างทึบซึ่งบดบังสัญญาณเป็นอย่างมากทำให้สัญญาณส่งไปได้ไม่ไกล

4.8.4 ทดสอบระยะทางจาก บริเวณลานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช ถึง **หน้าโรงพยาบาล**

การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่หน้าบริเวณลานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณหน้าโรงพยาบาล เป็นระยะทางประมาน 150 เมตร

สาเหตุหลักที่ทำให้บริเวณนี้ต้องติดตั้งให้รับส่งข้อมูลใกล้มากนั้นเป็นเพราะปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ถนนที่เป็นทางโค้ง อีกทั้งต้นไม้ค่อนข้างสูงใหญ่และมีอยู่ค่อนข้างทึบซึ่งบดบังสัญญาณเป็นอย่างมากทำให้สัญญาณส่งไปได้ไม่ไกลในช่วงที่จะเลี้ยวจากหน้าโรงพยาบาลข้ามมาฝั่งสถานีวิทยุ

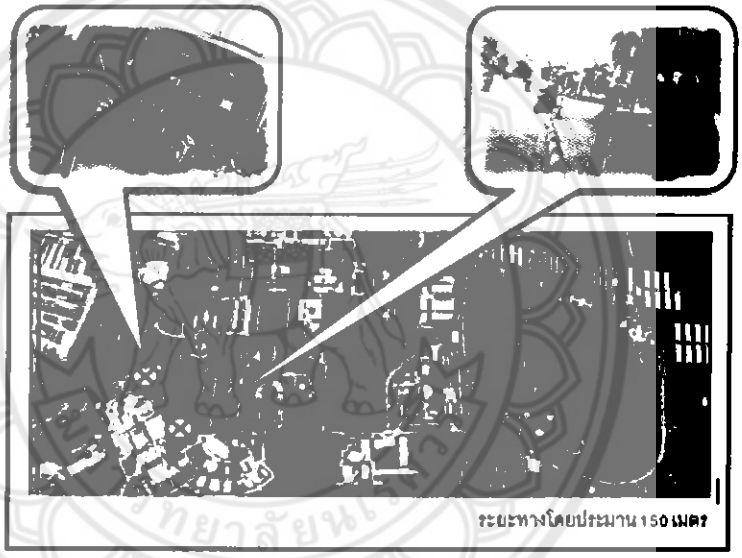


รูปที่ 4.25 แสดงการทดสอบระยะทางจากบริเวณลานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช ถึง หน้าโรงพยาบาล

4.8.5 ทดสอบระยะทางจาก หน้าโรงพยาบาล ถึง หน้าคณะเภสัชศาสตร์

การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่โค้งหน้าคณะเภสัชศาสตร์ และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณหน้าโรงพยาบาล เป็นระยะทางประมาน 150 เมตร

สาเหตุหลักที่ทำให้บริเวณนี้ต้องติดตั้งให้รับส่งข้อมูลใกล้กันมากนั้นเป็นเพราะปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ถนนที่เป็นทางโค้ง อีกทั้งต้นไม้ค่อนข้างสูงใหญ่ ซึ่งบดบังสัญญาณเป็นอย่างมากทำให้สัญญาณส่งไปได้ไม่ไกล หากเลี้ยวข้ามโค้งบริเวณหน้าธนาคารกรุงศรีอยุธยามาจะอับสัญญาณไม่สามารถสื่อสารกันได้ จึงเป็นสาเหตุจำเป็นให้ต้องติดตั้งเอาไว้ในระยะทางที่ใกล้กันพอสมควร



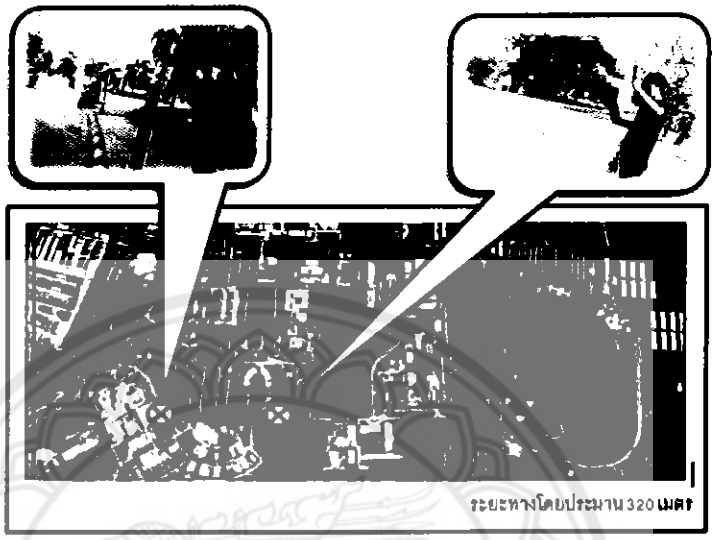
รูปที่ 4.26 แสดงการทดสอบระยะทางจาก บริเวณหน้าโรงพยาบาล ถึง โค้งหน้าคณะเภสัชศาสตร์

