

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา  
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยต้นไม้ตัดสินใจผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย  
เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน

วรเชษฐ์ บัวสุวรรณ

23 ส.ค. 2559  
365240 TH 00 24425

งานวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

มิถุนายน 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

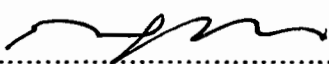
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ วรเชษฐ์ บัวสุวรรณ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ดร.ณัฐนนท์ ทิลาตระกุล

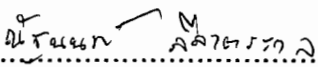
อาจารย์ที่ปรึกษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



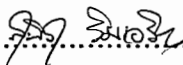
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภพ นิมปีติวัน)



กรรมการ

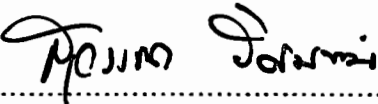
(ดร.ณัฐนนท์ ทิลาตระกุล)



กรรมการ

(ดร.สุนิสา ริมเจริญ)

คณะวิทยาการสารสนเทศ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ของมหาวิทยาลัยบูรพา



คณบดีคณะวิทยาการสารสนเทศ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา รัศมีขวัญ)

วันที่...๒๙...เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2556

## กิติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.ณัฐนนท์ ติลาตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ดร.สุนิสา ริมเจริญ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้จัดทำงานวิทยานิพนธ์รู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐภพ นิมปิตินันท์ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ที่กรุณาให้ความรู้ให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขและวิจารณ์ผลงานทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีความถูกต้องและมีคุณภาพ นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จาก พี่สรพงศ์ ทุปียะ พี่จันทรา แซ่อึ้ง คุณอาภณิดา วิศิษฎ์ศักดิ์ คุณอาจริยวดี บัวสุวรรณ คุณกิตติชัย หอมจันทนากุล และ น้องพรพิมล พจนานุกิจ ตลอดจนเพื่อนในบริษัท แหลมฉับัง อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล เทอร์มินอล จำกัด ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ส่วนหนึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา จึงขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ชุลีพร บัวสุวรรณ ภรรยา ลูกสาว และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทุกคน โดยเฉพาะพี่พยุงศักดิ์ สว่างการ และพี่สุกัญญา ชาญสมร ที่ชี้แนะแนวทางการศึกษาในหลักสูตรนี้

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บุษปาริ บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

วรเชษฐ์ บัวสุวรรณ

54910167: สาขาวิชา: เทคโนโลยีสารสนเทศ; วท.ม. (เทคโนโลยีสารสนเทศ)

คำสำคัญ: การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า/ เครื่องข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย/ ระบบผู้เชี่ยวชาญ/ คำค้นหา/ คำนึง/ ค้น ไม่ตัดสนใจ

วรเชษฐ์ บัวสุวรรณ: ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยต้นไม้ตัดสินใจผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน (Decision-Tree Based Appliance Classification via Wireless Sensor Network For Energy Saving) อาจารย์ผู้ควบคุมงานวิทยานิพนธ์: ญัฐนนท์ ลีลาตระกูล, Ph.D., 113 หน้า. ปี พ.ศ. 2556.

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการจำแนกอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจจับค่าการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละเครื่อง ผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งถูกใช้เพื่อ วัดค่าและส่งผ่านข้อมูลการใช้งานกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับในรูปแบบปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานอยู่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งมาส่วนกลางผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อนำมาจำแนกหาชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ

ผู้วิจัยคาดว่าระบบที่นำเสนอจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร เนื่องจากในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยใช้การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปลายทาง (แทนที่จะตรวจสอบที่แผงไฟฟ้าส่วนกลาง) ทำให้สามารถรับรู้ถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวว่ามีสถานะการทำงานที่ปกติหรือไม่ และลดข้อจำกัดในเรื่องการย้ายอุปกรณ์ไปใช้ยังจุดอื่น ๆ โดยระบบยังสามารถถูกพัฒนาต่อให้สามารถตรวจสอบการย้ายตำแหน่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติได้ และให้มีการควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย อันจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานโดยไม่กระทบต่อพฤติกรรมของผู้ใช้

จากการทดสอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอย่าง จำนวน 40 เครื่อง คณะผู้วิจัยพบว่า 1) กฎการจำแนกที่มีประสิทธิภาพต้องใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วย และ 2) ระบบที่นำเสนอสามารถจำแนกประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องโดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 5.73% เมื่อจำแนกโดยใช้ อัลกอริทึม C4.5 สร้างแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ถูกตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 9 (NCCIT 2013) ในหัวข้อเรื่อง “ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน” และงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยของคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

54910167: MAJOR: INFORMATION TECHNOLOGY; M.Sc. (INFORMATION TECHNOLOGY)

KEYWORD: APPLIANCE CLASSIFICATION/ WIRELESS SENSOR NETWORK/ DATA MINING/ DECISION TREE

WORACHET BUASUWARN: DECISION-TREE BASED APPLIANCE CLASSIFICATION VIA WIRELESS SENSOR NETWORK FOR ENERGY SAVING. THESIS ADVISOR: NUTTHANON LEELATRAKUL, PH.D., 113 P. 2013.

This research presents a system for appliance classification by analyzing each appliance's electricity usage. To measure actual electrical power consumed by each device, we designed sensor circuits, each of which is deployed inside each power outlet. The measured data are sent to a centralized system via a wireless sensor network. The system uses the data to classify a type of each appliance connected to each of the outlet aiming to save energy.

Since this research is to be detecting electrical usage at each outlet (instead of at the main circuit), the system can be developed further to help identifying the abnormal operation of each electrical appliance, and to automatically recognize the device. As a result, it could provide the energy savings without affecting users' normal behaviors.

The test result from 40 electric devices show 1) standard deviation of measured electrical current is an important metric for deriving efficient classification rules, and 2) the proposed system can classify appliances correctly with 5.73% error if a decision tree derived by C4.5 is applied

This thesis has been published and presented at The 9th National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT2013) with the subject "Appliance Classification to Monitor Power Consumption with Wireless Sensor Network for Saving Energy" and this research was supported by research grants of the faculty of informatics, Burapha University.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
<b>บทที่</b>	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	6
ขอบเขตของการวิจัย.....	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
ความรู้เบื้องต้นกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า.....	9
ความรู้เบื้องต้นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN)....	17
ความรู้เบื้องต้นระบบสมองกลฝังตัว Embedded System (Arduino).....	24
ความรู้เบื้องต้นอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (ACS712 30A).....	29
การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining).....	30
เทคนิคการจำแนกข้อมูล (Classification Technic).....	32
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
การประยุกต์ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	39
การทำเหมืองข้อมูลและการจำแนกประเภทข้อมูล.....	45
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	48
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	48
การออกแบบโครงสร้างของระบบ.....	50
การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ตรวจจับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า...	51

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การออกแบบวงจรตรวจจับ (ภาคส่ง).....	51
การออกแบบวงจรรับข้อมูลส่วนกลาง (ภาครับ).....	53
การตั้งค่า Xbee ด้วยโปรแกรม X-CTU.....	54
จัดทำต้นแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	59
การทดสอบอุปกรณ์ Hardware.....	60
การเทียบเคียงค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ากับอุปกรณ์วัดมาตรฐาน...	68
การทดสอบวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	70
การออกแบบโปรแกรม.....	75
การออกแบบโปรแกรมวงจรตรวจจับ (ภาคส่ง).....	75
การออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลส่วนกลาง (ภาครับ).....	79
4 ผลดำเนินงาน.....	81
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	82
สร้างตัวแบบเพื่อจำแนกข้อมูล.....	89
วิธีที่ 1. เทคนิคการใช้ดีซีชันทรี.....	91
วิธีที่ 2. เทคนิคการใช้นาอ็ฟ เบย์.....	91
วิธีที่ 3. เทคนิคการใช้นิวรอนเน็ตเวิร์ก.....	92
การเปรียบเทียบตัวแบบ และประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบ.....	93
การนำตัวแบบไปใช้จริง.....	95
5 อภิปรายและสรุปผล.....	96
อภิปราย.....	96
สรุปผลการวิจัย.....	96
1. ขั้นตอนการออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับการใช้กระแสไฟฟ้า.....	97
2. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	97
3. ขั้นตอนการจำแนกประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	97
ข้อเสนอแนะ.....	98
1. ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้.....	98
2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป.....	98

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	99
ภาคผนวก.....	103
เอกสารงานวิจัยที่ตีพิมพ์.....	106
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	113



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในงานวิจัย.....	7
2 ย่านความถี่ของ Zigbee.....	18
3 การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย.....	19
4 ชนิดของ Zigbee.....	21
5 หน้าที่ของ Zigbee.....	21
6 โคด Arduino สำหรับทดสอบเทียบเคียงอุปกรณ์วัดมาตรฐาน.....	69
7 ผลการอ่านค่าการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการเปิดพัดลม.....	71
8 ผลการทดสอบการรวบรวมข้อมูลก่อนที่จะสรุปผลส่งให้ภาครับ ที่ระยะ 9 เมตร.....	74
9 โคด Arduino สำหรับวงจรตรวจจับภาคส่ง.....	77
10 ตัวแปลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่ามาให้กับเครื่องแม่ข่าย.....	79
11 ลักษณะการใช้งานและสถานะของอุปกรณ์แต่ละชนิด.....	85
12 ข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายรับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย.....	86
13 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดพัดลม.....	89
14 รายละเอียดของแต่ละแอตทริบิวต์ที่เลือก.....	90
15 สรุปเปรียบเทียบ 3 เทคนิคในการจำแนกประเภท.....	93
16 ตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในการเลือกใช้ต้นไม้ตัดสินใจ.....	94

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามรายได้ประชาชาติ.....	3
2 อัตราการใช้พลังงานในแต่ละภาคส่วนและความต้องการใช้แหล่งพลังงานหลัก.....	3
3 อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) ด้วย IC เบอร์ ACS712.....	6
4 อุปกรณ์ Wireless Sensor Network ที่ใช้เพื่อการสื่อสารไร้สาย.....	7
5 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system).....	7
6 การเขียนรูปแทนกระแสในวงจรซึ่งต้องมีทั้งขนาด (3 A และ -3 A) และทิศทาง.....	10
7 กระแสไหลผ่านอิลิเมนต์.....	10
8 รูปแบบของกระแส.....	11
9 การหาค่าแรงดันกระแสและความต้านทาน จากกฎของโอห์ม.....	11
10 สูตรที่ใช้ในการหาค่าแรงดัน กระแส ความต้านทานและกำลังไฟฟ้า.....	12
11 การเขียนรูปแทนแรงดัน.....	13
12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส.....	13
13 ลักษณะอุปกรณ์ วัดต็มเตอร์ .....	14
14 ลักษณะการต่ออุปกรณ์วัดต็มเตอร์ เพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้า.....	15
15 คุณสมบัติของการใช้กระแสไฟฟ้าของ Linear load และ Non-linear load .....	16
16 การใช้ Power Meter วัดค่ากำลังไฟฟ้าของจอกอมพิวเตอร์ 17" .....	16
17 การวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของจอกอมพิวเตอร์ขนาด 17" .....	17
18 ย่านความถี่ของ Zigbee .....	18
19 Zigbee Protocol .....	20
20 การเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	23
21 โปรแกรม X-CTU.....	24
22 Dreamer Nano V.4.....	26
23 การพัฒนาโปรแกรมโดยใช้เครื่องมือ Arduino IDE.....	27
24 อัตราการสุ่มตัวอย่าง.....	29
25 อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) เบอร์ ACS712.....	30

## สารบัญภาพ (ต่อ)35

ภาพที่	หน้า
26 ตัวอย่างการใช้แผนภาพต้นไม้.....	34
27 ตัวอย่างการใช้ Naïve-Bayes.....	35
28 ตัวอย่าง โครงข่ายประสาทเทียม.....	38
29 โครงสร้างการตรวจจับอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	41
30 การออกแบบ โหนด REAM.....	42
31 อุปกรณ์ NALM.....	43
32 โหลดการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าแยกตามช่วงเวลา.....	44
33 อุปกรณ์ตรวจจับแยกตามห้องที่ใช้งาน.....	45
34 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย.....	49
35 โครงสร้างระบบจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย.....	50
36 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย.....	52
37 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรรวม.....	52
38 การออกแบบวงจรรวม.....	53
39 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของภาครับ.....	53
40 การเชื่อมต่อเพื่อตั้งค่า Xbee Coordinator.....	54
41 การเลือก Com Port และ Baud Rate ในการกำหนดค่า Xbee.....	55
42 Dialog Box แสดงสถานะการเชื่อมต่อ.....	55
43 การกำหนด Function Zigbee Coordinator ของ Xbee.....	56
44 การกำหนดค่าของตัวโปรแกรม X-CTU ของ Coordinator Device.....	57
45 การบันทึกค่าของ Xbee.....	57
46 การกำหนด Function Zigbee Router ของ Xbee.....	58
47 การกำหนดค่าของตัวโปรแกรม X-CTU ของ End Device และ Coordinator Device.....	59
48 การบันทึกค่าของ Xbee.....	59
49 ต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย.....	60
50 การทดลองที่ 1 ทดสอบการสื่อสารระหว่างภาครับและภาคส่ง.....	60
51 การทดลองที่ 2 ทดสอบการรับส่งข้อมูล.....	61

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

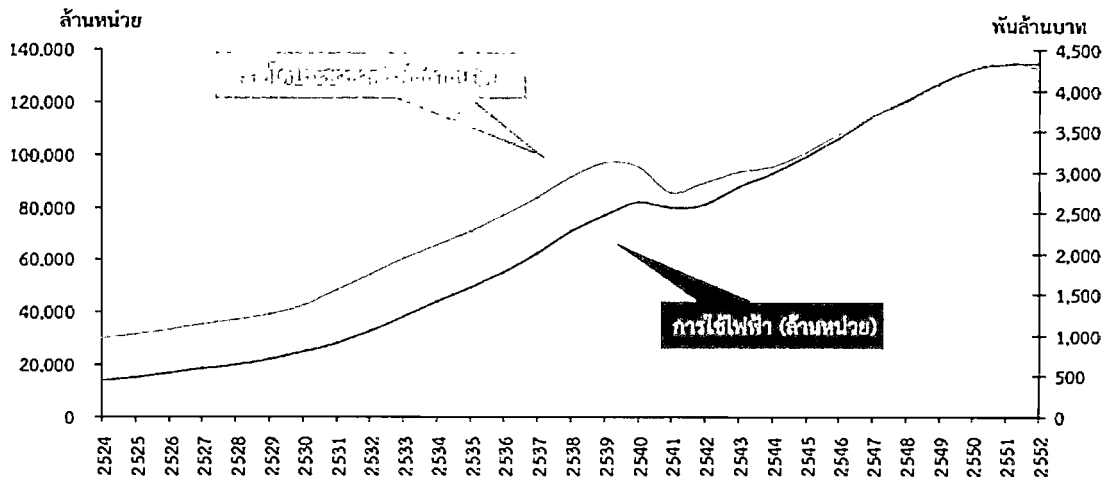
ปัญหาการสูญเสียพลังงานจากการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ นั้น เป็นปัญหาที่สำคัญ ที่บางครั้งเราไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตนเอง ไม่ว่าจะเป็นการที่เราเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้โดยที่ไม่มีการใช้งาน และการที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเสื่อมประสิทธิภาพทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ ปัญหาสภาพการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า (เช่น การทำงานเป็นปกติหรือไม่ มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าไร และมีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ามากน้อยแค่ไหน) สามารถเกิดขึ้นทั้งในภาคครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นเหล่านี้ เป็นปัญหาเชื่อมโยงไปถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศ

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านเกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และเป็นส่วนหนึ่งของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในอาคารที่อยู่อาศัย เจ้าของบ้านไม่สามารถรับรู้จากใบแจ้งค่าไฟฟ้าว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด ไม่สามารถประเมินอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ว่ามีการใช้พลังงานที่ผิดปกติ หรือสูญเสียพลังงานไปมากน้อยเพียงใด เช่น พัดลมที่เปิดไว้โดยที่ไม่มีผู้ใช้งาน หลอดไฟเพดานที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่ ตู้เย็นที่เสื่อมสภาพมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นปกติ ซึ่งหากเรารู้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เราก็สามารถวิเคราะห์และวางแผนในการจัดการด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่ต้องใช้ความรู้สึกของผู้ใช้ในการคาดเดา

เพื่อตอบโจทย์ปัญหาการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารบ้านเรือนดังกล่าว ระบบต้องมีความสามารถจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำและเป็นอัตโนมัติ (ระบบต้องการความรู้หรือข้อมูลเข้าจากผู้ใช้ตามครัวเรือนน้อยที่สุด) โดยหลังจากการจำแนก ระบบจะรู้ว่าอุปกรณ์ชนิดใดกำลังถูกใช้งานอยู่ที่ใด ทำให้สามารถตัดสินใจในการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องแม่นยำ ในการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงเสนอระบบที่สามารถที่จะจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ และรับรู้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อตรวจจับการใช้กระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละเครื่องใช้ในช่วงเวลาจริง

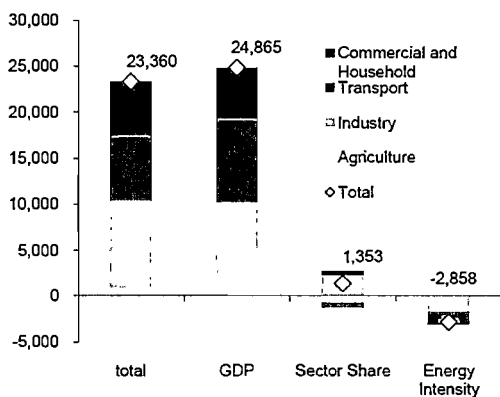
พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิตของมนุษย์ กิจกรรมการดำเนินชีวิตประจำวัน ทั้งในเรื่องส่วนตัว การทำงาน หรือการพักผ่อนหย่อนใจ มนุษย์สร้างสิ่งประดิษฐ์ที่อำนวยความสะดวกให้กับชีวิตมากเท่าไรพลังงานไฟฟ้าก็ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นเท่านั้น จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่เราได้บริโภคกันอยู่นี้ส่วนได้รับมาจากทรัพยากรธรรมชาติทั้งสิ้น และเป็นที่น่าทึ่งกันดีว่าการที่ประชากรมนุษย์ได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากมายมหาศาล ประกอบกับมนุษย์นั้นมีความต้องการที่ไม่สิ้นสุด มนุษย์จึงคิดค้น พัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์เอง ภายใต้เงื่อนไขของการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าในอนาคตมนุษย์เราอาจไม่เหลือทรัพยากรธรรมชาติเพื่อนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า (ถ้าไม่นับรวมพลังงานแสงอาทิตย์) และหากโลกมีการใช้พลังงานในระดับที่เป็นอยู่และไม่มีการค้นพบเพิ่มเติมแล้ว คาดว่าโลกจะมีแหล่งสำรองน้ำมันใช้ไปได้อีกประมาณ 42 ปี ก๊าซธรรมชาติประมาณ 64 ปี และถ่านหินประมาณ 220 ปี (นับตั้งแต่ปี 2540)

การผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยต้องใช้พลังงานจาก ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ น้ำมันเตา พลังน้ำ น้ำมันดีเซล พลังงานทดแทน และพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งทุกการผลิตย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่มากนักน้อย เช่น การเผาไหม้จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซเหล่านี้ถ้ามีในปริมาณมากๆ และรวมตัวกับความชื้นในอากาศจะเกิดเป็นฝนกรด ทำให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิต ทำลายทรัพย์สิน ส่วนการสร้างเขื่อนเพื่อเก็บน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต้องมีการทำลายป่าไม้เพื่อใช้บริเวณกักเก็บน้ำ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ กระทบกระเทือนต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์ และมนุษย์ ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นและบริเวณใกล้เคียง อีกทั้งยังเกิดปัญหาความขัดแย้งระหว่างประชาชนในชุมชนกับหน่วยงานของรัฐ และหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องด้วย ซึ่งปัจจุบันรัฐได้ให้ความสำคัญทั้งในเรื่อง การอนุรักษ์พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดจากการผลิตพลังงานเป็นอย่างมาก เช่น พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 การรณรงค์ในโครงการต่างๆ ซึ่งที่ผ่านมาประเทศไทยมีอัตราการเติบโตของรายได้ประชาชาติเฉลี่ยปีละประมาณ 4% และมีอัตราการเจริญเติบโตของการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยปีละประมาณ 4.2% ดังนั้นการบริโภคพลังงานได้เพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ [1] (ภาพที่ 1) และส่วนใหญ่จะมีถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดีเซลเป็นแหล่งพลังงานหลักในภาคอุตสาหกรรม (ภาพที่ 2)

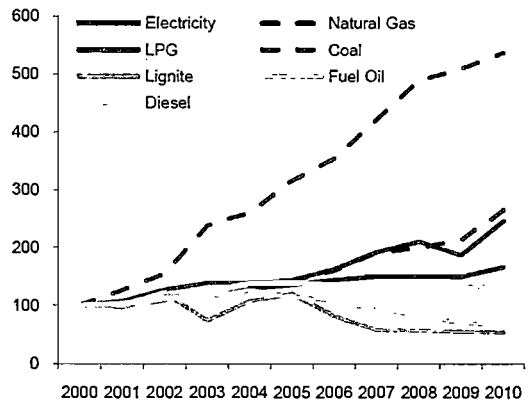


ภาพที่ 1 ความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามรายได้ประชาชาติ

Additive decomposition of the change in energy consumption, 2000-2010 by increases in GDP, sector share and energy intensity (KTOE)



Industry Energy Consumption Index by Energy Type (100=2000)



ภาพที่ 2 อัตราการใช้พลังงานในแต่ละภาคส่วนและความต้องการใช้แหล่งพลังงานหลัก

นอกจากนั้นแล้วการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากเกินไปจนมีความจำเป็นก็มีผลกระทบทำให้เกิดปัญหาภาวะและปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมากมายไม่ว่าจะเป็นปัญหาโลกร้อน (Global Warming) หรือแม้กระทั่งปัญหาเรื่องน้ำมันขาดแคลนอีกด้วย และ ปัจจุบันปัญหาการสูญเสียพลังงานจากการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ นั้น เป็นปัญหาที่สำคัญที่เราไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตัวเอง ไม่ว่าจะเป็นการที่เราเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้โดยที่ไม่มีการใช้งาน และการที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเสื่อมประสิทธิภาพทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ อุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ

มีการทำงานที่ดีหรือไม่ มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าไร และมีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ามาน้อยแค่ไหน ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นทั้งในภาคครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นเหล่านี้ จะเป็นปัญหาเชื่อมโยงไปถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศอีกด้วย

ซึ่งผู้วิจัยมองว่าการประหยัดพลังงานที่ดีจะต้องแก้ไขที่ต้นเหตุคือการใช้งานของผู้ใช้งานเอง และต้องไม่ทำให้มาตรฐานการดำเนินชีวิตประจำวันของแต่ละคนลดน้อยถอยลงไป เป็นการประหยัดจาก “ส่วนเกินของการใช้ชีวิตประจำวัน” หรือ “พฤติกรรมและความเคยชินที่ไม่พึงประสงค์” เช่น การลืมปิดไฟจราจร การเสียบกาน้ำร้อนเอาไว้ในขณะที่ไม่มีคนอยู่บ้าน เป็นต้น นอกจากนี้การตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้น ผู้ใช้ส่วนใหญ่ใช้ความรู้สึกในการตรวจสอบ โดยที่ไม่สามารถประเมินอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ว่ามีการใช้พลังงานที่ผิดปกติ หรือสูญเสียพลังงานไปมากน้อยเพียงใด เช่น พัดลมที่เปิดไว้โดยที่ไม่มีผู้ใช้งาน ไฟเพดานที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่ ตู้เย็นที่เสื่อมสภาพมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นปกติ ซึ่งในความจริงแล้วปัญหาข้างต้นเหล่านี้หากเรารู้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เราก็สามารถวิเคราะห์และวางแผนในการจัดการด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่ต้องใช้แค่ความรู้สึก ดังนั้นการลดปัญหาการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จำเป็นต้องจำแนกชนิดของอุปกรณ์และข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ เพื่อให้ระบบนำมาประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องแม่นยำสูง ในการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงเสนอระบบที่สามารถที่จะรับรู้ และมีความฉลาดในการวิเคราะห์อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานส่วนเกินนั้น ๆ ได้

ก่อกำกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญในการลดค่าใช้จ่ายในภาคครัวเรือนภาคอุตสาหกรรม และการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศ เห็นได้จากการวิจัยและพัฒนาในด้านการประหยัดพลังงานอยู่มากมาย ซึ่งปัจจุบันมีการมุ่งเน้นพื้นฐานการใช้พลังงานที่ประหยัดและการปลูกจิตสำนึกด้านการใช้พลังงาน

ดังนั้น ผู้ทำวิจัยจึงนำทฤษฎีของงานวิจัยที่ได้ศึกษา มาพัฒนาเป็นอุปกรณ์และระบบตรวจสอบการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์ได้จริง โดยตัวเครื่องที่จะพัฒนาขึ้นสามารถสื่อสารโดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) ทำให้การติดตั้งใช้งานมีความสะดวกขึ้น เป็นระบบที่เรียนรู้ได้โดยลดข้อจำกัดด้านเวลา ด้านสถานที่ เพื่อประโยชน์ในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ เกิดประสิทธิผลสูงสุด และมีความปลอดภัย ซึ่งเมื่อข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้รับการเก็บรวบรวม ความท้าทายที่สำคัญต่อไปคือการจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า และระบุการสูญเสีย

พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อที่จะเป็นข้อเสนอแนะในการควบคุมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ และป้องกันปัญหาพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปอันเกิดจากไฟที่ถูกเปิดทิ้งไว้ในห้องที่ไม่มีคนอยู่ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพจากการทำงาน และเพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการออกแบบระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยต้นไม้ตัดสินใจผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน มีการใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลด้วยการจำแนกประเภท Classification โดยใช้ต้นไม้ตัดสินใจ ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้คือ

1. เพื่อจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ จากการตรวจจ็บบรูปแบบการใช้กระแสไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์โดยตัวระบบเองโดยใช้คนมีส่วนตัดสินใจน้อยที่สุด ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อศึกษาและส่งเสริมการสร้างองค์ความรู้ที่เป็นพื้นฐานของอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) สำหรับใช้ในการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้พลังงาน
3. เพื่อศึกษาการนำอุปกรณ์ตรวจจ็บบกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาต้นแบบ
4. เพื่อศึกษาเทคนิคการใช้การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาขั้นตอนการจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Classification)
5. เพื่อศึกษาการรู้จำชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า สำหรับใช้ในการพัฒนาการรู้จำการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งมีการใช้พลังงานในรูปแบบที่ต่างกัน
6. เพื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์มาวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานที่สูญเสียเปล่าลง
7. พัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยี ที่ช่วยประหยัดพลังงาน และเพิ่มความปลอดภัย ซึ่งตั้งอยู่บนฐานองค์ความรู้ (knowledge-based innovation and technology) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มศักยภาพ
8. เป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานที่เสียเปล่าที่เกิดในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรมภาครัฐ และเป็นแนวทางในการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่สิ้นเปลืองลง
9. เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำแนวความคิดที่ได้นำเสนอ ไปทำการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในงานวิจัยของตนเองต่อไป



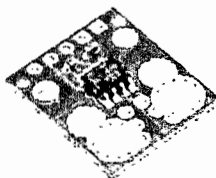
## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ได้ขั้นตอนวิธีการจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยอาศัยเทคนิคการใช้การทำเหมืองข้อมูล จากตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อให้ทราบรูปแบบกระแสไฟฟ้าที่ใช้ไปในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละอุปกรณ์
2. จากขั้นตอนวิธีการในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า และการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนี้ เมื่อพัฒนาต่อไปจนถึงขั้นตอนการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ จะทำให้สามารถนำวิธีการทั้งหมดไปพัฒนาเป็นระบบช่วยตัดสินใจในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในทุกภาคส่วน รวมไปถึงการวางแผนในการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า ให้อยู่บนพื้นฐานของการใช้พลังงานที่เป็นจริงมากที่สุด ซึ่งสามารถช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเดิมลงได้
3. ขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอจะสามารถใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาขั้นสูงต่อไป

## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งที่จะศึกษาและพัฒนา การนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) การจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้ดาต้าไมน์นิง และต้นไม้ตัดสินใจ มาใช้งานร่วมกันเพื่อสกัดข้อมูลที่เป็นรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ โดยมีขอบเขตดังนี้

1. การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการวิจัย ใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) ด้วย IC เบอร์ ACS712 พิกัด  $\pm 30A$  (ภาพที่ 3) และใช้การสื่อสารแบบไร้สายมาตรฐาน ZigBee (IEEE 802.15.4) (ภาพที่ 4) ซึ่งมีย่านความถี่อยู่ที่ 2.4 GHz อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps

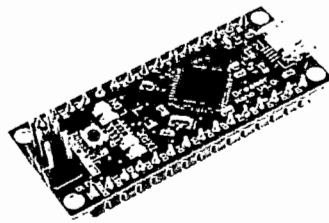


ภาพที่ 3 อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) ด้วย IC เบอร์ ACS712



ภาพที่ 4 อุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) ที่ใช้เพื่อการสื่อสารไร้สาย

2. ใช้ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) รุ่น Arduino Dreamer Nano4.0 (ภาพที่ 5) มีไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ATmega32U4 เป็นหน่วยประมวลผลในอุปกรณ์ตรวจจับ



ภาพที่ 5 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system)

3. ประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย ต้องเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับมาตรฐานสากล ซึ่งใช้ระดับแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 220 V โดยมีการแบ่งประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าตามแต่ละชนิดการใช้งานดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ประเภทกับเครื่องใช้ไฟฟ้า	
1. โคมไฟตั้งโต๊ะ	5. เครื่องเป่าผม
2. เครื่องรับโทรทัศน์	6. เตารีด
3. ตู้เย็น	7. เตอบไมโครเวฟ
4. พัดลม	8. เครื่องคอมพิวเตอร์

4. กระบวนการในการวิจัยชิ้นนี้ เริ่มจากการตรวจจับสัญญาณการใช้งานพลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์โดยนำข้อมูลในการตรวจจับที่ได้มาทำการจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด โดยวิธีการเปรียบเทียบกับเทคนิคการจำแนกอยู่ 3 วิธี คือ การทำนายผลโดยความน่าจะเป็นของนาอิว เบย์ (Naïve Bayes) การสร้างตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) โดยใช้อัลกอริทึม C4.5 และ การสร้างตัวแบบในรูปของฟังก์ชันโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) แบบ Multilayer Perceptron เพื่อหาโมเดลที่ดีที่สุดสำหรับการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิทยานิพนธ์ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยต้นไม้ตัดสินใจผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน ผู้วิจัยได้มีการออกแบบระบบการตรวจจับรูปแบบการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ผ่านเครือข่ายไร้สาย และนำมาจำแนกเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดออกมา โดยผู้วิจัยมีการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังหัวข้อต่อไปนี้

#### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย นั้นมีการใช้ทฤษฎีทางไฟฟ้าเพื่อให้รู้ถึงพื้นฐานทางด้านไฟฟ้าเบื้องต้น ก่อนที่จะใช้ระบบเซ็นเซอร์ในการตรวจจับปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าซึ่ง การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับนี้จะถูกส่งผ่านระบบเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งมีการนำทฤษฎีในการสื่อสารตามมาตรฐาน 802.15.4 (Zigbee) โดยข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าและข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นการตรวจจับความเคลื่อนไหว การตรวจจับอุณหภูมิ การตรวจจับแสง และการตรวจจับสภาพแวดล้อมอื่นๆ จะถูกนำมาแยกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าออกมาโดยเรียกว่าวิธี Multi Modal ซึ่งมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังได้อธิบายไว้ในเนื้อหาของบทนี้

#### ความรู้เบื้องต้นกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

การวิจัยนี้ต้องใช้ความรู้เบื้องต้นทางด้านกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินงาน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาจากหนังสือของ เจน สงสมพันธ์ (2537) เรื่อง “เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 1” [2]; หนังสือของ Robert L. Boylested, Louis Nashelsky เรื่อง Electronics Devices and Circuit พิมพ์ครั้งที่ 7 [3] และเอกสารของ สมพัฒน์ รุ่งตะวันเรืองศรี เรื่อง “210-211 Electric Circuits” [4] ซึ่งได้อธิบายถึงความรู้เบื้องต้นทางด้านกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า ตามหัวข้อดังนี้

#### ประจุและกระแส (Charge and Current)

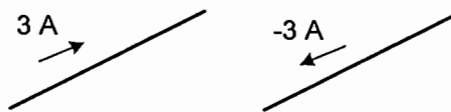
ประจุเป็นปริมาณพื้นฐานที่สุดทางไฟฟ้า หน่วยที่ใช้วัดปริมาณนี้คือ คูลอมบ์ (Coulomb) และใช้ตัวย่อเป็น C สัญลักษณ์ที่ใช้แทนประจุมีสองแบบ Q และ q โดยที่ สัญลักษณ์

ตัวพิมพ์ใหญ่ใช้แทนปริมาณที่มีค่าคงที่ ส่วนตัวพิมพ์เล็กจะใช้แทนปริมาณที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา การแทนในลักษณะนี้จะใช้กับปริมาณทางไฟฟ้าอื่นๆ ด้วยเช่นกัน

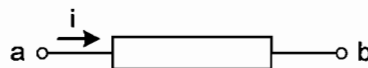
กระแสไฟฟ้าถูกนิยามไว้ว่า เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าประจุต่อเวลา หรือ อัตราการเคลื่อนที่ของประจุต่อเวลา

$$i = \frac{dq}{dt}$$

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนกระแสคือ  $I$  หรือ  $i$  โดยมีหน่วยเป็น แอมป์แปร์ (Ampere) โดยที่ 1 A คือประจุที่เคลื่อนที่ด้วยอัตรา 1 C/s กระแสเป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง ค่าของกระแสเป็นได้ทั้งบวกและลบ (ภาพที่ 6) โดยที่ค่าลบก็คือค่ากระแสบวกซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่กำหนดมาให้ในตอนแรก ซึ่งกระแสที่ไหลเข้าขั้ว A จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลออกจากขั้ว B เสมอ ไม่มีกระแสเหลือตกค้างในอิลิเมนต์ (ภาพที่ 7)

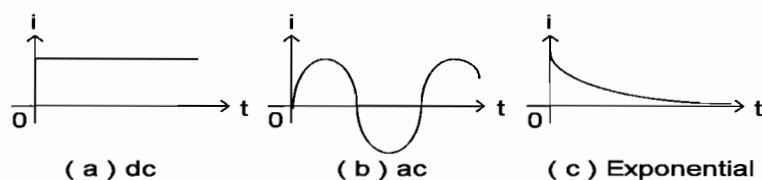


ภาพที่ 6 การเขียนรูปแทนกระแสในวงจรซึ่งต้องมีทั้งขนาด (3 A และ -3 A) และทิศทาง (ใช้สัญลักษณ์ลูกศรเขียนขนานไปกับเส้นที่เป็นส่วนของวงจร)



ภาพที่ 7 กระแสไหลผ่านอิลิเมนต์

กระแสสามารถมีรูปแบบได้หลายๆอย่าง โดยหลักๆมีอยู่ 3 แบบคือ กระแสตรง (Direct Current หรือ DC หรือ dc) กระแสสลับ (Alternating Current หรือ AC หรือ ac) และกระแสเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Current) (ภาพที่ 8) แสดงรูปแบบของกระแสทั้งสามแบบข้างต้น แต่ที่เราจะให้ความสนใจในงานวิจัยนี้คือไฟฟ้ากระแสสลับ



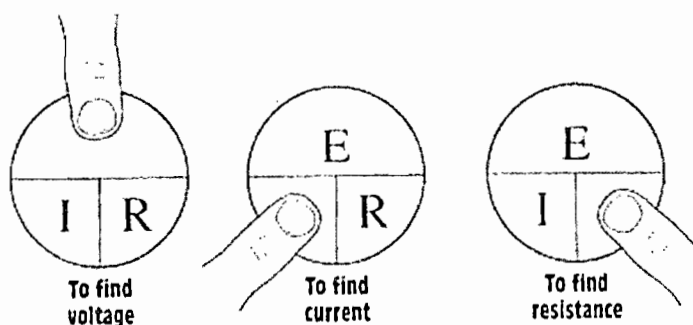
ภาพที่ 8 รูปแบบของกระแส

### กฎของโอห์ม

กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรไฟฟ้าได้นั้น เกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรและปริมาณกระแสไฟฟ้าภายในวงจรจะถูกจำกัดโดยความต้านทานไฟฟ้าภายในวงจรวางไฟฟ้านั้นๆ ดังนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าภายในวงจรจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานของวงจร โดยกล่าวว่า “กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าและแปรผกผันกับความต้านทานไฟฟ้า” (ภาพที่ 9)

จากกฎของโอห์มซึ่งจะกล่าวถึงความสัมพันธ์ของค่าทางไฟฟ้า 3 ค่า [5] คือ

- 1 แรงดันไฟฟ้า  $E$  มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt) สัญลักษณ์  $V$
- 2 กระแสไฟฟ้า  $I$  มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere) สัญลักษณ์  $A$
- 3 ความต้าน  $R$  ทานมีหน่วยเป็น โอห์ม (Ohm) สัญลักษณ์  $\Omega$



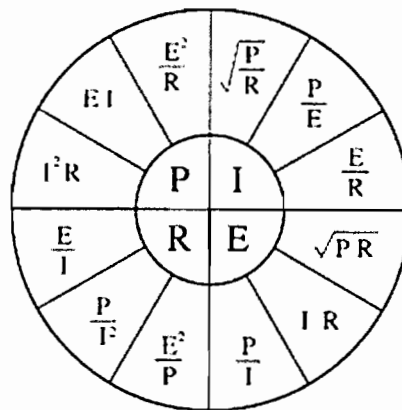
ภาพที่ 9 การหาค่าแรงดันกระแสและความต้านทาน จากกฎของโอห์ม

โดยกฎของโอห์มได้กล่าวถึงค่าความสัมพันธ์ของค่าทางไฟฟ้า 3 ค่า นี้ไว้ว่า

1. แรงดันไฟฟ้าขนาดหนึ่ง โวลต์ หมายถึงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่สามารถดันกระแสไฟฟ้าขนาดหนึ่งแอมแปร์ให้ไหลผ่านความต้านทานหนึ่งโอห์มไปได้

2. กระแสไฟฟ้าขนาดหนึ่งแอมแปร์ หมายถึงค่าของกระแสไฟฟ้าสามารถค้นให้ผ่านความต้านทานขนาดหนึ่งโอห์มไปได้
3. ความต้านทานขนาดหนึ่งโอห์มหมายถึงค่าความต้านทานที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าขนาดหนึ่งแอมแปร์ที่ถูกแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าหนึ่ง โวลต์ค้นให้ผ่านไปได้

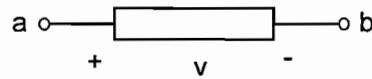
การหาค่ากระแสไฟฟ้า แรงดัน ความต้านทาน และกำลังทางไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กัน การคำนวณเพื่อหาค่าจะต้องทราบค่าอย่างน้อย 2 ค่าจึงจะหาค่าที่ต้องการได้ ตัวอย่างเช่น ต้องการทราบค่าความต้านทาน จะต้องทราบค่าแรงดันและกระแส หรือต้องการทราบค่ากำลังทางไฟฟ้า จะต้องทราบค่าของแรงดันและกระแส นอกจากนี้ยังมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ไปในการทำให้เกิดเป็นพลังงานรูปต่างๆเข้ามาอีกด้วย เช่นพลังงานแสงสว่าง พลังงานความร้อน พลังงานกล เป็นต้น ในระยะเวลาที่จำกัด โดยกำลังไฟฟ้า (P) มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt:W) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถสรุปเป็นสูตรเพื่อใช้ในการหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 สูตรที่ใช้ในการหาค่าแรงดัน กระแส ความต้านทานและกำลังไฟฟ้า

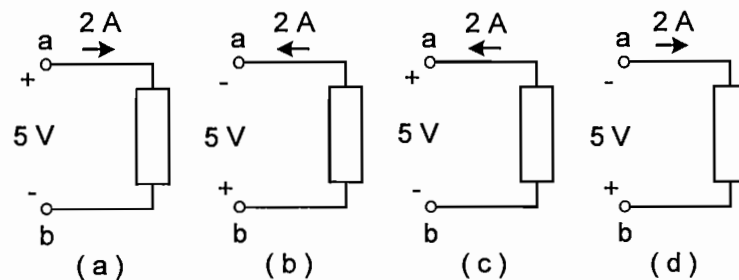
**แรงดันไฟฟ้า, พลังงาน, และกำลังไฟฟ้า (Voltage, Energy, and Power)**

แรงดันไฟฟ้าหรือมักจะเรียกกันสั้นๆ ว่า แรงดัน จะปรากฏระหว่างจุดสองจุดในวงจรเสมอ โดยที่นิยามของแรงดันคือ งาน (Work) ที่ต้องการใช้ในการเคลื่อนย้ายประจุบวกจำนวน 1 C จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หน่วยสำหรับวัดขนาดของแรงดันคือ โวลท์ (Volt คำย่อคือ V) โดยที่ 1 V จะเท่ากับ 1 J/C นั่นเอง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนแรงดันคือ V หรือ v และใช้เครื่องหมาย + และ - สำหรับการระบุขั้ว โดยมีข้อตกลงว่า ขั้วบวกจะเป็นขั้วที่มีแรงดันสูงกว่าขั้วลบ (ภาพที่ 11 การเขียนรูปแทนแรงดัน) ซึ่งมีความหมายว่าถ้าต้องการเคลื่อนย้ายประจุจากจุดหรือขั้ว B ไปยังขั้ว A จะต้องใช้งานเป็นจำนวน v J.



ภาพที่ 11 การเขียนรูปแทนแรงดัน

การเคลื่อนย้ายประจุต้องใช้พลังงาน การที่เราจะทราบว่า พลังงานถูกจ่ายเข้าไปให้กับอิลิเมนต์ หรืออิลิเมนต์เป็นตัวจ่ายพลังงานออกมาให้กับอิลิเมนต์อื่นๆ ของวงจรนั้น เราจะพิจารณาจากกระแสและแรงดันที่อิลิเมนต์นั้นๆ โดยมีข้อตกลงว่า ถ้ามีกระแสค่าบวกวิ่งเข้าหาขั้วบวกของอิลิเมนต์ หมายความว่า มีการถ่ายเทพลังงานจากภายนอกเข้าสู่อิลิเมนต์ หรืออีกนัยหนึ่งอิลิเมนต์ดูดซับ (Absorb) พลังงานนั้นไว้ในทางกลับกัน ถ้ากระแสค่าบวกวิ่งออกจากขั้วบวกของอิลิเมนต์ จะหมายความว่า อิลิเมนต์จ่าย (deliver) พลังงานออกมาให้กับอิลิเมนต์อื่นๆ ของวงจร (ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส ภาพที่ 12(a) และ (b) กระแสค่าบวก 2 A วิ่งเข้าทางขั้วบวกของอิลิเมนต์ (แรงดันต้องมีค่าบวกด้วย) นั่นคือ อิลิเมนต์ที่กำลังดูดซับพลังงานไว้ ส่วนภาพที่ 12 (c) และ (d) กระแสค่าบวก 2 A วิ่งออกจากขั้วบวกของอิลิเมนต์ (แรงดันยังคงมีค่าเป็นบวก) หมายถึง อิลิเมนต์ที่กำลังจ่ายพลังงานออกมาให้กับอิลิเมนต์ในส่วนอื่นๆ ของวงจร



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส

ในทางวิศวกรรมไฟฟ้า เรามักจะไม่ค่อยได้ใช้เทอมพลังงานในการวิเคราะห์วงจร แต่เราจะใช้เทอม กำลังไฟฟ้า กันมากกว่า โดยที่ กำลังไฟฟ้า ถูกนิยามไว้ว่าเป็น อัตราการใช้พลังงานในการเคลื่อนย้ายประจุ หรือ พลังงานต่อเวลา กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt) ตัวย่อเป็น W ซึ่ง 1



$W = 1J/s$  ใช้สัญลักษณ์แทนกำลังไฟฟ้าเป็น P หรือ p จากนิยามของพลังงาน, แรงดันและกระแส จะได้ว่า

$$P = V \text{ (RMS)} \times I \text{ (RMS)}$$

นั่นคือ กำลังไฟฟ้าได้จากการคูณกันของแรงดันกับกระแส และ กำลังไฟฟ้ามักเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบซึ่งขึ้นกับค่าของ  $v$  และ  $i$  โดยมีข้อตกลงกันว่ากำลังไฟฟ้าค่าเป็นบวก หมายถึง อิทธิฤทธิ์ดูดซับหรือใช้กำลังไฟฟ้า และค่าเป็นลบหมายถึง อิทธิฤทธิ์จ่ายกำลังไฟฟ้าออกมา กล่าวโดยสรุป ถ้ามีกระแสค่าบวกวิ่งเข้าทางขั้วบวกของอิทธิฤทธิ์และค่าแรงดันที่อิทธิฤทธิ์นั้นเป็นค่าบวกด้วย อิทธิฤทธิ์นั้นกำลังดูดซับกำลังไฟฟ้าขนาด  $p = vi$  ถ้าเป็นกรณีอื่น อิทธิฤทธิ์นั้นกำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาด  $p = vi$  ออกมาให้กับวงจรภายนอก คำกล่าวที่ว่า ดูดซับกำลังไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้า สามารถกล่าวสลับกันได้ในกรณีที่ค่าของกำลังไฟฟ้าเป็นค่าลบ เช่น การกล่าวที่ว่า อิทธิฤทธิ์กำลังจ่ายกำลังไฟฟ้า  $-10 \text{ W}$  จะมีความหมายเช่นเดียวกันกับการกล่าวที่ว่า อิทธิฤทธิ์นั้นกำลังดูดซับกำลังไฟฟ้า  $10 \text{ W}$

### การวัดกำลังไฟฟ้า

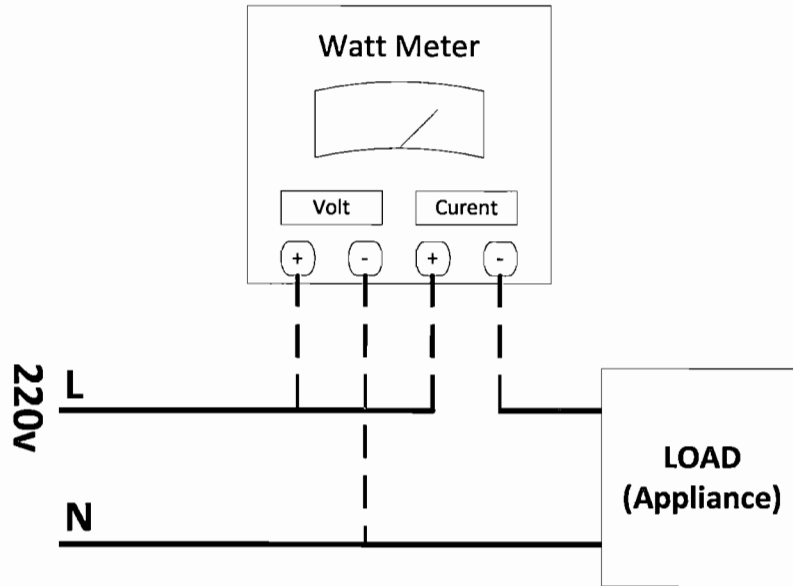
ในการวัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถวัดได้โดยใช้ วัดต์มิเตอร์ (Watt Meter) หรือ เพาเวอร์มิเตอร์ (Power Meter) โดยการวัดจะต้องต่อขั้วไฟให้ถูกต้อง ซึ่งเราจะอ่านค่าของกำลังไฟฟ้าได้โดยตรงจากวัดต์มิเตอร์ (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ลักษณะอุปกรณ์ วัดต์มิเตอร์ (ที่มา Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd.)

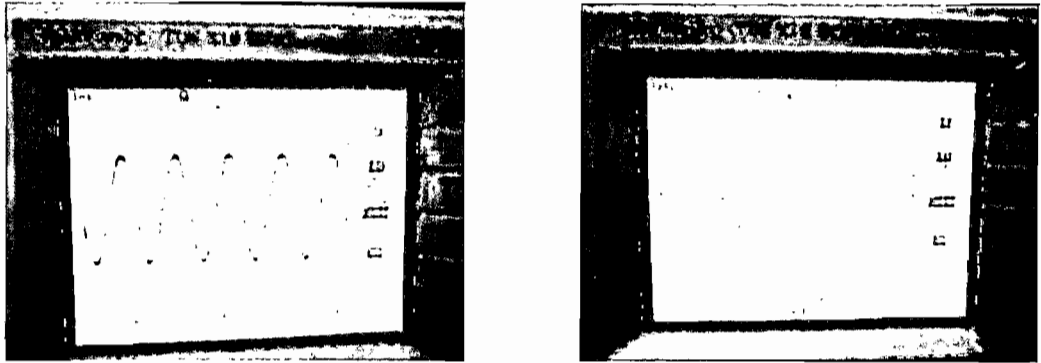
การวัดกำลังไฟฟ้า ของเครื่องรับวิทยุ ต่อ โดยให้ขั้วเสียบของช่องกระแสไฟฟ้าของเครื่องวัดวัดต์มิเตอร์ต่อในลักษณะที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเครื่องวัดวัดต์มิเตอร์ก่อนที่จะไหลไปยัง

เครื่องใช้ไฟฟ้า ในขณะที่ขั้วเสียบของเสียบของช่องแรงดันไฟฟ้าให้ต่อक्रमแหล่งจ่ายที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่เครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนั้น วัตต์มิเตอร์จึงเป็นทั้งแอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ในตัวเดียวกัน (ภาพที่ 14)



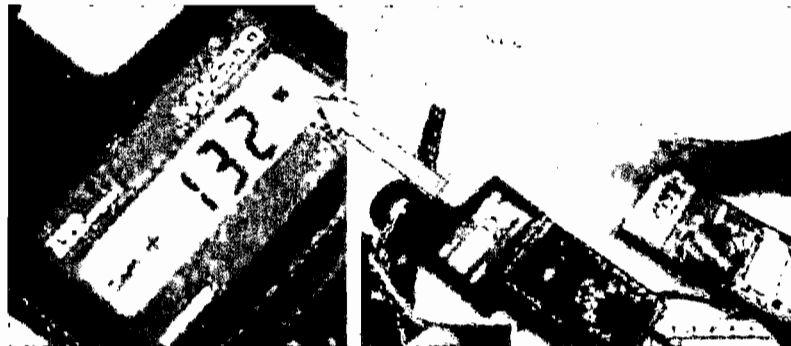
ภาพที่ 14 ลักษณะการต่ออุปกรณ์วัตต์มิเตอร์ เพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้า

ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับนี้ [6] จะมีความซับซ้อนมากกว่าการวัดอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง เพราะทิศทางการไหลของกระแสจะเปลี่ยนไปเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น การหาค่าความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแส จึงต้องคิดในรูปของรากของกำลังสองเฉลี่ย (RMS) เพื่อกำจัดการเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแส โดยต้องทราบถึงชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ใช้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับว่ามีลักษณะการใช้ไฟเป็นประเภทไหน โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Linear load ตัวอย่างเช่น หลอดไส้ (Incandescent lamp) และ Non-linear load ตัวอย่างเช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์, อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์, คอมพิวเตอร์, จอคอมพิวเตอร์ และโทรทัศน์ เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละประเภทจะมีลักษณะของการใช้กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 คุณสมบัติของการใช้กระแสไฟฟ้าของ Linear load (โหลดใส่) และ Non-linear load (คอมพิวเตอร์) (ที่มา Leonics Co., Ltd.)

การวัดค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับของอุปกรณ์ไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Power meter ซึ่งจะวัดแรงดันและกระแสในเวลาเดียวกัน และคำนวณกำลังไฟฟ้าเป็นหน่วยวัตต์ออกมา (ภาพที่ 16) แสดงการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของจอคอมพิวเตอร์ขนาด 17" โดยใช้ Power meter การวัดค่ากำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 16 การใช้ Power Meter วัดค่ากำลังไฟฟ้าของจอคอมพิวเตอร์ 17" (ที่มา Leonics Co., Ltd.)

เราสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับของจอคอมพิวเตอร์ขนาด 17" ในหน่วยของวีเอ (VA) ได้เช่นกัน โดยวัดค่าแรงดัน (RMS) และค่ากระแส (RMS) แล้วนำมาคูณกัน และคำนวณกำลังไฟฟ้าเป็นหน่วยวีเอ (ภาพที่ 17) ซึ่งวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 229.3 V และค่ากระแสไฟฟ้าได้ 1.10 A ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วย VA จะเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าคูณกับค่ากระแสได้ 252.23 VA



ภาพที่ 17 การวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของจอคอมพิวเตอร์ขนาด 17" (ที่มา Leonics Co., Ltd.)

### ความรู้เบื้องต้นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN)

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN) ในการสื่อสารมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Zigbee) ซึ่งผู้วิจัยต้องทำการศึกษาข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการงานวิจัยจาก Zigbee and Xbee BASIC, The comparison of Wi-Fi Bluetooth and ZigBee (<http://www.sena.com/blog/?p=359>), ZigBee Software Architecture(<http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/html/module3/module3-4.htm>), Hands-On ZigBee: Implementing 802.15.4 with Microcontrollers (Fred Eady, 2007) และ XBeE Datasheet เพื่อเป็นความรู้เบื้องต้นในการใช้งาน และยังศึกษาการนำ Zigbee มาประยุกต์ใช้กับระบบกันขโมยไร้สาย โดยใช้ Zigbee Security Automation with Zigbee ของ กลกรณ์ วงศ์ภักดีเสวี,อรุณี รতিকานต์ (<http://www.vcharkarn.com/project/view/386>) อีกด้วย ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลรายละเอียด ดังต่อไปนี้

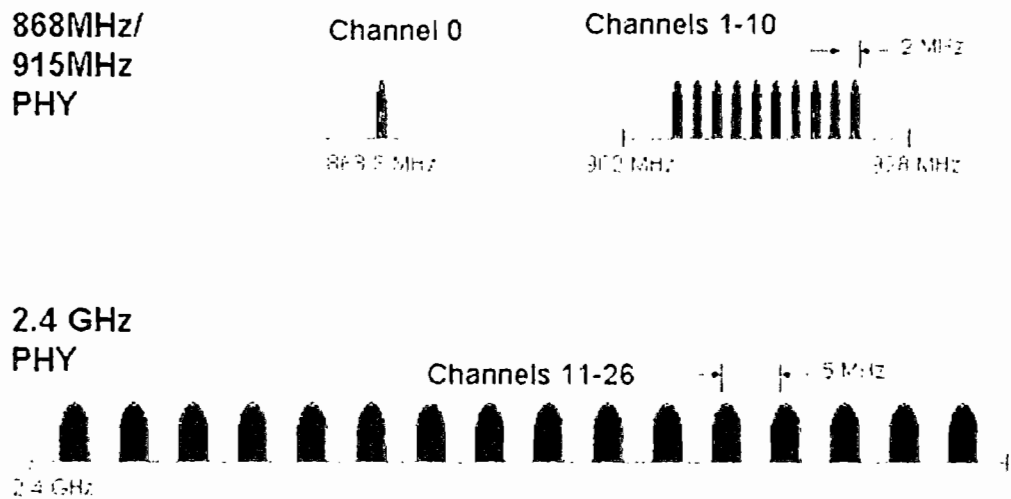
### มาตรฐานการสื่อสาร Zigbee (IEEE 802.15.4)

Zigbee คือมาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สาย โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่มีการทำงานแบบ Wireless Personal Area Network (WPAN) ซึ่ง Zigbee นี้เป็นชื่อทางการค้าและมีมาตรฐาน IEEE 802.15.4 [7] ที่มีการใช้งานกับอุปกรณ์ จำพวก Low Data Rate WPAN (LR-WPAN) คือ รองรับการทำงานประเภท Low Data Rate และ Long Battery Life ซึ่งเป็นอุปกรณ์ Sensor ที่เกี่ยวข้องกับด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม และการรักษาความปลอดภัย