4.8.6 ทดสอบระยะทางจาก หน้าคณะเภสัชศาสตร์ ถึง สามแยกหน้าคณะแพทยศาสตร์

การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่สามแยกหน้าคณะแพทยศาสตร์ และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณหน้าคณะเภสัชศาสตร์ เป็นระยะทางประมาน 320 เมตร

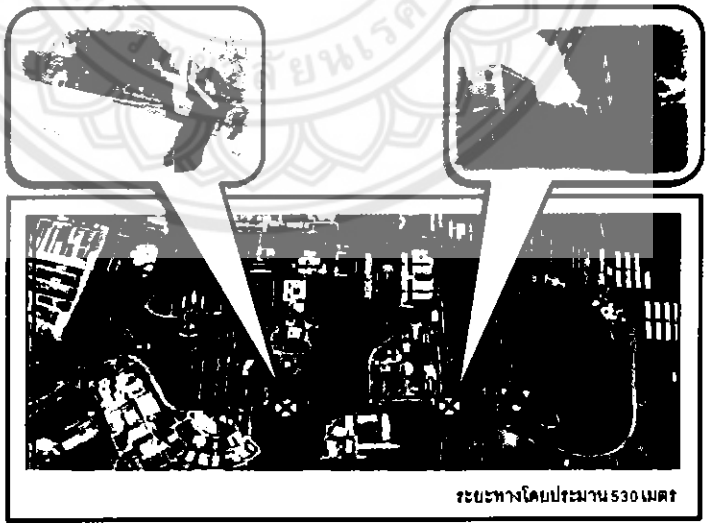
การที่สามารถติดตั้งไว้ได้ไกลในระดับหนึ่งเพราะ เส้นทางเป็นเส้นทางตรง ถึงแม้จะมีต้นไม้บดบังสัญญาณบ้างแต่ก็ไม่มากนัก สัญญาณจึงส่งได้ค่อนข้างไกล และการที่ติดตั้งตัว X-Bee Router เอาไว้บริเวณสามแยกหน้าคณะแพทยศาสตร์ จะทำให้การส่งสัญญาณ สามารถส่งสัญญาณ

เข้าไปถึงป้ายจอดรถไฟฟ้าบริเวณด้านข้างตึก QS ด้วยนั่นเอง ส่วนอีกทางหนึ่งก็จะสามารถส่งสัญญาณไปถึงบริเวณด้านหน้าคณะวิทยาศาสตร์บริเวณป้ายคณะด้วย



รูปที่ 4.27 แสดงการทดสอบระยะทางจาก โค้งหน้าคณะเภสัชศาสตร์ ถึง สามแยกหน้าคณะแพทยศาสตร์

4.8.7 ทดสอบระยะทางจาก สามแยกหน้าคณะแพทยศาสตร์ ถึง สามแยกคณะวิทยาศาสตร์

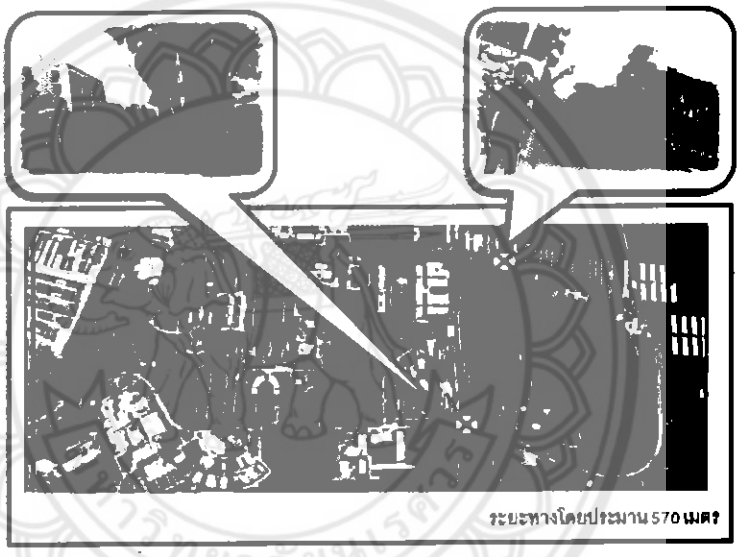


รูปที่ 4.28 แสดงการทดสอบระยะทางจาก สามแยกหน้าคณะแพทยศาสตร์ ถึง สามแยกคณะวิทยาศาสตร์

การทดสอบนี้ตั้งให้ Router สามแยกคณะวิทยาศาสตร์ และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณหน้าคณะแพทยศาสตร์ เป็นระยะทางประมาน 530 เมตร

การที่สามารถติดตั้งไว้ได้ไกลในระดับหนึ่งเพราะ เส้นทางเป็นเส้นทางตรง และไม่มีสิ่งกีดขวางหรือบดบังสัญญาณมากนัก ถึงแม้จะมีต้นไม้บดบังสัญญาณบ้างแต่ก็ไม่มากนัก จึงเป็นเหตุให้สัญญาณสามารถส่งไปได้ค่อนข้างไกลพอสมควร