Zigbee มีทางเข้าช่องสัญญาณหลายๆทางเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน โดยการใช้ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA - CA) ซึ่งมี Topology แบบ Star, Peer-to-Peer, Mesh ทั้งนี้แต่ละอุปกรณ์จะมีแอดเดรสที่มีความยาว 64 หรือ 16 บิต (รองรับได้ 64,000 อุปกรณ์) และมีระยะการสื่อสารในช่วง 10-75 เมตร โดยใช้ความถี่ที่ช่วงของ unlicensed RF worldwide ซึ่งมี 3 ย่านความถี่ ภาพที่ 18 และในแต่ละความถี่มีอัตราการรับส่งข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ย่านความถี่ของ Zigbee

ย่านความถี่	ช่องสัญญาณ	อัตราการรับส่งข้อมูล
2.4 GHz	16 Channels	250 Kbps
915 MHz	10 Channels	40 Kbps
868 MHz	1 Channel	20 Kbps



ภาพที่ 18 ย่านความถี่ของ Zigbee (อ้างอิง Zigbee/IEEE 802.15.4 Summary [8])

โดยความถี่ 2.4-2.4835 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก และความถี่ 868-870 MHz และ 902-928 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ, ยุโรป, ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ โดยการสื่อสารระยะใกล้แบบ Zigbee แตกต่างจากการสื่อสารแบบบดูลูธดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย

	Zigbee	Wi-Fi	Bluetooth
<b>Range</b>	10-100 meters	50-100 meters	10 – 100 meters
<b>Networking Topology</b>	Ad-hoc, peer to peer, star, or mesh	Point to hub	Ad-hoc, very small networks
<b>Operating Frequency</b>	868 MHz (Europe) 900-928 MHz (NA), 2.4 GHz (worldwide)	2.4 and 5 GHz	2.4 GHz
<b>Complexity (Device and application impact)</b>	Low	High	High
<b>Power Consumption (Battery option and life)</b>	Very low (low power is a design goal)	High	Medium
<b>Security</b>	128 AES plus application layer security		64 and 128 bit encryption
<b>Typical Applications</b>	Industrial control and monitoring, sensor networks, building automation, home control and automation, toys, games	Wireless LAN connectivity, broadband Internet access	Wireless connectivity between devices such as phones, PDA, laptops, headsets

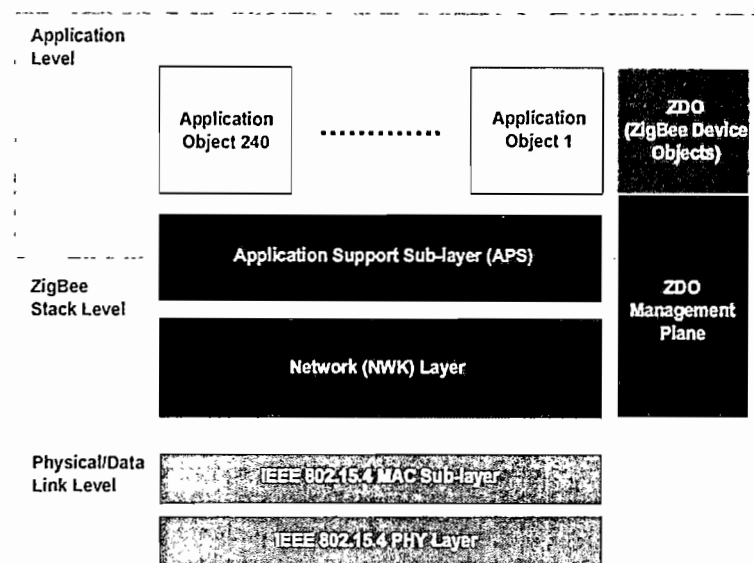
Zigbee นั้นใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านเดียวกันกับ Bluetooth หรือ Wireless LAN ช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz นี้เรียกว่าเป็นย่านไมโครเวฟ หลักสำคัญของย่านไมโครเวฟอย่างหนึ่งคือ การวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณนั้น ต้องไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ ในเส้นทางระหว่างตัวรับกับตัวส่ง (Line of Sight) จึงจะได้กำลังส่งสูงสุด สำหรับกำลังส่งของชิป XBee รุ่น Pro จะใช้กำลังไฟฟ้า 50-60 มิลลิวัตต์ และรับส่งข้อมูลได้ไกลถึง 1.5 กิโลเมตร ในแบบ Line of Sight หากมีสิ่งกีดขวางระยะการรับส่งจะลดลง ชิป XBee ที่เป็นแบบสำเร็จรูปพร้อมใช้ จะมีสายอากาศในตัว 2 แบบคือ สายอากาศแบบ Chip และแบบ Whip โดยแบบ Chip นั้น มีข้อดีตรงที่มีขนาดเล็ก แต่จะมีข้อเสียคือ Gain น้อยกว่าแบบ Whip ดังนั้นสายอากาศแบบ Chip จึงมีระยะรับส่งข้อมูลที่ลดลง

## โครงสร้างของโพรโทคอล Zigbee

1. **Application layer** เป็นชั้นที่มีส่วนของโหนดปลายทางอยู่ เรียกว่า Application framework โดยมี Zigbee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งานในชั้นของ Application layer

2. **Application support sub-layer** ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application layer และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application layer

3. **Network layer** ทำหน้าที่ใช้ในการ routing ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อยู่ภายในเครือข่ายเดียวกัน หรือต่างเครือข่ายกัน



ภาพที่ 19 Zigbee Protocol [9]

## ชนิดของอุปกรณ์ Zigbee [10]

มีอยู่ 2 ชนิดดังแสดงในตารางที่ 4

1. **Full Function Device: FFD** เป็น Router ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ ใช้พลังงานจาก power line ทำงานได้ในทุก Topology และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อ

2. **Reduced Function Device: RFD** เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ ทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบ star

ตารางที่ 4 ชนิดของ Zigbee

Device Type	Services Offered	Typical Power Source	Typical Receiver Configuration
Full Function Device (FFD)	Most or all	Mains	On when Idle
Reduced Function Device (RFD)	Limited	Battery	Off when Idle

### หน้าที่ของอุปกรณ์ Zigbee [11]

สามารถแบ่งหน้าที่ของ Zigbee ออกเป็น 3 ประเภทดังแสดงในตารางที่ 5 หน้าที่ของ Zigbee คือ

**1. Zigbee Coordinators** เป็นจุดที่ประสานเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลในเครือข่ายเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่าง End device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD

**2. Zigbee Routers** ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อความที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างคู่ของโหนดใดๆ ซึ่งเทียบได้กับ FFD

**3. Zigbee End Devices** เป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน โดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบ RFD และ FFD ขึ้นอยู่กับ sensor ที่ใช้

ตารางที่ 5 หน้าที่ของ Zigbee

Zigbee Protocol Device	IEEE Device Type	Typical Function
<b>Coordinator</b>	FFD	One per network Forms the network, allocates network address, holds binding table.
<b>Router</b>	FFD	Optional, Extends the physical range of the network, Allows more nodes to join the network.  May also perform monitoring and/or control functions.
<b>End</b>	FFD or RFD	Performs monitoring and/or control functions



### การประยุกต์ใช้งาน Zigbee

แบ่งแยกตามประเภทของข้อมูลข่าวสาร มีอยู่ 3 แบบ คือ

1. **ข้อมูลแบบ Periodic** ข้อมูลเป็นช่วงเวลา โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่ง และตัวตรวจจับสัญญาณกระตุ้น เช็คข้อมูลและทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหว ใช้สำหรับเซนเซอร์และมิเตอร์
2. **ข้อมูลแบบ intermittent** เป็นลักษณะที่มีการส่งผ่านข้อมูลเมื่อมีการใช้งาน เช่น สวิตช์ไฟ
3. **ข้อมูลแบบ Repetitive low latency** ใช้ในงานที่ต้องการ latency น้อยๆ โดยการสื่อสารจะใช้วิธีจัดสรรช่วงเวลา และสามารถใส่กลไกแบบ GTS เพื่อรับประกันคุณภาพของการบริการ นำไปใช้ในงาน เช่น เมาส์ไร้สาย

### การเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Network Topology) [7]

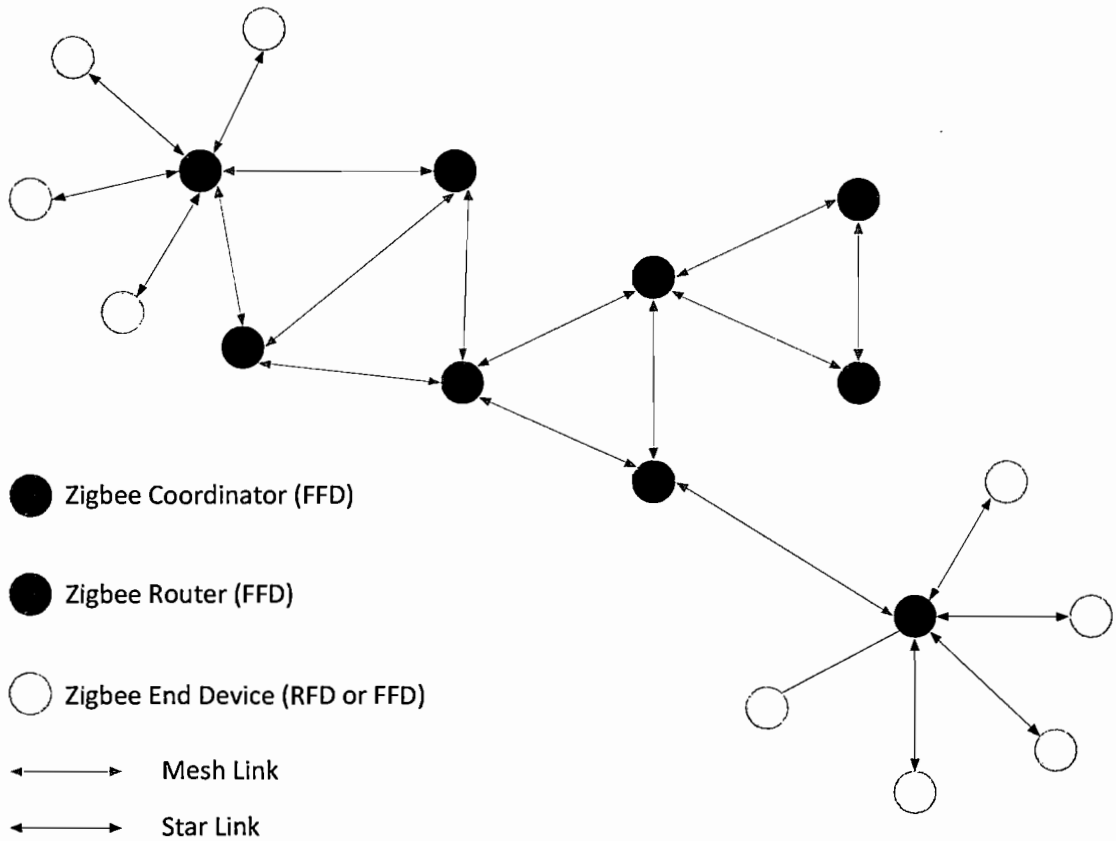
กำหนดโดยมาตรฐาน Zigbee สามารถสร้างระบบเครือข่ายได้ 3 รูปแบบ คือ

1. **แบบดาว (Star Topology)** การเชื่อมต่อแบบดาว (Star) เหมือนการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายจิ้ง (Piconet) สำหรับเครือข่ายบลูทูธ ดังแสดงในรูป โดยการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สายสามารถทำได้โดยผ่านอุปกรณ์ Personal Area Network (PAN) Coordinator หรือ Gateway Node

2. **แบบระดับเดียว (Peer-to-Peer Topology)** การเชื่อมต่อแบบระดับเดียว (Peer-to-Peer) เป็นการเชื่อมต่อเพื่อขยายโครงข่ายให้กว้างออกไป ดังแสดงในรูป โดยในการเชื่อมต่อนั้นจะต้องมี PAN Coordinator ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็ม (Full-Function Device) ในการหาเส้นทาง (Routing) และอุปกรณ์เซ็นเซอร์แบบที่มีความสามารถลดลง (Reduced-Function Device) จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีความสามารถเต็มอีกทีหนึ่ง ซึ่งอุปกรณ์ที่มีความสามารถเต็มเทียบเท่า ได้กับอุปกรณ์บลูทูธแบบ Master ที่มีหน้าที่เชื่อมต่อกับ Master ตัวอื่นๆ เพื่อให้เกิดเครือข่ายที่ใหญ่ขึ้น

3. **แบบ Cluster tree Topology** ในการสร้างระบบ Cluster tree PAN Coordinator จะใช้ตัวเองเป็น Cluster แรกเรียกว่า Cluster Head (CLH) และ Cluster Identifier (CID) เป็นศูนย์กลาง หลังจากนั้นทำการเลือก PAN Identifier และทำการ Broadcasting Beacon Frame ไปยังอุปกรณ์ข้างเคียง และเมื่ออุปกรณ์ตัวอื่นได้รับก็จะส่ง Request ไปที่ CLH จากนั้น CLH ทำการยอมรับและเพิ่มชื่ออุปกรณ์ใน Neighbor List แบบเป็นลูกข่าย (child) ในขณะที่อุปกรณ์ที่เข้ามาใหม่จะเพิ่มชื่อ

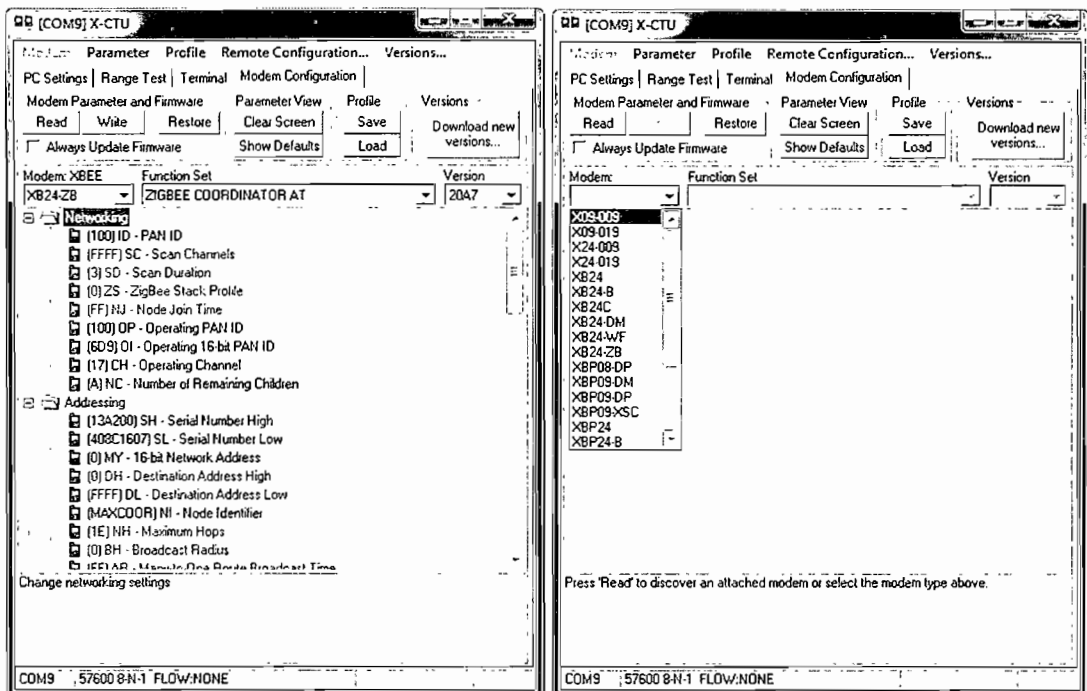
CLH ตัวนั้นใน Neighbor List ว่าเป็นแม่ข่าย (parent) หลังจากนั้นก็ทำการส่ง Beacon ไปยังอุปกรณ์ตัวอื่นๆ



ภาพที่ 20 การเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

### การกำหนดค่าต่างๆของ Xbee ด้วยโปรแกรม X-CTU

X-CTU เป็น โปรแกรมที่ใช้ในการตั้งค่าต่างๆของ Xbee โดยสามารถกำหนดได้หลายอย่างเช่น โหมดการทำงาน PAN (Personal Area Network) เป็นต้น และยังสามารถใช้เป็น Serial Terminal ได้ อีกทั้งสามารถใช้โปรแกรมนี้เพื่อทดสอบระยะทาง (Range Test) การรับ-ส่งของ Xbee ได้อีกด้วย โดย Interface ของโปรแกรม X-CTU (ภาพที่ 21) สามารถดาวน์โหลด X-CTU ได้ที่ <http://www.digi.com>



ภาพที่ 21 โปรแกรม X-CTU

สำหรับ Xbee นั้น ในแต่ละรุ่นจะมี firmware ที่โปรแกรมมาได้จากทางโรงงาน ซึ่งเราสามารถดึงค่ามาได้โดยไปที่ Tab Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read หากเป็น Xbee Pro Series 1 เราจะต้องเลือก firmware version ที่ใช้ร่วมกัน คือ 1081 , 1082 , 1083 ,1084 , .... ซึ่ง firmware ล่าสุดจะถูก set ให้โดยอัตโนมัติ (หาข้อมูลเรื่อง firmware ที่ใช้ในแต่ละรุ่นได้จาก [www.digi.com](http://www.digi.com) หรือจาก Datasheet ) หากเลือก Xbee รุ่นธรรมดา (ไม่ Pro) จะต้องเลือก group XB24xxxx เป็นต้นไป ส่วน ถ้าเลือกรุ่น Pro มา ต้องเลือก XBP24xxxx สำหรับ ในแต่ละ series นั้น จะลงท้ายไม่เหมือนกัน เช่น series2 ZB จะเป็น XB24-ZB

### ความรู้เบื้องต้นระบบสมองกลฝังตัว Embedded System (Arduino)

ระบบสมองกลฝังตัว คือระบบประมวลผล ที่ใช้ชิปหรือไมโครโพรเซสเซอร์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ฝังไว้ในอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อเพิ่มความฉลาด ความสามารถให้กับอุปกรณ์เหล่านั้นผ่านซอฟต์แวร์ซึ่งต่างจากระบบประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ระบบฝังตัวถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในยานพาหนะ เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านและสำนักงาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีฮาร์ดแวร์ เทคโนโลยีเครือข่ายเน็ตเวิร์ก เทคโนโลยีด้านการสื่อสาร เทคโนโลยีเครื่องกล

และของเล่นต่าง ๆ คำว่าระบบฝังตัวเกิดจากการที่ระบบนี้เป็นระบบประมวลผลเช่นเดียวกับระบบคอมพิวเตอร์ แต่ว่าระบบนี้จะฝังตัวลงในอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่เครื่องคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันระบบสมองกลฝังตัวได้มีการพัฒนามากขึ้น โดยในระบบสมองกลฝังตัวอาจจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวที่เห็นได้ชัดเช่น โทรศัพท์มือถือ และในระบบสมองกลฝังตัวยังมีการใส่ระบบปฏิบัติการต่างๆแตกต่างกันไปอีกด้วย ดังนั้น ระบบสมองกลฝังตัวอาจจะทำงานได้ตั้งแต่ควบคุมหลอดไฟจนไปถึงใช้ในยานอวกาศ