4.8.8 ทดสอบระยะทางจาก สามแยกคณะวิทยาศาสตร์ ถึง หน้าอาคารโภชนาคาร



รูปที่ 4.29 แสดงการทดสอบระยะทางจาก สามแยกคณะวิทยาศาสตร์ ถึง หน้าอาคารโภชนาคาร

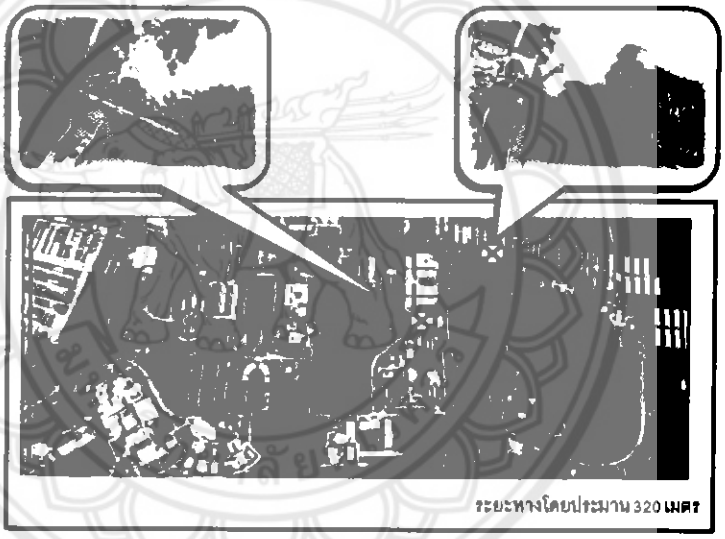
การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่โค้งหน้าโภชนาคาร และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณสามแยกคณะวิทยาศาสตร์ เป็นระยะทางประมาน 570 เมตร

การที่สามารถติดตั้งไว้ได้ไกลในระดับหนึ่งเพราะเส้นทางที่สัญญาณเดินทางนั้นค่อนข้างโล่งกว้าง สัญญาณสามารถเดินทางได้อย่างสะดวก และสิ่งกีดขวางหรือบดบังสัญญาณก็ค่อนข้างมีน้อย ถึงแม้จะมีต้นไม้บดบังสัญญาณบ้างแต่ก็มีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เป็นเหตุให้สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลพอสมควร

4.8.9 ทดสอบระยะทางจาก หน้าอาคารโภชนาคาร ถึง บริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์

การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่หน้าโภชนาคาร และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ เป็นระยะทางประมาน 320 เมตร

การที่สามารถติดตั้งไว้ได้ไกลในระดับหนึ่งเพราะเส้นทางที่สัญญาณเดินทางนั้นค่อนข้างโล่งกว้างและมีต้นไม้บังน้อย แต่ก็จะไม่สามารถติดตั้งได้ไกลกว่านี้ เพราะ ช่วงที่ติดตั้งนั้นเป็นบริเวณหัวโค้งที่สัญญาณยังคงส่งจากอาคารโภชนาคารมาถึง แต่หากเลยโค้งมาทางฝั่งคณะวิทยาศาสตร์มากเกินไปสัญญาณจาก X-Bee ที่ติดตั้งบริเวณอาคารโภชนาคารจะไม่สามารถส่งสัญญามาถึงได้

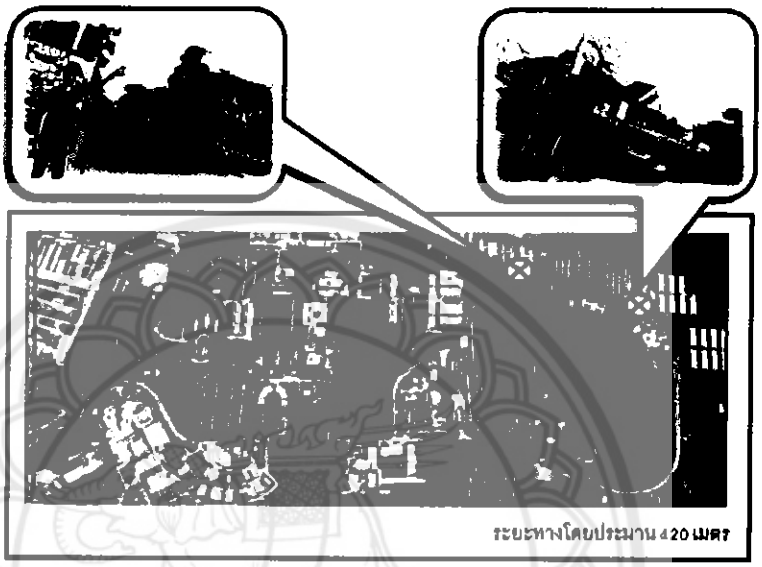


รูปที่ 4.30 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าอาคารโภชนาคาร ถึงบริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์

4.8.10 ทดสอบระยะทางจาก หน้าอาคารโภชนาคาร ถึง บริเวณจุดพักรถไฟฟ้า

การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่หน้าโภชนาคาร และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณจุดพักรถไฟฟ้า เป็นระยะทางประมาน 420 เมตร

การที่สามารถติดตั้งไว้ได้ไกลในระดับหนึ่งเพราะเส้นทางที่สัญญาณเดินทางนั้นค่อนข้างโล่งกว้างเป็นเส้นทางตรงและมีต้นไม้บดบังเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้สัญญาณสามารถเดินทางผ่านได้อย่างเต็มที่ จึงทำให้สามารถติดตั้งเอาไว้ห่างกันได้ไกลพอสมควร

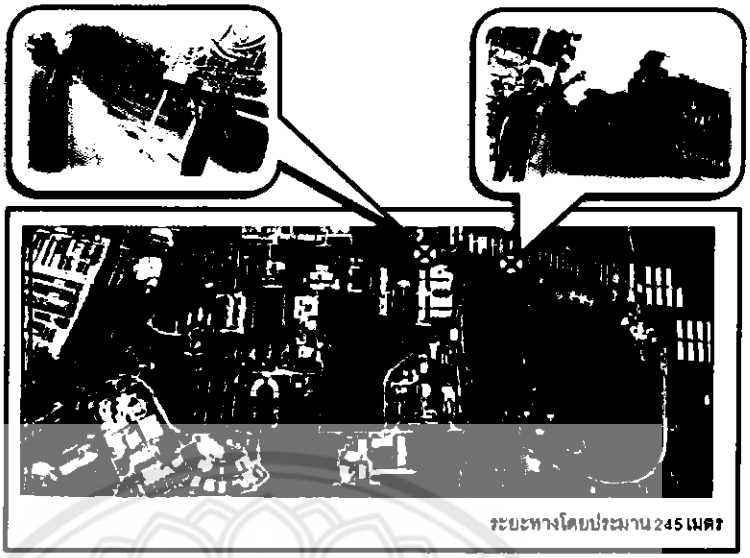


รูปที่ 4.31 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าอาคาร โภชนาคาร ถึง บริเวณจุดพักรถไฟฟ้า

4.8.11 ทดสอบระยะทางจาก หน้าอาคารโภชนาคาร ถึง บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์

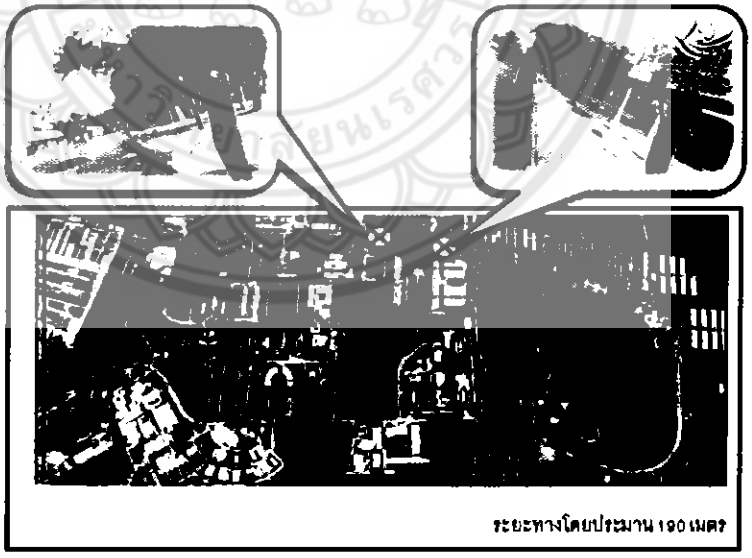
การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่หน้าโภชนาคาร และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นระยะทางประมาน 245 เมตร

ในการทดสอบนี้จะต้องติดตั้ง X-Bee เอาไว้ในระยะที่ไม่ไกลกันมากนักเพราะช่วงศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์จะเป็นช่วงโค้งและมีต้นไม้หนาทึบ หากไกลกว่านี้จะอับสัญญาณ สัญญาณจะไม่สามารถเดินทางถึงกัน ทำให้ไม่สามารถสื่อสารกันได้



รูปที่ 4.32 แสดงการทดสอบระยะทางจาก หน้าโภชนาคาร ถึง บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์

4.8.12 ทดสอบระยะทางจาก บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ถึงหน้าทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์



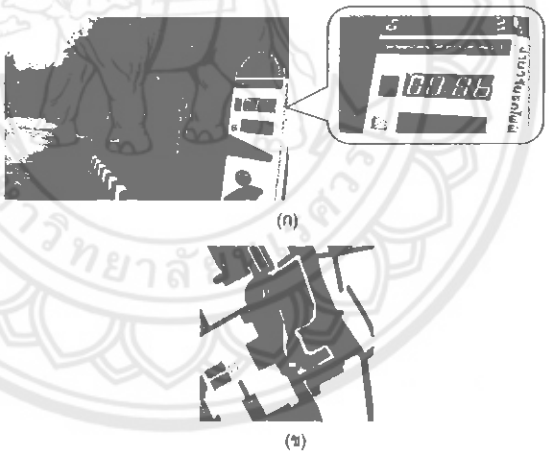
รูปที่ 4.33 แสดงการทดสอบระยะทางจาก บริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ถึงหน้าทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์