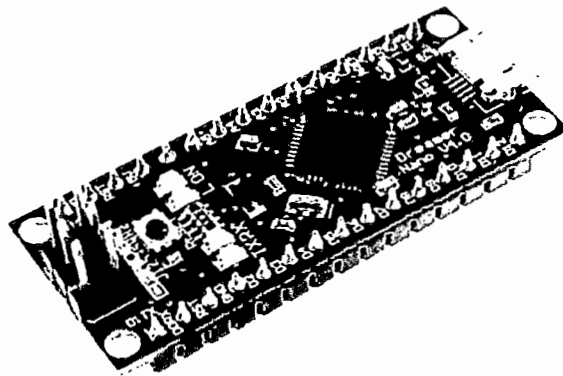
ซึ่ง Arduino เป็นโครงการไมโครคอนโทรลเลอร์ระบบเปิด (open source) โดยจะมีชุดพัฒนาของ Arduino โดยเฉพาะ ภายในชุดพัฒนาของ Arduino นี้ จะมีไลบรารีฟังก์ชันภาษาซีสำหรับติดต่อกับฮาร์ดแวร์ไว้ให้เป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานอุปกรณ์ต่างๆได้ง่าย [12] ซึ่งข้อดีของ Arduino มีดังนี้

- ราคาไม่แพง - ราคา Arduino บอร์ดไม่แพงเมื่อเทียบกับ บอร์ดอื่น
- ทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม - โปรแกรมพัฒนา Arduino ทำงานได้ทั้งบนวินโดวส์, Macintosh OSX, และ บนลินุกซ์ ในขณะที่บอร์ดอื่นทำงานได้เฉพาะบนวินโดวส์
- ใช้งานง่าย, มีโปรแกรมพัฒนาที่ไม่ซับซ้อน - โปรแกรมพัฒนา Arduino ใช้งานง่ายสำหรับมือใหม่, และมีความสามารถครบความต้องการของนักพัฒนามืออาชีพ
- เปิดเผยแพร่โค้ด และ นำไปพัฒนาต่อยอดได้ - โปรแกรม Arduino ดีพิมพ์แบบเปิดเผยซอร์สโค้ด และสามารถเพิ่มเติมความสามารถผ่าน C++ library, ถ้าต้องการศึกษาให้ลึกซึ้ง สามารถเข้าไปเล่น AVR C ซึ่งเป็นต้นแบบของ Arduino, และสามารถเพิ่มเติม AVR - C โค้ดได้โดยตรงถ้าต้องการ
- เปิดเผยแพร่ และ นำไปพัฒนาขาย hardware ได้ Arduino ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Atmel เบอร์ ATMEGA8 และ ATMEGA168 วงจรของบอร์ดดีพิมพ์แบบเปิดเผยวงจรภายใต้ Creative Commons License สามารถนำไปดัดแปลงต่อขยาย และเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาการทำงานของมันได้

#### **คุณสมบัติ Arduino Dreamer Nano V.4.0**

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ ระบบสมองกลฝังตัว Arduino Embedded Board ที่ชื่อว่า Dreamer Nano V.4.0 [13] (ภาพที่ 22) ผลิตโดย DFRobot เป็นระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก ที่มีความสมบูรณ์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR (ATmega32u4) ซึ่งมีคุณสมบัติตามรายละเอียดด้านล่าง และข้อมูลเพิ่มเติมที่ ภาคผนวก ก

- หน่วยความจำโปรแกรมแบบ FLASH ขนาด 32 กิโลไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM ขนาด 2.5 กิโลไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 1 กิโลไบต์
- สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบ I2C bus และ วงจรสื่อสารอนุกรม
- พอร์ตอินพุตเอาต์พุตจำนวน 20 ช่องสัญญาณ
- ช่องสัญญาณสำหรับสร้าง Pulse Width Modulation (PWM) จำนวน 8 ช่อง
- วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิตในตัวจำนวน 12 ช่อง
- ทำงานได้ตั้งแต่ว่านแรงดัน 5-12 Volts
- ความถี่ใช้งานสูงสุด 16 MHz



ภาพที่ 22 Dreamer Nano V.4

#### การโปรแกรมระบบสมองกลฝังตัว

ในการ โปรแกรมลงไปในตัว Arduino นั้นจะใช้โปรแกรมที่มากับผู้ผลิตที่ชื่อว่า Arduino IDE ใช้สำหรับการเขียน โปรแกรมควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งภาษาของ Arduino จะอ้างอิงตามภาษา C/C++ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino ก็คือการเขียน ภาษาซี โดยเรียกใช้ฟังก์ชันและไลบรารีที่ทาง Arduino ได้เตรียมไว้ให้แล้ว ซึ่งโปรแกรมของ Arduino แบ่งเป็นสองส่วนคือ Void setup() และ Void loop() (ภาพที่ 23)



```

Production | Arduino 1.0.1
File Edit Sketch Tools Help
Production
#include "SoftwareSerial.h"
#include "Statistic.h"
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emonl;

SoftwareSerial mySerial(3, 2); // RX, TX
Statistic elecStats;

const int currentPin = 0; // Analog A3
int i;

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  analogReference(EXTERNAL);
  emonl.current(currentPin, 15); // Current: input pin, calibration. For SCT-013-030 Cur Const= Rat
  // emonl.current(3, 39); // Current: input pin, calibration. For SCT-013-039 Cur Const= Ratio/Burc
  i=0;
  Serial.println("");
  mySerial.println("");
  Serial.println(",,I,MIN,MAX,MEAN,AVG,DEV,IRMS,");
  mySerial.println(",,I,MIN,MAX,MEAN,AVG,DEV,IRMS,");
  elecStats.clear(); //explicitly start clean
}

void loop(void)
{
  elecStats.add(analogRead(currentPin));
  // Show Output
  if (elecStats.count() == 4000)
  {
    i = i + 1;
    double Irms = emonl.calcIrms(1480); // Calculate Irms only
    // -- Serial to Computer --//
    Serial.print("#,");
    Serial.print(i);
    Serial.print(",");
  }
}
15 Arduino Leonardo on COM11

```

### ภาพที่ 23 การพัฒนาโปรแกรมโดยใช้เครื่องมือ Arduino IDE

โดยฟังก์ชัน `setup()` เมื่อโปรแกรมทำงานจะทำคำสั่งของฟังก์ชันนี้เพียงครั้งเดียว ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นของการทำงาน ส่วนฟังก์ชัน `loop()` เป็นส่วนทำงาน โปรแกรมจะทำคำสั่งในฟังก์ชันนี้ต่อเนื่องกันตลอดเวลา โดยปกติใช้กำหนดโหมดการทำงานของขาต่าง ๆ กำหนดการสื่อสารแบบอนุกรม ฯลฯ ส่วนของ `loop()` เป็น โค้ด โปรแกรมที่ทำงาน เช่น อ่านอินพุต ประมวลผล สั่งงานเอาต์พุต ฯลฯ โดยส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นเช่น ตัวแปร จะต้องเขียนที่ส่วนหัวของโปรแกรม ก่อนถึงตัวฟังก์ชัน นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงตัวพิมพ์เล็ก พิมพ์ใหญ่ ของตัวแปรและชื่อฟังก์ชันให้ถูกต้อง (ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ <http://arduino.cc/en/Tutorial>)

### การแปลงค่าสัญญาณ Analog เป็น Digital

ในงานควบคุมหลายประเภท เช่น เซอร์จะให้ค่าเป็นแรงดัน (หรือกระแส) ไฟฟ้าที่แปรผันตามตัวแปรที่เราต้องการวัดค่า ตัวอย่างเช่น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ สเตนเกจ (stain gauge) หรือ ไมโครโฟน ในการที่จะประมวลผลสัญญาณนั้นๆ โดยคอมพิวเตอร์จะต้องทำการสุ่มค่าของสัญญาณเป็นค่าตัวเลขที่สามารถเก็บในหน่วยความจำ อุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่นี้ก็คือ ADC (Analog-to-Digital Converters) หรือที่เรียกว่า ระบบการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital ซึ่งจะค่าเท่ากับสัญญาณ Analog นั้นๆ

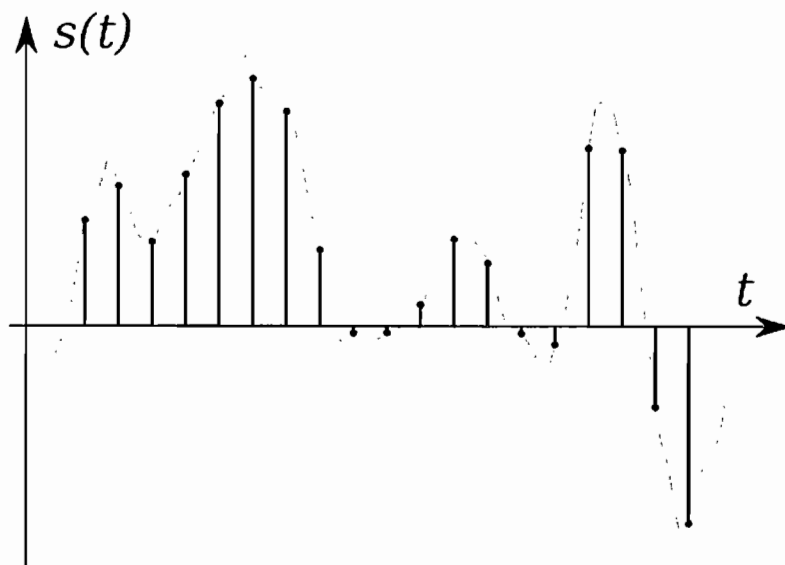
โดยทั่วไปไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีอุปกรณ์ ADC บรรจุอยู่ในชิพแล้ว จึงมักไม่มีความจำเป็นจะต้องหาอุปกรณ์มาเพิ่มภายนอก วิธีการทำ ADC มีหลายประเภท เช่น แบบแฟลช (Flash) ประมาณค่าตามลำดับ (Successive Approximation) ความชันคู่ (Dual Slope) หรือ ซิกมา-เดลตา (Sigma-Delta) เป็นต้น โดยแต่ละแบบมีรายละเอียดแตกต่างกันเฉพาะ โครงสร้างภายในเท่านั้น ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวเพียงเฉพาะเนื้อหาที่สำคัญในการใช้งาน

ความเร็วของ ADC ในการสุ่มสัญญาณจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 2 เท่าของ Bandwidth สัญญาณแอนะล็อก มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาที่เรียกว่า เอเลียส คือ ได้สัญญาณที่แตกต่างไปจากสัญญาณจริง ถ้าหากว่าไม่สามารถสุ่มสัญญาณด้วยอัตราอย่างน้อย 2 เท่าได้ จะต้องใช้วงจรฟิลเตอร์ต้านเอเลียส (anti-aliasing filter) เข้าช่วย ซึ่งก็คือวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่มีความถี่ตัดเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสุ่มนั่นเอง นอกจากนั้นในทางปฏิบัติโมดูล ADC จะไม่สามารถทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกได้อย่างทันทีทันใด ดังนั้นที่ภาคอินพุตจะต้องมีวงจรช่วยในการคงค่าระดับสัญญาณไว้ จนกว่าการแปลงจะเสร็จสิ้น ตัวช่วยนี้เรียกว่า วงจรสุ่มและคงค่า (Sample and Hold)

ความละเอียด (resolution) คือ จำนวนค่าตัวเลขดิจิตอลทั้งหมดที่สามารถแทนได้ในย่านของสัญญาณแอนะล็อกที่ใช้งาน เนื่องจากค่าเหล่านี้ถูกเก็บในรูปของตัวเลขไบนารี ดังนั้นความละเอียดจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของ ADC ซึ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้มี ADC ขนาด 10 บิต สามารถเก็บค่าได้  $2^{10} = 1024$  ระดับ โดยจะเป็นค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1023 ความละเอียดสามารถระบุได้เป็นค่าแรงดันที่แตกต่างกันในแต่ละระดับก็ได้ สมมติว่าย่านของแรงดันแอนะล็อก คือ 5 โวลต์ เมื่อใช้ ADC ขนาด 10 บิต จะเก็บค่าได้ 1024 ระดับ ดังนั้นค่าความละเอียดในรูปของค่าแตกต่างแรงดันน้อยสุดที่วัดได้คือ  $10/1024 = 9.7$  มิลลิโวลต์ ต่อ หนึ่งระดับ

Sampling rate เป็นปริมาณที่มักจะถูกใช้กับ Analog to Digital Conversion ซึ่ง Sampling rate เป็นจำนวนของเวลาต่อวินาทีที่สัญญาณ Analog ถูกเปลี่ยนเป็น Digital Code สำหรับคุณสมบัติของ Analog to Digital Conversion ค่าที่น้อยที่สุดของ Sampling rate จะมีค่าเป็นสองเท่าของความถี่ Analog ที่สูงที่สุด ซึ่ง Sampling rate ที่น้อยที่สุดนี้ มักจะเรียกเป็น Nyquist sampling

rate ถ้า Sampling frequency น้อยกว่าสองเท่าของความถี่ Analog ที่สูงที่สุด จะเกิด Aliasing error ขึ้น Aliasing error จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของความถี่สูงของสัญญาณ เนื่องจากตัว Spectral ของสัญญาณที่ถูก Sampling ซึ่ง Aliasing error เป็นปรากฏการณ์ ที่มีสาเหตุมาจาก ส่วนประกอบของความถี่ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณ Sampling จะถูกสอดแทรกจากความถี่ ของสัญญาณที่จะถูก Sampling เราสามารถที่จะหลีกเลี่ยง Aliasing error ได้โดยการใช้ความถี่ Sampling ที่น้อยกว่า 2 เท่าของ Analog frequency ที่สูงที่สุด (ภาพที่ 24)

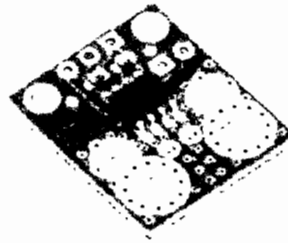


ภาพที่ 24 อัตราการสุ่มตัวอย่าง

### ความรู้เบื้องต้นอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (ACS712 30A)

ACS712 Current Sensor Carrier  $\pm 30A$  เป็น Sensor ตรวจวัดกระแสใช้ IC เบอร์ ACS712 วัดได้ทั้งกระแสไฟ DC และ AC สามารถวัดกระแสที่ไหลได้ 2 ทิศทาง ทั้งค่าบวกและค่าลบ ที่มีขนาด 30A ( $\pm 30A$ ) ให้ค่า Output เป็น Analog Voltage 66 mV/A โดยมี Center ที่ 2.5 V (มีค่า typical error น้อยกว่า 1.5%) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น IC เบอร์ ACS712 ซึ่งใช้หลักการของ Hall effect sensor ในการตรวจจับกระแสไฟฟ้า เมื่อวัดไฟกระแสสลับ output ที่ได้ออกมาจะเป็น VAC ที่วิ่งอยู่บน 2.5V DC ซึ่งจะใช้ Controller ในการ ตรวจจับค่า VAC ที่ได้แล้วแปลงกลับเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้





ภาพที่ 25 อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) รุ่น ACS712

### การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจำเป็นต้องรู้และเข้าใจถึงการการทำเหมืองข้อมูล เพื่อใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดออกมา ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาการทำเหมืองข้อมูลเบื้องต้นมาจาก คณะวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เรื่องการทำเหมือง [14] ดังนี้.

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) คือเหมืองข้อมูล คล้ายกับเหมืองแร่ ที่ขุดดินมาเยอะแต่ได้แร่ชนิดเดียว การทำเหมืองข้อมูลเป็นการค้นหาความสัมพันธ์และรูปแบบทั้งหมด ซึ่งมีอยู่จริงในฐานข้อมูล ที่สัมพันธ์จากรูปแบบเหล่านั้นได้ถูกซ่อนไว้ภายในข้อมูลจำนวนมากที่มีอยู่ การทำเหมืองข้อมูลจะทำการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เต็มไปด้วยความหมายและอยู่ในรูปของกฎ โดยความสัมพันธ์หน่วยนี้แสดงให้เห็นถึงความรู้ต่าง ๆ (Knowledge) ที่มีประโยชน์ในฐานข้อมูลในปัจจุบันองค์กรธุรกิจส่วนใหญ่เผชิญกับปัญหาของ ข้อมูลดิบจำนวนมากแต่ข้อมูลที่ประยุกต์ใช้ได้นั้นมีน้อย การทำเหมืองข้อมูลจึงเป็นสาขาที่คาดว่าจะเป็นที่รู้จักและนำมาใช้ประยุกต์ใช้ได้อย่างแพร่หลายเนื่องจาก การทำเหมืองข้อมูลสามารถดึงความรู้ออกมาจากข้อมูลจำนวนมากที่ถูกเก็บสะสมและซ่อนไว้

### วัฏจักรขั้นตอนการทำงานของการทำงานการทำเหมืองข้อมูล

วัฏจักรขั้นตอนการทำงานของการทำงานการทำเหมืองข้อมูลประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การระบุโอกาสทางธุรกิจหรือการระบุปัญหาที่เกิดขึ้นกับธุรกิจ เป็นการระบุขอบเขตของข้อมูลที่จะนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความได้เปรียบทางการตลาดหรือเพื่อนำมาทำการแก้ไขปัญหา

2. ส่วนของการทำงานเหมืองข้อมูล เป็นการนำเทคนิคของการทำงานเหมืองข้อมูลไปใช้ถ่ายทอดหรือทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่จะนำไปใช้ได้จริงในทางธุรกิจ

**3. การปฏิบัติตามข้อมูล** คือการนำเอาข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ของส่วนการทำเหมืองข้อมูลมาลงปฏิบัติจริงกับธุรกิจ

**4. การวัดประสิทธิภาพจากผลลัพธ์** การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูลที่จะนำมาใช้จากผลลัพธ์ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้หลายทาง เช่น วัดจากส่วนแบ่งของตลาด วัดจากปริมาณลูกค้า หรือ วัดจากกำไรสุทธิ เป็นต้น จากทั้ง 4 ขั้นตอนที่กำลังกล่าวมาข้างต้นคือการนำเอาการทำเหมืองข้อมูลไปใช้กับระบบทางธุรกิจ โดยแต่ละขั้นตอนจะพึ่งพาอาศัยกันผลลัพธ์จากขั้นตอนหนึ่งจะกลายมาเป็นอินพุตจากอีกขั้นตอนต่อไป ซึ่งการทำเหมืองข้อมูล จะเปลี่ยนข้อมูลดิบให้เป็นข้อมูลประยุกต์ ดังนั้นการระบุแหล่งข้อมูลที่ต้องการจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์

#### งานของการทำเหมืองข้อมูล (Task of data mining)

ในทางปฏิบัติจริงการทำเหมืองข้อมูล จะประสบความสำเร็จกับงานบางกลุ่มเท่านั้น และต้องอยู่ภายใต้ภาวะที่จำกัดปัญหาเหมาะสมกับการใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล จะเป็นปัญหาที่ต้องใช้เหตุผลในการแก้ เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์และการเงิน ซึ่งจะสามารถจัดรูปแบบของธุรกิจให้อยู่ในรูปแบบของงานทั้ง 6 งานได้ ดังนี้