การทดสอบนี้ตั้งให้ Router อยู่หน้าทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ X-Bee อีกตัวหนึ่งเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงบริเวณศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นระยะทางประมาน 190 เมตร ซึ่งสามารถส่งข้อมูลและสื่อสารกันได้ทั้งหมด 5 ครั้งติดต่อกัน

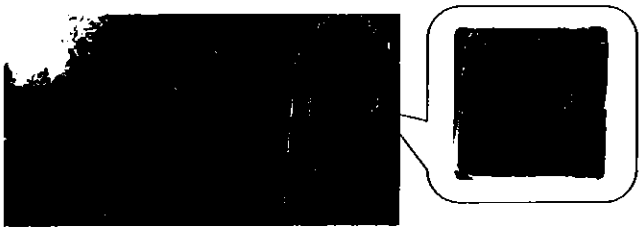
ในการทดสอบนี้จะต้องติดตั้ง X-Bee เอาไว้ในระยะที่ไม่ไกลกันมากนักเพราะช่วงศาลาคณะวิศวกรรมศาสตร์จะเป็นช่วงโค้งและมีต้นไม้หนาทึบ หากไกลกว่านี้จะอับสัญญาณ สัญญาณจะไม่สามารถเดินทางถึงกัน ทำให้ไม่สามารถสื่อสารกันได้

4.9 การทดลองระบบโดยรวม

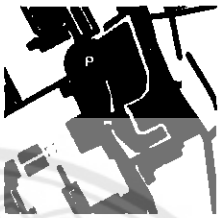
เป็นการนำกล่อง GPS Box Tracker นำขึ้นไปในรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร สายสีแดง ขณะวิ่งบริการอยู่ และมีการติดตั้งป้ายแสดงผลเวลาที่เหลือที่รถไฟฟ้าจะมาถึงที่จุดจอดรถบริเวณทางแยกตึก EN ติดตั้งโหนด Zigbee ที่เป็น Router 1 ตัวบริเวณตราคณะวิศวกรรมศาสตร์ เริ่มขึ้นรถบริเวณทางแยกออกประตู 4 สามารถแสดงลำดับการแสดงผลการประมาณเวลาที่ป้ายจุดจอดรับผู้โดยสารดังรูปที่ 4.34 – 4.38 ดังนี้



รูปที่ 4.34 ขณะที่รถกำลังอยู่บริเวณโค้งก่อนตราคณะวิศวกรรมศาสตร์



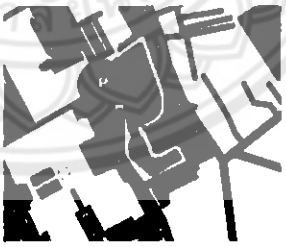
(ก)



(ข)

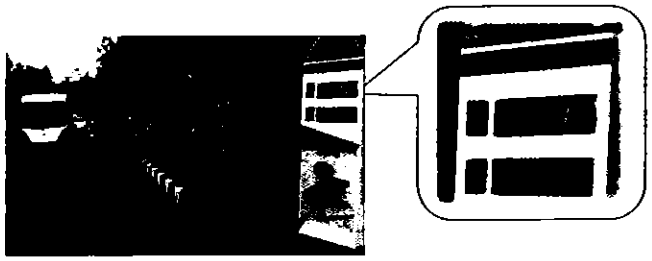
รูปที่ 4.35 ขณะที่รถกำลังอยู่บริเวณตราคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ก)



(ข)

รูปที่ 4.36 ขณะรถกำลังเคลื่อนที่มายังจุดจอดรับผู้โดยสาร เหลือเวลาอีก 13 วินาที



(ก)

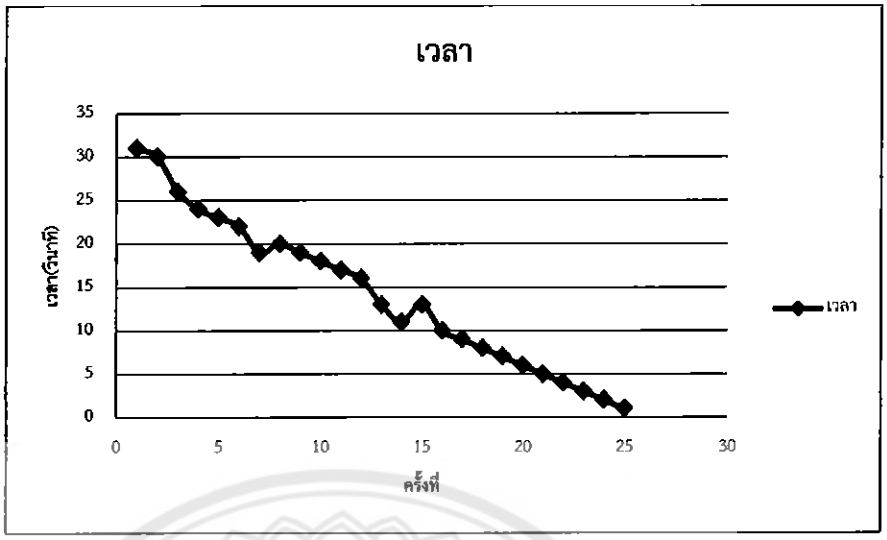
(ข)

รูปที่ 4.37 ขณะรถกำลังเคลื่อนที่มายังจุดจอดรับผู้โดยสาร เหลือเวลาอีก 4 วินาที

(ก)

(ข)

รูปที่ 4.38 ขณะรถกำลังเคลื่อนที่มายังจุดจอดรับผู้โดยสาร เหลือเวลาอีก 1 วินาที



รูปที่ 4.39 กราฟการแสดงเวลาที่ป้ายขณะที่รถไฟฟ้ากำลังเคลื่อนที่มาถึง

จากการทดลองพบว่าในขณะที่รถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับจุดจอดรับผู้โดยสารของรถไฟฟ้ามากขึ้นเวลาที่แสดงที่ป้ายจะลดลงเรื่อยๆจนขณะรถเคลื่อนที่มาถึงป้ายเวลาที่แสดงที่ป้านเป็น 1 วินาที ทั้งนี้โดยรวมระบบสามารถที่จะแสดงผลเวลาออกมาได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงอย่างสมเหตุสมผล การติดตั้ง GPS Box Tracker ไว้ภายในรถไฟฟ้าไม่มีผลใดๆ กับการสื่อสารกับดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่งปัจจุบันของรถไฟฟ้าแค่อย่างใด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าไม่มีผลกับการรับส่งข้อมูลของระบบเครือข่ายการรับส่งข้อมูล

จากการทดลองระบบในแต่ละส่วนตั้งแต่ระบบ GPS ระบบการสื่อสารไร้สายเครือข่าย Zigbee และระบบการทำงานของป้ายจอครถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร และการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมดนั้น ระบบในแต่ละส่วนสามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบเอาไว้และสามารถที่จะนำมาทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การทดลองยังทำให้เห็นถึงปัญหา แนวทางในการแก้ไขปัญหาและแนวทางในการพัฒนาต่อ โดยจะกล่าวถึงในบทถัดไป

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงการสรุปผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้มาจากการดำเนินโครงการและทดสอบระบบในส่วนต่างๆ นอกจากนี้ยังกล่าวรวมถึงปัญหาที่พบพร้อมทั้งแนวทางแก้ไข อีกทั้งแนวทางในการพัฒนาต่อซึ่งได้มาจากผลของการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าในขณะที่รถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับจุดจอดรับผู้โดยสารของรถไฟฟ้า มากขึ้นเวลาที่แสดงที่ป้ายจะลดลงเรื่อยๆจนขณะรถเคลื่อนที่มาถึงป้ายเวลาที่แสดงที่ป้านเป็น 1 วินาที ทั้งนี้โดยรวมระบบสามารถที่จะแสดงผลเวลาออกมาได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงอย่างสมเหตุสมผล การติดตั้ง GPS Box Tracker ไว้ภายในรถไฟฟ้าไม่มีผลใดๆ กับการสื่อสารกับดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่งปัจจุบันของรถไฟฟ้าแต่อย่างใด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าไม่มีผลกับการรับส่งข้อมูลของระบบเครือข่ายการรับส่งข้อมูล

จากการทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่อัตราบอด (Baud Rate) ต่างกัน ผลปรากฏว่า อัตราบอดนั้นมีผลต่อการรับส่งข้อมูลโดยอัตราบอดยิ่งน้อย เวลาที่ใช้ในการรับส่งยิ่งมาก และอัตราบอดยิ่งมาก เวลาที่ใช้ในการรับส่งยิ่งน้อย

จากการทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee 2 ตัว ที่จุดติดตั้ง X-Bee โหนดเราท์เตอร์ ผลปรากฏว่าจุดที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระยะทางแต่ละจุดนั้นไม่เท่ากันเนื่องจากสภาพแวดล้อมในจุดต่างๆก็แตกต่างกันออกไป

จากการทดสอบระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลของ X-Bee ผ่าน X-Bee โหนดเราท์เตอร์ ผลปรากฏว่าจำนวนโหนดเราท์เตอร์นั้นมีผลต่อระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลจากจำนวนโหนดที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ระยะทางนั้นเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงทำให้ได้ผลลัพธ์อีกประการหนึ่งว่าระยะทางมีผลในการรับส่งข้อมูลด้วยเช่นกัน