**1. การจัดจำแนกประเภท (Classification)** การจัดหมวดหมู่ หรือ การจำแนกประเภท ถือว่าเป็นงานธรรมดาทั่วไปของการทำเหมืองข้อมูล เพราะการทำความเข้าใจและการติดต่อสื่อสารต่างๆ ก็เกี่ยวข้องกับการแบ่งเป็นหมวดหมู่การจัดแยกประเภทและการแบ่งแยกชนิดโดยการจัดหมวดหมู่ประกอบด้วยการสำรวจจุดเด่นของวัตถุที่ปรากฏออกมา และทำการกำหนด จุดเด่นนั้นๆ เป็นตัวที่ใช้แบ่งหมวดหมู่ งานในการแบ่งหมวดหมู่คือการบ่งบอกลักษณะ โดยการอธิบายจุดเด่นที่เป็นที่รู้จักดีในหมวดหมู่นั้น และเทรนนิ่งเซต (Training Set) ของตัวอย่างในแต่ละหมวดหมู่ ซึ่งมีภาระหน้าที่ในการสร้างโมเดลของบางชนิดที่ไม่สามารถจะจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ ให้สามารถจัดเป็น หมวดหมู่ได้ ตัวอย่างของการจัดหมวดหมู่ เช่น การจัดหมวดหมู่ของผู้ยื่นขอเครดิต (Credits) เป็นระดับต่ำระดับกลาง และระดับสูง ของความเสี่ยงที่จะได้รับ เป็นต้น

**2. การประเมินค่า (Estimation)** การประเมินค่าทางธุรกิจอย่างต่อเนื่องจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีประโยชน์กับธุรกิจ การป้อนข้อมูลที่เราเมื่ออยู่เข้าไป เพื่อใช้ในการประเมินสิ่งต่างๆ ที่จะก่อให้เกิดประโยชน์ หรือสำหรับตัวแปรที่เราไม่รู้ค่าแน่นอนเช่น รายได้จากการค้า จุดสูงสุดทางธุรกิจ หรือคุณภาพของบัตรเครดิต ในทางปฏิบัติการประเมินค่าจะถูกใช้ในการทำงานการจัดหมวดหมู่ ตัวอย่างของการประเมินค่าเช่น การประเมินรายได้รวมของ ครอบครัว หรือการประเมินจำนวนบุตรในครอบครัว

**3. การทำนายล่วงหน้า (Prediction)** การทำนายล่วงหน้าก็เป็นงานที่มีลักษณะคล้ายกับการจัดหมวดหมู่หรือการประเมินค่า ยกเว้น เพียงแต่จะใช้สถิติการบันทึกของการจัดหมวดหมู่ในการทำนายอนาคตของพฤติกรรมหรือการประเมิน ค่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ตัวอย่างของงานการทำนายล่วงหน้า เช่น การทำนายการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ของตลาด หรือการทำนายจำนวนลูกค้าที่จะออกจากธุรกิจของเราใน 6 เดือนข้างหน้า เป็นต้น

**4. การจัดกลุ่มโดยอาศัยความใกล้ชิดกัน หรือการวิเคราะห์ของตลาด (Affinity Group)** งานในการจัดกลุ่มหรือการวิเคราะห์ตลาด คือการตัดสินใจรวมสิ่งที่สามารถไปด้วยกันเข้าไว้ในกลุ่มเดียวกันตัวอย่างของการจัดกลุ่ม โดยอาศัยความใกล้ชิดกันหรือการวิเคราะห์ตลาด เช่น การตัดสินใจว่าสิ่งใดบ้างที่จะ ไปอยู่ด้วยกันอย่างสม่ำเสมอในรถเซ็นในซูเปอร์มาร์เกต

**5. การรวมตัว (Clustering)** การรวมตัวคืองานที่ทำการรวมส่วนต่างๆ ในแต่ละส่วนที่ต่างชนิดกันให้อยู่ในรวมกันเป็นกลุ่มย่อย หรือคลัสเตอร์ (Clusters) โดยในแต่ละคลัสเตอร์อาจจะประกอบด้วยส่วนต่างๆที่ต่างชนิดกัน ซึ่งความแตกต่างของการรวมตัวจากการจัดหมวดหมู่คือ การรวมตัวจะไม่พึ่งพาอาศัยการกำหนดหมวดหมู่ล่วงหน้า และไม่ใช้ตัวอย่าง ข้อมูลจะรวมตัวกันบนพื้นฐานของความคล้ายในตัวเอง

**6. การบรรยาย (Description)** ในบางครั้งวัตถุประสงค์ของการทำเหมืองข้อมูล คือต้องการอธิบายความสับสนของฐานข้อมูลในทางที่จะเพิ่มความเข้าใจในส่วนของประชากรผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการให้มากขึ้น เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล ส่วนใหญ่ต้องการทราบข้อมูลจำนวนมากที่ประกอบด้วยหลายๆ ตัวอย่างเพื่อจะสร้างกฎที่ใช้ในการจัดหมวดหมู่ กฎของความสัมพันธ์ คลัสเตอร์ การทำนายล่วงหน้า ดังนั้นชุดของข้อมูลขนาดเล็กจะนำไปสู่ความไม่แน่ใจของผลสรุปที่ได้ ไม่มีเทคนิคใดเลยที่จะสามารถแก้ปัญหาของการทำเหมืองข้อมูล ได้ทุกปัญหา ดังนั้นความหลากหลายของเทคนิคจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการไปสู่วิธีการแก้ปัญหาของการทำเหมืองข้อมูล ได้ดีที่สุด

#### **เทคนิคการจำแนกข้อมูล (Classification Technic)**

การแก้ปัญหาของงานชนิดต่างๆ โดยใช้วิธีการทำเหมืองข้อมูล ในแต่ละงานก็จะมีเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูล ที่จะนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสม โดยเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูลนั้นมีมากมาย ส่วนใหญ่มาจากศาสตร์ทาง AI (Artificial Intelligence) หรือศาสตร์อื่นๆ ซึ่งจะขอยกตัวอย่างของเทคนิคที่ถูกใช้กันค่อนข้างแพร่หลาย

มีเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูล จำนวนมากที่ใช้สำหรับปัญหาแบบ classification และ regression และแต่ละเทคนิคก็มี algorithm มากมาย แต่ละ algorithm ก็ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไป สิ่งที่แยกปัญหา classification ออกจากแบบ regression คือ ปัญหา classification จะให้ผลลัพธ์เป็นค่าที่แน่นอน เช่น “ใช่”, “ไม่ใช่” หรือ “สูง”, “กลาง” และ “ต่ำ” เป็นต้น ตัวอย่างเช่น แบบจำลองอาจทำนายว่า “นาย A จะตอบรับข้อเสนอของทางบริษัท” ในขณะที่ผลลัพธ์ที่จะได้จากปัญหาแบบ regression เป็นค่าเฉพาะที่แน่นอน แต่ค่านี้จะไม่จำกัดคือ อาจจะเป็นค่าอะไรก็ได้ ตัวอย่างเช่น จากแบบจำลองที่ได้จากการทำการทำเหมืองข้อมูล แบบ regression แบบจำลองอาจทำนายว่า “นาย A จะได้รับผลกำไร 500 บาท เป็นต้น”

โดยทั่วไปแล้ว ปัญหาในแบบ regression จะสามารถเปลี่ยนเป็นปัญหาแบบ classification ได้โดยการแบ่งค่า ที่ต้องการทำนายให้เป็นกลุ่มของค่าที่ไม่ต่อเนื่องกัน (discrete categories) และ ปัญหาแบบ classification ก็สามารถเปลี่ยน เป็นแบบ regression ได้ โดยการทำนายค่าหรือความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละกลุ่ม และกำหนดค่าของช่วงของค่า หรือความน่าจะเป็น ที่ทำนายได้

### ดีซีชันทรี (Decision Tree) [15]

เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะคล้ายกับต้นไม้ จะมีการสร้างกฎต่างๆ ขึ้นเพื่อใช้ในการตัดสินใจ ดีซีชันทรีเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากความไม่ซับซ้อนของอัลกอริทึม ทำให้เครื่องมือที่ใช้ในการทำที่วางขายกันอยู่ในท้องตลาด ต่างก็ใช้วิธีนี้ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถตีความและเข้าใจลักษณะของรูปแบบข้อมูล ( Pattern ) ได้ง่าย เพราะ มีการแยกออกเป็นกฎ หรือข้อกำหนดต่างๆ แต่ก็ยังคงมีปัญหาในเรื่องของการให้น้ำหนักความน่าเชื่อถือหรือการให้ค่าน้ำหนักในแต่ละโหนด (node) ซึ่งถ้าให้น้ำหนักผิดไป อาจจะทำให้การตีความผิดไปได้

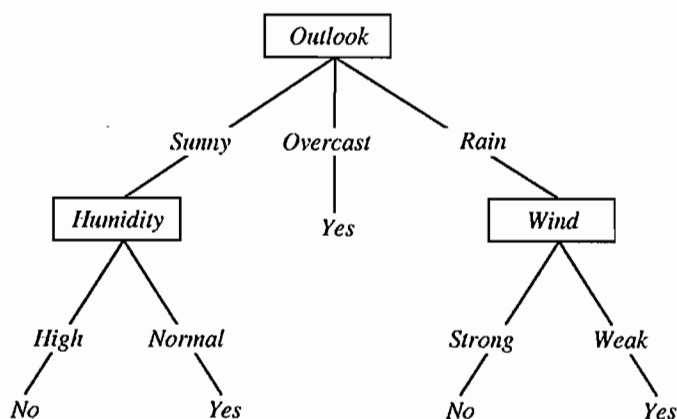
โดยปกติมักประกอบด้วยกฎในรูปแบบ “ถ้า เงื่อนไข แล้ว ผลลัพธ์” เช่น

“If Income = High and Married = No THEN Risk = Poor”

“If Income = High and Married = Yes THEN Risk = Good”

Decision tree เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างแพร่หลาย เนื่องจากผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจผลลัพธ์ได้ง่าย เทคนิค Decision tree จะจำกัดข้อมูลที่เป็นตัวแปรตาม (dependent variable) 1 ตัวต่อ 1 แบบจำลอง ถ้าต้องการทำนายตัวแปรตามหลาย ๆ ตัวจะต้องสร้างแบบจำลองสำหรับตัวแปรตามแต่ละตัว algorithm ของเทคนิคแบบ Decision tree ส่วนใหญ่ไม่รองรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง (continuous data) จะต้องมีการแบ่งให้เป็นข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete data) เสียก่อน algorithm ที่เหล่านั้นได้ก่อน Chi-squared Automatic Interaction Detection (CHAID) , Classification and

Regression Trees (CART) , C4.5 และ C5.0 algorithm เหล่านี้ส่วนมากมักเหมาะกับปัญหาแบบ classification บางตัวปรับให้ใช้ได้กับปัญหาแบบ regression เช่น Classification and Regression Trees (CART) ซึ่งรองรับทั้งปัญหาในแบบ Classification และ regression นอกจากนี้ยังรองรับข้อมูลในแบบที่ต่อเนื่องด้วย



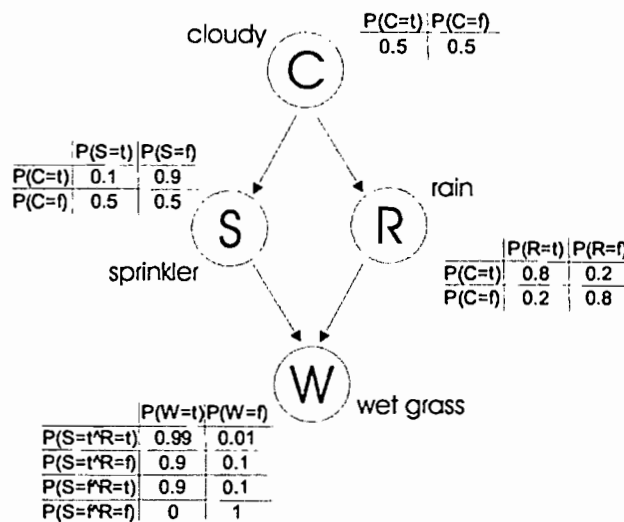
ภาพที่ 26 ตัวอย่างการใช้แผนภาพต้นไม้

### นาอิว เบย์ (Naïve Bayes) [16]

Naïve-Bayes เป็นเทคนิคที่ถูกตั้งชื่อตาม Thomas Bayes (1702-1761) เทคนิคแบบ Naïve-Bayes ใช้ทฤษฎี Bayes Theorem ในการคำนวณความน่าจะเป็นซึ่งถูกใช้ในการทำนายผล เมื่อทำการวิเคราะห์กรณีใหม่ การทำนายผลทำได้โดยการรวมผลของตัวแปรอิสระ (independent variable) ที่มีต่อตัวแปรตาม (dependent variable) Naïve-Bayes เป็นเทคนิคในการแก้ปัญหาแบบ classification ที่ทั้งสามสามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ได้และสามารถอธิบายได้ด้วย มันจะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตามเพื่อใช้ในการสร้างเงื่อนไขความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละความสัมพันธ์ ในทางทฤษฎีแล้วการทำนายผลของ Naïve-Bayes จะถูกต้องถ้าตัวแปรอิสระทั้งหมดเป็นอิสระต่อกัน ไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วมีไม่มากนักที่ตัวแปรอิสระทั้งหมดเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ข้อมูลเกี่ยวกับประวัติบุคคล ซึ่งมักประกอบด้วยรายละเอียดย่อยมากมาย อาทิ น้ำหนัก, การศึกษา, รายได้ เป็นต้น จะเห็นว่ารายละเอียดเหล่านี้มักขึ้นอยู่กับอายุ ในกรณีนี้การใช้ Naïve-Bayes จะต้องคำนึงถึงผลของอายุให้มาก ๆ นอกจากนี้ เทคนิคแบบ Naïve-Bayes ยังไม่รองรับข้อมูลที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง (continuous data) ด้วย ดังนั้น ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรตามที่มีค่าเป็นค่าต่อเนื่องจะต้องถูกแบ่งเป็นช่วงเช่น ถ้ามีตัวแปรอิสระที่เป็นค่าของอายุก็อาจแปลงค่าเหล่านั้นให้เป็นช่วงแคบ ๆ อาทิ “ต่ำกว่า 20 ปี” ,

“20-40 ปี”, “40 ปีขึ้นไป” เป็นต้น ซึ่งการแบ่งช่วงนั้น ถ้าแบ่งไม่เหมาะสม ก็จะมีผลกระทบต่อคุณภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้น แต่ถ้าไม่คำนึงถึงข้อจำกัดนี้แล้ว เทคนิคแบบ Naïve-Bayes สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีและรวดเร็วได้ ความง่ายและความเร็วทำให้เทคนิคนี้เป็นเครื่องมือที่ดีในการสร้างแบบจำลองและหารูปแบบความสัมพันธ์ที่ไม่ซับซ้อน

Naive Bayes classifier คือตัว classifier ที่ถูกสร้างขึ้นโดยหลักความน่าจะเป็น (probability) โดยจะจำแนกข้อมูลโดยใช้กฎของ Bayes และใช้สมมุติฐานที่ว่า ทุก feature จะเป็นอิสระต่อกันโดยมีเงื่อนไข (conditional independent) นั่นก็คือเมื่อเรารู้ class ของ feature นั้น ซึ่งสมมุติฐานนี้จะทำให้เราสามารถแก้ปัญหาได้ง่ายขึ้นมาก ตัวอย่างการใช้ Naïve-Bayes (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 27 ตัวอย่างการใช้ Naïve-Bayes

1. **กฎของ Bayes** โดยกฎนี้จะมองความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นของ 2 เหตุการณ์ ยกตัวอย่างว่าเป็น เหตุการณ์ A กับ เหตุการณ์ B เวลาเราจะกล่าวถึงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A เราจะเขียน  $P(A)$  ส่วนของ B เราจะเขียน  $P(B)$  ส่วนความน่าจะเป็นของ B เมื่อเรารู้ว่ามีเหตุการณ์ A เกิดขึ้นก่อนคือ  $P(B|A)$  และความน่าจะเป็นของ A เมื่อเรารู้ว่ามีเหตุการณ์ B เกิดขึ้นก่อนคือ  $P(A|B)$  กฎของ Bayes จะมีสมการดังนี้

$$P(A | B) = \frac{P(B | A)P(A)}{P(B)}$$

แปลความได้ว่าเราสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์  $P(A|B)$  ได้ ถ้าเราสามารถรู้ได้ว่ามีเหตุการณ์ B เกิดขึ้น เราจะเรียก  $P(A)$  ว่าเป็น prior probability ซึ่งก็คือค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A ก่อนที่เราจะรู้ว่ามีการเกิดเหตุการณ์ B เกิดขึ้น ส่วน  $P(A|B)$  เรียกว่า posterior probability ซึ่งก็คือค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A หลังจากที่เรารู้ว่ามีการเกิดเหตุการณ์ B เกิดขึ้น โดยปกติแล้วเราจะสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของทั้ง  $P(A|B)$  หรือ  $P(A)$  หรือ  $P(B)$  ได้ก่อน

2. สมการโมเดล Naive Bayes classifier สามารถเขียนสมการโมเดลของ Naive Bayes classifier โดยใช้กฎของ Bayes ได้ดังนี้

$$P(C | F_1, F_2, \dots, F_n) = \frac{P(F_1, F_2, \dots, F_n | C)P(C)}{P(F_1, F_2, \dots, F_n)}$$

โดย C แทนคลาส และ  $F_n$  แทน feature ลำดับที่ n เราจะพิจารณาสมมุติฐานของ Naive Bayes ที่ว่า ทุก feature จะ conditional independent เมื่อเรารู้คลาส ฉะนั้นเราสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$P(C | F_1, F_2, \dots, F_n) = \frac{P(F_1 | C)P(F_2 | C) \dots P(F_n | C)P(C)}{P(F_1, F_2, \dots, F_n)}$$

และการนำไปจำแนกข้อมูลนั้นเราจะใช้วิธี Maximum A Posteriori (MAP) estimation ก็คือจำแนกข้อมูลตามค่าความน่าจะเป็น posterior ที่มากที่สุด หรือคลาสไหนให้ค่า posterior มากสุด เขียนสมการโดยใช้ฟังก์ชัน nb\_classify ได้ดังนี้

$$nb\_classify(f_1, f_2, \dots, f_n) = \underset{c}{\operatorname{argmax}} p(C = c) \prod_{i=1}^n p(F_i = f_i | C = c)$$

สังเกตได้ว่าสมการข้างบนนี้ไม่มีตัวส่วน  $p(F_1=f_1, F_2=f_2, \dots, F_n=f_n)$  เพราะว่าเป็นค่าคงที่ในการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็น posterior ระหว่างคลาส จึงสามารถละไว้ได้ และอีกอย่างคือไม่จำเป็นต้องรู้ว่าค่า posterior จริงๆ เป็นเท่าไร สิ่งที่ต้องการรู้แค่ว่าจะจำแนก

ข้อมูลว่าอยู่คลาสอะไรเท่านั้น ถ้าต้องการรู้จริงๆ ก็ค่อยคำนวณเอาจากข้อมูล training หรือหาจากการ normalize ค่า probability