5.2 ปัญหาที่พบ

1. ระบบไม่สามารถใช้งานในสภาพอากาศที่มีฝนตกได้เพราะอุปกรณ์ในระบบส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และฝนตกมีผลกระทบต่อการสื่อสารข้อมูล

2. การเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าที่เร็วเกินไปมีผลต่อการสื่อสารข้อมูลของระบบ

5.3 แนวทางแก้ไขปัญหา

1. นำอุปกรณ์ป้องกันน้ำนำมาใช้ป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ไม่ให้โดนน้ำ
2. รักษาระดับความเร็วของรถไฟฟ้าไม่ให้เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5.4 แนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาระบบการสื่อสารข้อมูลจากระบบเครือข่ายไร้สาย Zigbee เป็นระบบ 3G
2. เพิ่มส่วนการแสดงผลบนเว็บไซต์สำหรับ Smart Device

เอกสารอ้างอิง

[1] "National Marine Electronics Association" เข้าถึงได้จาก http://www.nmea.org

[2] ชัยประเสริฐ แก้วเมือง. แคลคูลัส 1-1. พิมพ์ครั้งที่ 6. ประทุมธานี : สกายบุ๊กส์, 2555.

[3] GPSdeedee.(2010) หลักการทำงานของ GPS สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2556 เข้าถึงได้จาก http://www.gpsdeedee.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538825826

[4] รูปภาพ สืบค้นเมื่อ 11 มีนาคม 2556 เข้าถึงได้จาก http://en.wikipedia.org/wiki/File:Latitude_and_Longitude_of_the_Earth.svg

[5] "ละติจูด" สืบค้นเมื่อ 9 มีนาคม 2556 เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%88%E0%B8%B9%E0%B8%94

[6] "ลองจิจูด" สืบค้นเมื่อ 9 มีนาคม 2556 เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%B4%E0%B8%88%E0%B8%B9%E0%B8%94

[7] Jin-Shyan Lee, Yu-Wei Su, and Chung-Chou Shen, "A Comparative Study of Wireless Protocols : Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi", in *Proc. 2007 IEEE Industrial Electronics Society Conf.*, pp.46-51.

[8] SinemColeriErgen, *ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary*, Sep. 10. 2004.

[9] MuthuRamya.C, Shanmugaraj.M, Prabakaran.R, "STUDY ON ZIGBEE TECHNOLOGY", *in Proc. 2011 3rd International* Electronics Computer Technology (ICECT) Conf., pp. 297-301.

[10] VachirapolMayalarp,NarisornLimpaswadpaisarn, ThanachaiPoombansao, and SomsakKittipiyakul, "Wireless Mesh Networking with XBee", Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Pathumthani, Thailand.

[11] Behrouz A. Forouzan, Data Communication and Networking (4 ed.). Singapore: McGraw-Hill, 2007.

[12] StanislavSafaric, KresimirMalaric, "ZigBee wireless standard", *48th International Symposium ELMAR-2006*, Zadar, Croatia, June. 07-09. 2006.

[13]Robert Faludi, *Building Wireless Sensor Networks,* O'Reilly Media, Sebastopol, 2010.

[14] X-CTU Configuration and Test Utility Software: User's Guide, Digi International Inc., Aug. 2008.