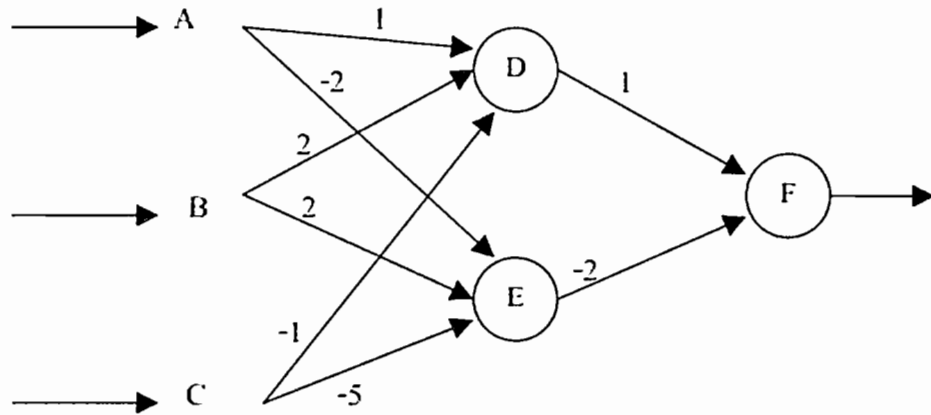
### นิวรอนเน็ตเวิร์ก (Neuron Network) [15]

นิวรอนเน็ตเวิร์ก คือระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลซึ่งรวมคุณสมบัติของไปโอลอดจิกคอลนิวรอนเน็ตเวิร์ก ถูกพัฒนาขึ้นโดยโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการเรียนรู้ของมนุษย์ (เลียนแบบการทำงานของสมอง) และจะเรียนรู้จากชุดข้อมูลของชุดความรู้เทรนนิ่งเซต นิวรอนเน็ตเวิร์ก ประกอบด้วยหน่วยความจำจำนวนมากเรียกว่า นิวรอน (Neurons) เซล (Cells) หรือ โหนด (Nodes) แต่ละนิวรอนต่อกันโดยคอนเนกชันลิงค์ (Connection Link) ที่มีค่าน้ำหนักของมันอยู่ในแต่ละการเชื่อมต่อ โดยค่าน้ำหนักจะแสดงรายละเอียดที่เน็ตเวิร์กใช้ในการแก้ปัญหา โดยนิวรอนเน็ตเวิร์กถูกใช้ในการแก้ปัญหาย่างกว้างขวาง เช่น การเก็บและการเรียกข้อมูล การแยกประเภทของข้อมูล การเปลี่ยนจากรูปแบบของอินพุท (Input) ให้อยู่ในรูปแบบของเอาต์พุท (Output) ความสามารถในการ ตรวจสอบรูปแบบของข้อมูลที่คล้ายคลึงกับความคิดของมนุษย์ เป็นต้น ถึงแม้ว่านิวรอนเน็ตเวิร์ก สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานหลายๆ ชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่นิวรอนเน็ตเวิร์ก ก็ยังมีข้อเสียอยู่บ้าง ดังนี้

1. นิวรอนเน็ตเวิร์กเป็นวิธีที่ยากต่อการทำความเข้าใจใน โมเดลที่ถูกผลิตออกมา
2. นิวรอนเน็ตเวิร์กมีคุณสมบัติที่ไวต่อรูปแบบของอินพุท ถ้าเราแทนข้อมูลด้วยรูปแบบที่ แตกต่างกันก็จะสามารถผลิตผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกมา ดังนั้นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ ข้อมูลจึงเป็นส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่ง

Neural networks สามารถใช้ได้ดีกับปัญหา classification, regression และ clustering เทคนิคนี้มักถูกเรียกว่า “black box” เนื่องจากการทำงานของมันมีความซับซ้อนมากกว่าเทคนิคอื่นๆ ค่อนข้างมาก ผลลัพธ์ที่ได้ก็ยากต่อการทำความเข้าใจ





ภาพที่ 28 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม

ตัวอย่างเช่น (ภาพที่ 28) แสดงผลลัพธ์ของการใช้เทคนิคแบบ Neural networks ในการวิเคราะห์ปัญหาความเสี่ยงของการให้กู้เงิน ซึ่งประกอบด้วยจุด 6 จุด A-F โดยที่ A, B, C เป็นจุดที่เป็นข้อมูลเข้า ซึ่งแทนตัวแปรอิสระหนี้สิน (debt), รายได้ (income) และสถานภาพสมรส (Married) ในขณะที่จุด F เป็นผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ แทนตัวแปรตามคือ ความเสี่ยง (risk) และตัวเลขที่กำกับอยู่ตามเส้นลูกศรคือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) เป็นต้น

ถึงแม้ว่าเทคนิคนี้จะทำงานได้ดีกับปัญหา classification, regression และ clustering ก็ตามแต่มันเป็นเทคนิคที่ค่อนข้างซับซ้อนกว่าเทคนิคอื่น ความซับซ้อนและการไม่สามารถอธิบายได้ของผลลัพธ์ มักทำให้ผู้ใช้หลีกเลี่ยงเทคนิคนี้ อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ก็มีข้อดีที่สำคัญที่ไม่มีในเทคนิคอื่น ๆ ก็คือ เทคนิคนี้ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับชนิดของความสัมพันธ์ เช่น เทคนิคแบบ neural networks สามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับสัดส่วนของตัวแปรอิสระ 2 ตัวได้ ซึ่งทำได้ยาก ถ้าใช้เทคนิคแบบ Decision tree หรือ Naïve-Bayes นอกจากนี้ เทคนิคแบบ Neural Networks ยังไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่เป็นแบบตรีโกณมิติ (trigonometric) หรือ logarithmic ด้วย ในการใช้งานจริงนั้น เทคนิคแบบ Decision tree หรือ Naïve-Bayes อาจให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องเพียงพอกับความต้องการ แต่ถ้าต้องการความแม่นยำมาก ๆ แล้ว เทคนิคแบบ Neural networks อาจเป็นหนทางที่ดีที่สุด ทางเดียวที่จะรู้ว่าควรใช้เทคนิคแบบ Neural networks หรือไม่ ก็คือ การเปรียบเทียบความเที่ยงตรงของแบบจำลองกับเทคนิคอื่น (Decision tree หรือ Naïve-Bayes) ถ้าไม่ได้ดีกว่ากันอย่างเห็นได้ชัด ก็ควรเลือกเทคนิคอื่น แต่ถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองของเทคนิค Neural networks มีความเที่ยงตรงกว่าอย่างเห็นได้ชัด นั่นอาจหมายถึงเรา

ต้องทำการปรับปรุงแบบจำลอง ของเทคนิค Decision tree หรือ บางทีการใช้เทคนิคแบบ Neural networks อาจเหมาะสมสำหรับปัญหานี้มากที่สุดก็ได้

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎี ที่ทางผู้วิจัยได้มีการศึกษาซึ่งเป็นพื้นฐานในการทำงานวิจัย และในงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำแนวความคิดตามหลักทฤษฎีดังต่อไปนี้ มาประยุกต์ใช้ ได้แก่

#### การประยุกต์ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ทำการศึกษางานวิจัยทางด้านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ และได้แบ่งแยกตามหัวข้อในการศึกษาดังนี้

#### เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้และการประยุกต์ใช้งาน

มีหลายบทความที่อธิบายเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ ได้แก่ Chee-Yee Chong และ S.P. Kumar (2003) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges" [17]; Deborah Estrin, David Culler, และ Kris Pister (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Connecting the Physical World with Pervasive Networks" [18]; G.J. Pottie และ W.J. Kaiser (2000) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Wireless Integrated Sensor Networks" [19]; และ I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, และ E. Cayirci (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "A Survey on Sensor Networks" [20] โดยผลงานวิจัย ทั้ง 4 พยายามให้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ การประยุกต์ใช้ในแบบต่างๆ (เช่น การประยุกต์ใช้ในค่ายทหาร, การประยุกต์ใช้เป็นเครื่องตรวจจับภัยพิบัติ, การประยุกต์ใช้ในการตรวจจับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงในตัวคนไข้และในโรงพยาบาล, การประยุกต์ใช้ในบ้าน ฯลฯ) นอกจากนี้ งานวิจัยดังกล่าวยังกล่าวถึง ข้อจำกัดและประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้

#### การออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้

เอกสารเกี่ยวกับการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ ได้แก่ Robert Faludi (2010) เสนอผลงานเขียนในหนังสือชื่อ "Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing" [21] ซึ่งแนะนำ วิธีการใช้โปรแกรมเครื่องมือสำเร็จรูปในการพัฒนาเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ได้ง่าย รวมถึงการติดตั้งเครื่องเกตเวย์เพื่อให้เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สามารถ

เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต; N. Katenka, E. Levina, และ G. Michailidis (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “A Cost-Efficient Approach to Wireless Sensor Network Design” [22] ซึ่งออกแบบเครือข่ายโดยการวางอุปกรณ์รับรู้แบบสุ่ม เป้าหมายหลักของงานวิจัยชิ้นนี้คือการประหยัดต้นทุนโดยรวมของเครือข่ายให้ได้มากที่สุด โดยที่เครือข่ายต้องสามารถครอบคลุมพื้นที่ที่กำหนดไว้และอุปกรณ์ทุกตัวในเครือข่ายสามารถติดต่อกันได้; A. Tiwari, P. Ballal, และ F. Lewis (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance” [23] โดยได้เสนอการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สำหรับการส่งข้อมูลแบบทันที (Real-time) โดยได้พัฒนาทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางสำหรับการเฝ้าสังเกตเครื่องจักรกล ระบบที่ถูกลำเสนอได้คำนึงถึงรูปแบบการวางอุปกรณ์รับรู้และเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลที่ทำให้ประหยัดพลังงาน; Chiranjib Patra, Anjan Guha Roy, Samiran Chattopadhyay, และ Parama Bhaumik (2010) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Designing Energy-Efficient Topologies for Wireless Sensor Network: Neural Approach” [24] โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเส้นประสาท (Neural network) ในการวางจุดที่ตั้งของอุปกรณ์รับรู้แต่ละตัวการออกแบบจุดที่ตั้งดังกล่าวมุ่งเน้นไปในเรื่องการประหยัดพลังงาน นอกจากนี้เครือข่ายสามารถปรับจุดที่ตั้งของอุปกรณ์ได้เองเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป

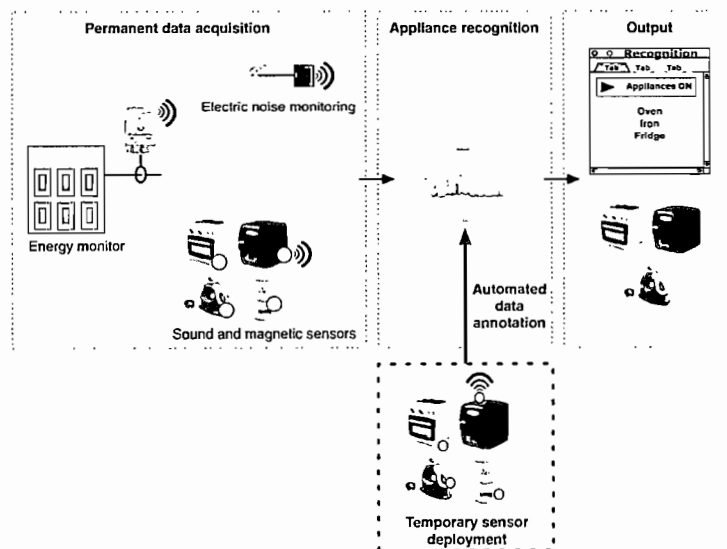
### การประยุกต์ใช้เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ

เอกสารการวิจัยที่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สำหรับเฝ้าสังเกตเฉพาะทาง ได้แก่ Heemin Park, Jeff Burke, และ Mani B. Srivastava (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Design and implementation of a wireless sensor network for intelligent light control” [25] โดยได้เสนอระบบควบคุมความสว่างของไฟสำหรับการผลิตสื่อเพื่อสันทนาการ ระบบควบคุมไฟดังกล่าวใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) เพื่อเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าส่องสว่างของไฟในจุดต่าง ๆ ให้เร็วที่สุด เพื่อที่จะฉายไปที่บุคคลหรือวัตถุเป้าหมายที่กำลังเคลื่อนที่ โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จะเป็นไปตามที่ผู้ตั้งค่าได้ทำการตั้งค่าไว้ตั้งแต่แรก; C. Sharp, S. Schaffert, A. Woo, N. Sastry, C. Karlof, S. Sastry, D. Culler (2005) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Design and implementation of a sensor network system for vehicle tracking and autonomous interception” [26] โดยได้นำเสนอเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของพาหนะของสายลับและช่วยหุ่นยนต์ไล่ล่าในการจับพาหนะของสายลับ ระบบเครือข่ายดังกล่าวมีกลวิธีในการเลือกผู้นำอัตโนมัติ, การเลือกเส้นทาง, การรวมข้อมูลไว้ด้วยกันเพื่อลดขนาดของข้อมูล และการควบคุม

หุ่นยนต์แบบปิด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและใช้คุณสมบัติเชิงพื้นที่และทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมซึ่งทำให้การออกแบบง่ายขึ้นและใช้ได้จริงในภาคสนามมากขึ้น; Thangavelu, A., K. Bhuvanewari and K. Kumar (2007) ได้เสนอระบบติดตามและนำทางยานพาหนะโดยใช้ WiFi ในการติดต่อสื่อสาร [27]; Erin-Ee-Lin Lau, Boon-Giin Lee, Seung-Chul Lee, and Wan-Young Chung (2008) นำเสนอวิธีระบุตำแหน่งและตรวจจับวัตถุทั้งในที่ร่มและกลางแจ้งอย่างแม่นยำโดยใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย (CC2431 Chipcon, นอร์เวย์) [28] ที่ใช้มาตรฐาน IEEE802.15.4 แบบเดียวกับ Zigbee โดยที่อุปกรณ์จะทำการคำนวณและประมาณค่าเพื่อระบุตำแหน่งโดยใช้ความเข้มของสัญญาณ วิธีการนี้จะทำการคำนวณระยะทางจากความเข้มของสัญญาณการรับส่งระหว่างโหนดที่ใช้อ้างอิง และโหนดที่ต้องการระบุตำแหน่ง

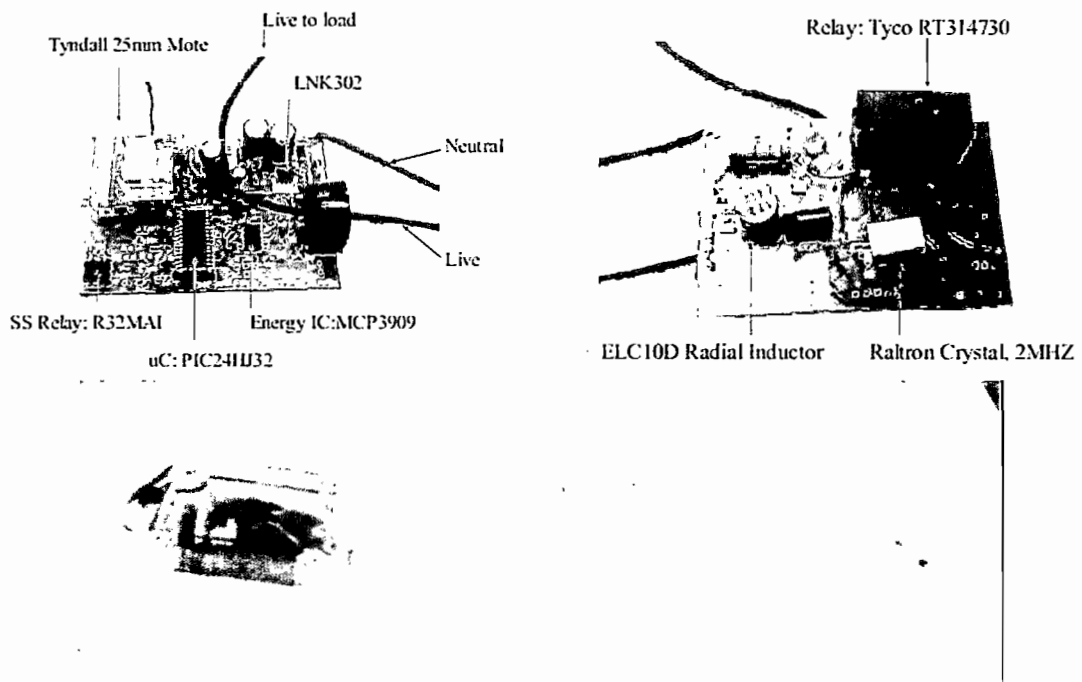
### การตรวจวัดเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

A. Schoofs, A. Guerrieri, D.T. Delaney, G.M.P. O'Hare, and A.G. Ruzzelli (2010) ได้นำเสนองานวิจัยเรื่อง “ANNOT: Automated Electricity Data Annotation Using Wireless Sensor Networks” [29] ซึ่งมีแนวคิดในการใช้ระบบ Wireless Sensor Network เข้ามาใช้ในการตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ที่มีการบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากโหนดเซ็นเซอร์ไร้สายราคาถูก โดยโหนดเซ็นเซอร์จะถูกวางติดอยู่กับเครื่องใช้และแปลงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและความสัมพันธ์กับข้อมูลไฟฟ้าอัตโนมัติสร้างบันทึกย่อของข้อมูลกับกิจกรรมต่างๆ ทำให้รู้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเหล่านั้นทำงานอยู่หรือไม่ (ภาพที่ 29)



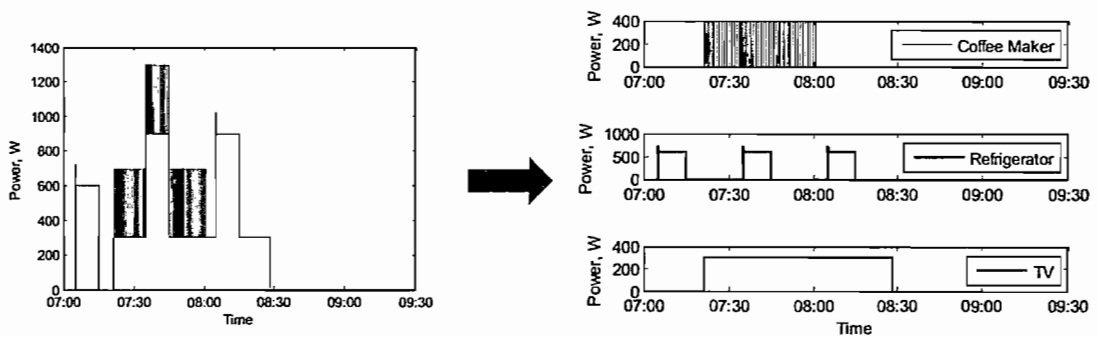
ภาพที่ 29 โครงสร้างการตรวจจับอุปกรณ์ไฟฟ้า