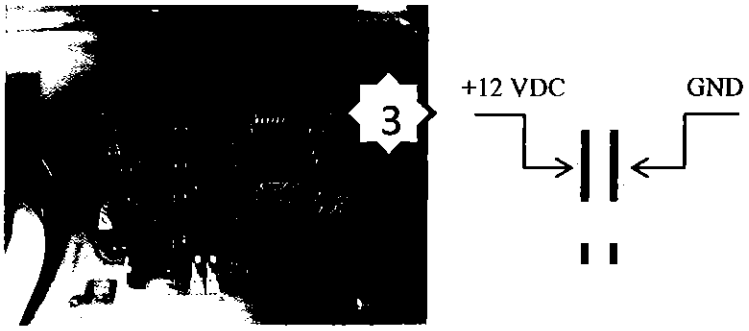
ภาคผนวก

การใช้งานป้ายจอดรถไฟฟ้ามหาวิทยาลัยนเรศวร

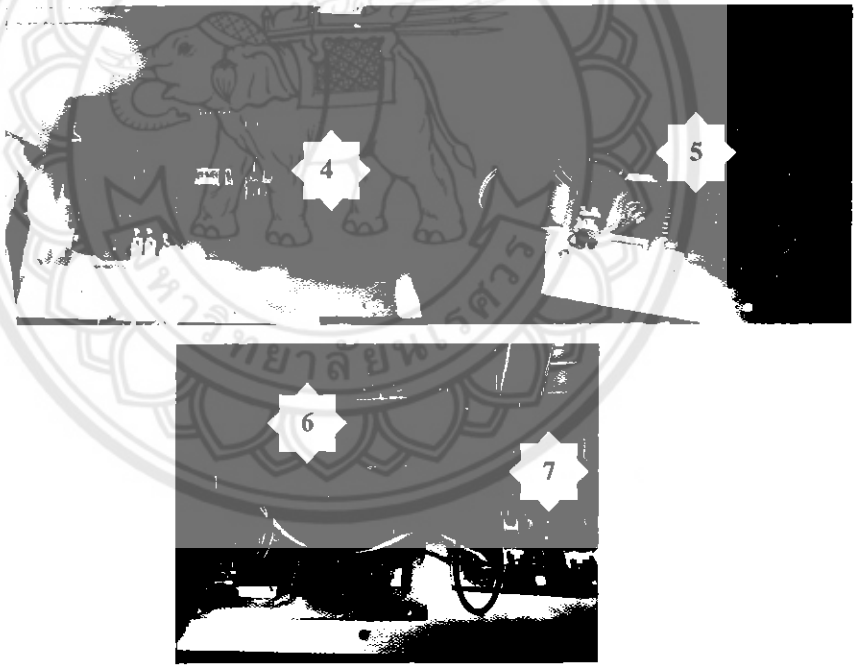
1. ปลั๊กทางด้านข้างตู้ใช้สำหรับต่อเข้ากับเต้ารับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เพื่อเริ่มการทำงานของป้ายจอดรถไฟฟ้า

2. สายไฟ 220 VAC จากทางด้านข้างตู้จะต่อกับ INPUT (1) ของ Switching Power Supply และ OUTPUT (2) จะได้ 12 VDC เพื่อเป็นไฟเลี้ยงวงจรทั้งหมดในป้ายจอดรถไฟฟ้า

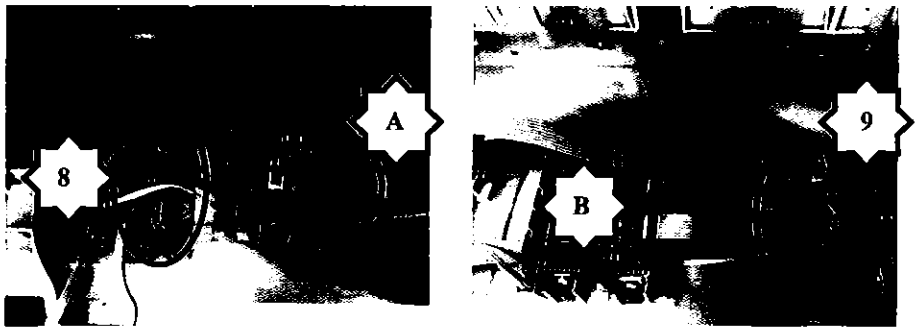
3. นำแรงดัน 12 VDC จาก OUTPUT (2) ของ Switching Power Supply มาต่อกับวงจรแปลง BCD เป็น 7 Segment จุดที่ (3) โดยให้ แรงดันไฟ +12VDC อยู่ทางด้านซ้ายและ 0V หรือ กราวด์อยู่ทางด้านขวา



4. ใช้สายไฟชิ้งเข้าหัว Connector 2 Pin ทั้งสองด้านให้แรงดันไฟ 12 VDC จุด (4) เชื่อมโยงไปยังบอร์ดแปลง BCD เป็น 7 – Segment อีกบอร์ดหนึ่ง (5) และนำสายไฟอีกเส้นหนึ่งต่อจากแรงดันไฟ 12 VDCจุดที่ (6) เชื่อมไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จุดที่ (7)



5. ต่อขา Output ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยให้จุด (A) ต่อไปยัง บอร์ดทางซ้าย จุดที่ 8 และให้จุด (B) ต่อไปยังบอร์ดทางด้านขวาจุดที่ (9)



6. ต่อสายจากจุดที่ (10) เข้ากับไฟเลี้ยง 12 VDC (11) ดังรูป

7. ต่อสาย 7 – segment ทั้ง 4 หลักซึ่งเป็น Connector 8 Pin เข้ากับบอร์ดแปลง BCD เป็น 7 Segment โดยให้ หน่วยนาทีต่อเข้ากับบอร์ดทางด้านขวา จุด (12) และ หน่วยวินาที ต่อกับบอร์ดทางด้านซ้าย จุด (13) หากการแสดงผลตัวเลขสลับกันสามารถสลับสาย Connector 8 Pin ให้เสียบสลับกันเพื่อให้การแสดงผลที่ถูกต้องได้

8. ต่อสายจาก X-Bee เข้ากับ OUTPUT ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเสียบ +3.3VDC และ GND ไปยัง +3.3 VDC และ GND ยังรูป และขา TX ของ X-Bee เสียบไปยัง PA10 ซึ่งเป็นขารับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูป

9. ตรวจสอบความเรียบร้อยและทดสอบเสียบปลั๊กด้านข้างป้ายจอดรถไฟฟ้าเข้ากับเต้ารับ 220 VAC จะเห็น 7 –Segment แสดงตัวเลขขึ้นมาและเริ่มนับถอยหลัง