S. O'Connell, J. Barton, E. O'Connell, B. O'Flynn, E.M. Popovici, S.C. O'Mathuna, A. Schoofs, A.G. Ruzzelli, and G.M.P. O'Hare (2011) ได้เสนองานวิจัย "Remote Electricity Actuation and Monitoring mote" [30] เป็นอีกงานวิจัยหนึ่งที่น่าเสนอแนวคิดในการลดการบริโภคพลังงานในไอร์แลนด์ ซึ่งระบบการตรวจสอบและควบคุมจากแหล่งที่มาของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เป็นสิ่งสำคัญเพื่อลดพลังงานที่สิ้นเปลืองลง โดยโหนดที่วัดมีหม้อแปลงกระแสเชื่อมกับ IC วัดพลังงาน ซึ่งวัดกระแสและแรงดันซึ่งเป็นค่าอย่างต่อเนื่อง โดยส่วน PIC24 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะคำนวณ RMS กระแสและแรงดัน เป็นค่าพลังงานออกมา ค่าผลลัพธ์นั้นจะสามารถส่งผ่านระบบไร้สายบนมาตรฐาน 802.15.4 โดยเรียกการออกแบบโหนดนี้ว่า REAM (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 30 การออกแบบโหนด REAM

Michael Zeifman, Craig Akers, Kurt Roth (2011) ได้เสนองานวิจัย "Nonintrusive appliance load monitoring (NIALM) for energy control in residential buildings" [31] ใช้วิธีการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเบรกเกอร์หลักจากโหนดของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ โดยเรียกการตรวจสอบดังกล่าวว่า NIALM (ภาพที่ 31) ซึ่งใช้การตรวจวัดพลังงานเพียงจุดเดียว เพื่อวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าบ้านทั้งหมด รวมทั้งเทคนิคการประมวลผลสัญญาณพิเศษตามช่วงเวลาการใช้งานอุปกรณ์ เพื่อจำแนกอุปกรณ์แต่ละชนิดออกมา



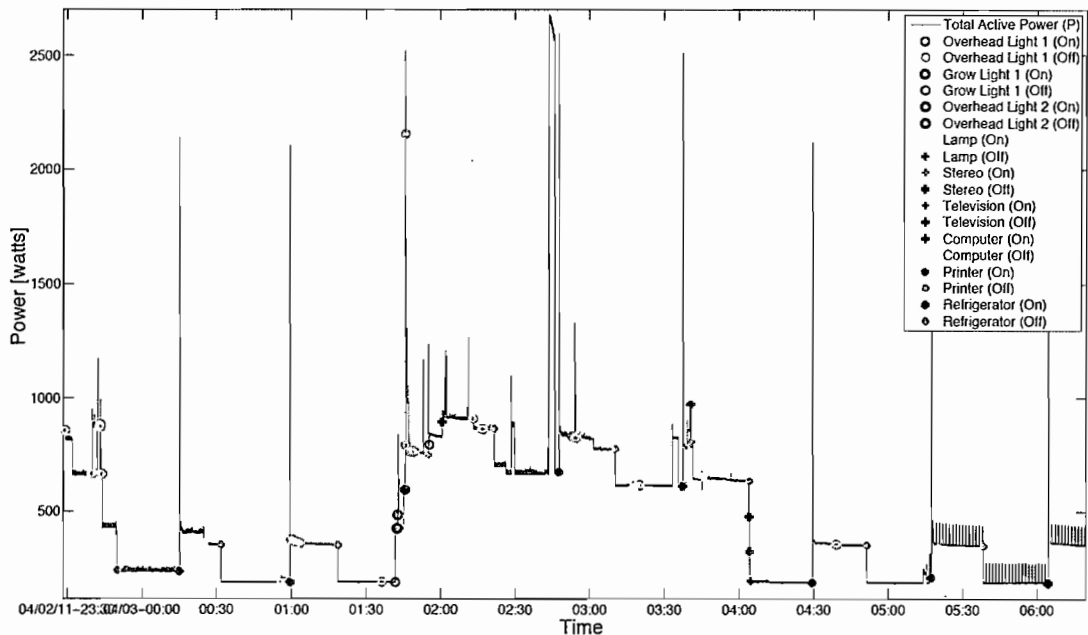
ภาพที่ 31 อุปกรณ์ NALM

ในงานวิจัย NIALM นี้ได้แยกลักษณะของการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการเปิดปิดนี้  
ได้เป็น 4 ชนิด

1. อุปกรณ์ที่เปิดใช้งานตลอดเวลา (Permanent Consumer Devices) อุปกรณ์ประเภท  
นี้มีการใช้ไฟฟ้าอยู่ตลอด 24 ชม เช่น อุปกรณ์สัญญาณกันขโมย ตัวตรวจจับไฟไหม้ กล้อง CCTV
2. อุปกรณ์ที่มีการเปิดปิด (On-Off Appliances) เป็นอุปกรณ์ที่เวลาใช้งานมีแค่การเปิด  
ปิด โดยไม่มีการแยกสถานะ เช่น หลอดไฟ
3. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนสถานะ (Finite state machines or multistate devices)  
อุปกรณ์ประเภทนี้มีการเปลี่ยนสถานะที่แน่นอน โดยรอบเปลี่ยนจะเกิดขึ้นจากการใช้ชีวิตประจำวัน  
หรือรายสัปดาห์ ตัวอย่าง เช่น เครื่องซักผ้า พัดลม เครื่องดูดฝุ่น หรือเครื่องอบผ้า.
4. Continuously variable consumer devices อุปกรณ์ประเภทนี้มีการใช้งานใน  
ลักษณะที่มีการปรับค่าแบบต่อเนื่องเป็นระยะของการเปลี่ยนแปลงสถานะ ตัวอย่างเช่น ไฟหรี่ สว่าน  
แบบปรับความเร็ว

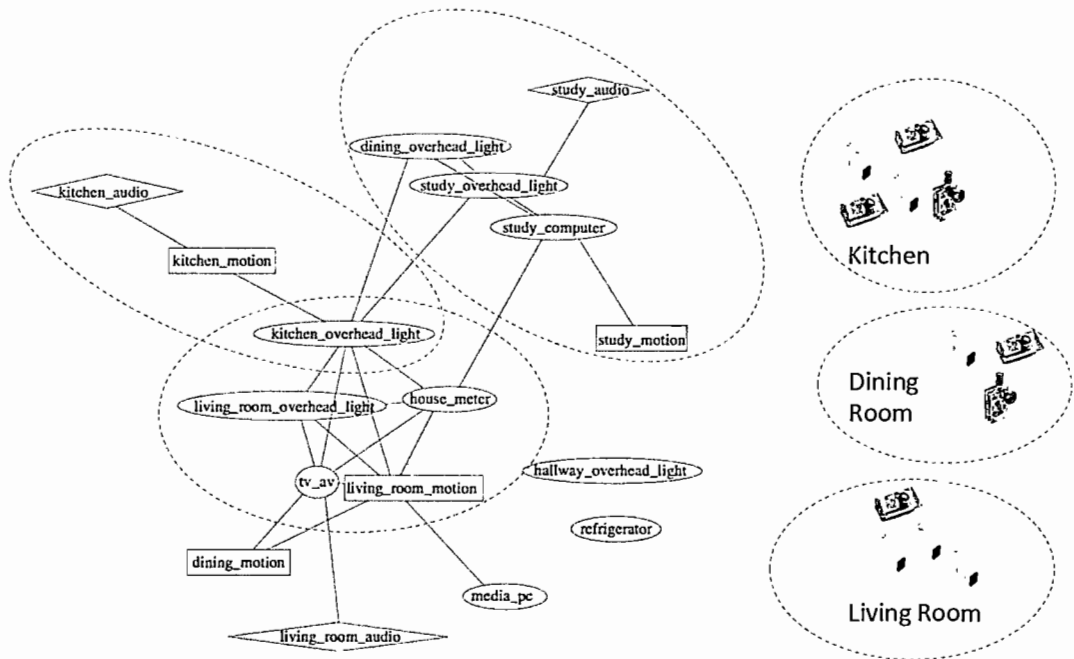
เอกสารงานวิจัยเรื่อง Appliance Classification and Energy Management Using  
Multi-Modal Sensing (Anthony Rowe, 2011) [32] มีความเกี่ยวข้องกับงานของงานวิจัยนี้มากที่สุด  
(มีเพียงเอกสารเดียวที่วิจัยเรื่องนี้) โดยในส่วนของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำมาศึกษาเพิ่มเติมโดยเน้น  
โมเดลของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการตรวจจับการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ กับลักษณะการ  
ทำงานแบบ Clustering Wireless Sensor Network และการนำหลักการ Multi Modal Sensing มา  
เป็นหลักการในการแยกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งใช้การใช้อัตราการใช้พลังงาน (Watt) ของ  
เครื่องใช้ไฟฟ้าในการจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าจากหลายปัจจัยในระบบการวัดพลังงานไฟฟ้า

(ภาพที่ 32) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์การใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัว ทั้งนี้ยังเป็นหลักการที่ได้รับการยอมรับจากงานวิจัย และโครงการที่เกี่ยวข้องจาก Carnegie Mellon University ซึ่งนับเป็น Best Poster Award จากงาน BuildSys 2011



ภาพที่ 32 โหลดการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าแยกตามช่วงเวลา

ในงานวิจัยที่ได้ศึกษานี้ ได้มีการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยดูจากโหลดการใช้ของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละห้อง (ภาพที่ 33) ซึ่งค่าที่วัดออกมาได้นี้มาจากการตรวจจับสนามแม่เหล็ก Electromagnetic field (EMF) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ และยังใช้ควบคู่ไปกับการตรวจจับความเคลื่อนไหว ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN) และนำข้อมูลในการตรวจจับสัญญาณนั้นมาจำแนกประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้า ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานเมื่อมีผู้ใช้งาน เช่น โทรทัศน์ (Active Appliances), อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานตลอดเวลา (Background Appliances) เช่น ตู้เย็น และ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานเมื่อมีผู้อยู่ใช้งานหรือไม่ใช้งานก็ได้ (Passive Appliances) เช่น เครื่องซักผ้า ซึ่งทำยสุดแล้วจะนำมาตรวจหาความผิดปกติและพลังงานที่สูญเสียไปโดยไม่จำเป็นของการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ



ภาพที่ 33 อุปกรณ์ตรวจจับแยกตามห้องที่ใช้งาน

### การทำเหมืองข้อมูลและการจำแนกประเภทข้อมูล (Data Mining and Classification)

หลังจากที่ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆมาแล้ว ทางผู้วิจัยจำเป็นต้องแยกประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นออกมาให้ได้เพื่อใช้ในแยกประเภทการตรวจสอบความผิดปกติและพลังงานที่สูญเสียไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดออกมา ทางผู้วิจัยได้มีการศึกษาบทความทางวิชาการ และข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากแหล่งข้อมูลการทำเหมืองข้อมูล ต่างๆ ดังนี้

### การทำเหมืองข้อมูลเพื่อสร้างตัวแยกประเภทโดยใช้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

จากงานวิจัยของ Gehtke, J., Ramakrishnan, R., Ganti, V (1998) เรื่อง “A framework for fast decision tree construction of large datasets” [33] มีการนำต้นไม้ช่วยการตัดสินใจ (Decision tree) มาช่วยในการจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งต้นไม้ช่วยการตัดสินใจ (Decision tree) นี้เป็นวิธีหนึ่งที่สำคัญในการจำแนกประเภทข้อมูล โดยต้นไม้ช่วยการตัดสินใจจะมีลักษณะคล้ายโครงสร้างต้นไม้ที่แต่ละโหนดแสดงคุณลักษณะ (attribute), แต่ละกิ่งแสดงผลในการทดสอบ และลีฟโหนด (leaf node) แสดงกลุ่มที่กำหนดไว้ ซึ่งต้นไม้ช่วยการตัดสินใจนี้ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนเป็นกฎการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification rule)



ในการทำเหมืองข้อมูลเพื่อสร้างตัวแยกประเภทโดยใช้ต้นไม้การตัดสินใจ มีผู้วิจัยอย่างแพร่หลาย จากผู้นำเสนองานวิจัยต่างๆดังนี้ กวีวัฒน์ อ่องล่อ (2554) ได้วิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ระดับความน่าเชื่อถือของลูกหนี้เกษตรกรของมูลนิธิโครงการหลวงด้วยต้นไม้ของการตัดสินใจ” (Decision Tree) [34] ซึ่งใช้ขั้นตอนวิธีต้นไม้การตัดสินใจชื่อ ID3 เพื่อหาระดับความน่าเชื่อถือของลูกหนี้เกษตรกรมูลนิธิโครงการหลวง โดยผู้วิจัยแบ่งช่วงของจำนวนหนี้ แล้วใช้ขั้นตอนวิธี ID3 ในการสร้างต้นไม้ช่วยให้ได้ทางเลือกของการตัดสินใจ เนื่องจาก ID3 เป็นขั้นตอนวิธีต้นไม้แบบเบื่องต้นงานวิจัยนี้สามารถถูกพัฒนาให้ดีขึ้นด้วยการใช้ขั้นตอนวิธี C4.5 หรือ C5.0 ชลธิศา พลทองมาก (2553) วิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ความเสี่ยงการเป็นโรคไวรัสตับอักเสบซี โดยต้นไม้ตัดสินใจ” ซึ่งใช้ต้นไม้การตัดสินใจและทฤษฎีของเบย์เพื่อวิเคราะห์และพยากรณ์ความเสี่ยงการเป็นโรคไวรัสตับอักเสบซี (HepatitisC : HCV) ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ผลการทดลองพบว่า ทฤษฎีเบย์เขียนให้ค่าความแม่นยำมากกว่าค่าของต้นไม้การตัดสินใจประมาณ 0.87%

### การทำเหมืองข้อมูลเพื่อสร้างตัวแยกประเภทโดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

#### (Support Vector Machine)

ภัทรารุณี แสงศิริ (2553) ใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเพื่อค้นหากลุ่มย่อยของยีนที่มีอำนาจจำแนก ผู้วิจัยนำข้อมูลยีนของโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวแบบเฉียบพลัน (Acute Leukemia) [35] ซึ่งมีมิติจำนวนมากถึง 7,129 มิติมาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ALL และ AML จากนั้นทำการลดมิติข้อมูลแล้วนำมาเป็นข้อมูลอินพุตของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เพื่อคัดแยกประเภทของยีน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลที่มีมิติลดลง (เหลือ 36 มิติ) ช่วยให้ความแม่นยำเพิ่มจากเดิมประมาณ 15%; สุรสิทธิ์ อุษัยปัดฉาวงศ์ (2553) ใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการรู้จำลักษณะใบหูเพื่อระบุตัวบุคคล [36] โดยข้อมูลที่นำมาใช้คือ ฐานข้อมูลภาพถ่ายใบหูจาก University of Science and Technology Beijing (USTB) จำนวน 77 ใบหู ใบหูละ 4 ภาพ ผู้วิจัยได้เสนอ 2 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนการหาตำแหน่งของใบหู และ 2) ขั้นตอนการรู้จำใบหู ในขั้นตอนแรก ผู้วิจัยทดลองใช้ 2 วิธีเพื่อหาตำแหน่งของใบหู โดยวิธีแรกใช้โครงสร้างของใบหู และวิธีที่ 2 ใช้การแปลงเวกเตอร์ของภาพเพื่อเป็นข้อมูลคุณลักษณะของตัวบุคคล ในขั้นตอนที่ 2 นี้ผู้วิจัยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเพื่อรู้จำลักษณะใบหู จากการทดลองพบว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้ใบหูระบุตัวบุคคล (ความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 86.8); อภิรดา บุญเรืองจักร (2552) ใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการรู้จำการขยับมือเพื่อใช้แทนคำสั่งที่ต้องการต่อคอมพิวเตอร์ [37] ข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการรู้จำประกอบไปด้วยข้อมูลภาพนิ่งของมือในลักษณะต่าง ๆ ผ่านการประมวลผลภาพเบื้องต้น ก่อนที่จะนำไปสกัดคุณลักษณะสำคัญ

สำหรับนำข้อมูลไปประมวลผลกับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน จากการทดลองพบว่า ระบบสามารถรู้จำการขยับมือได้ถูกต้องเฉลี่ย 94.46 %; อธิษชัย อินฺทูป (2552) ใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการจำแนกอารมณ์บนใบหน้า 6 อารมณ์ [38] คือ โกรธ, ไม่พอใจ, กลัว, ดีใจ, เศร้า และประหลาดใจ โดยเริ่มจากการสกัดคุณลักษณะจากตำแหน่งบนใบหน้า 16 ตำแหน่ง จากนั้นนำคุณลักษณะดังกล่าวมาเป็นข้อมูลเข้ากระบวนการรู้จำของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน จากการทดลองพบว่า ระบบสามารถจำแนกอารมณ์โกรธได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 100% แต่ประสิทธิภาพการจำแนกอารมณ์กลัวและเศร้ามีประสิทธิภาพ 68.75%; นิรชรา ไชยแสง (2553) ใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการตรวจสอบลายนิ้วมือ [39] ผู้วิจัยเปรียบเทียบผลการใช้ฟังก์ชันเคอร์เนลแบบต่าง ๆ 5 ฟังก์ชัน จากการทดลองพบว่าฟังก์ชันเคอร์เนลแบบ Linear, Quadratic, RBF และ Polynomial ให้ประสิทธิภาพเท่ากัน (100 %) แต่ ฟังก์ชันเคอร์เนลแบบ MLP ให้ผลน้อยกว่ามากถึง ~17%

#### การทำเหมืองข้อมูลแบบหากฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นระยะ

Akshat Surana, R. Uday Kiran, และ P. Krishna Reddy (2554) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง “An Efficient Approach to Mine Periodic-Frequent Patterns in Transactional Databases” [40] ซึ่งได้กล่าวถึงการทำเหมืองข้อมูลแบบหากฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นระยะ โดยที่ผู้เขียนได้บ่งชี้ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับการเรียกใช้งานข้อมูลในระบบฐานข้อมูลเพียงชั่วขณะของรูปแบบการทำธุรกรรมที่พบบ่อย ที่เรียกว่า “Periodic-frequent” ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดแบบเดียว “Single Constraints” ทำให้เกิดปัญหาการค้นหาที่ยากลำบากและต้องเกิดขึ้นบ่อยๆ จากปัญหานี้ทำให้คณะวิจัยได้นำเสนอรูปแบบที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยใช้ความคิดของข้อจำกัดหลายรูปแบบ “Multi Constraints” ซึ่งผลการทดลองของผู้เขียนแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการนำเสนอวิธีนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีเดิม

ในโครงการวิจัยที่นำเสนอนี้ คณะผู้วิจัยมีโครงการที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีข้างต้น โดยเน้นโมเดลของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการตรวจจับการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์กับลักษณะการทำงานแบบ Clustering Wireless Sensor Network โดยปรับปรุงหลักการ Multi Modal Sensing เพื่อใช้ในการแยกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า และใช้ข้อมูลจากการตรวจจับหลายชนิดมากขึ้น (เช่น ใช้ทั้งอัตราการใช้พลังงาน อุณหภูมิรอบข้าง และการเคลื่อนไหวของคน) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์การใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัว

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

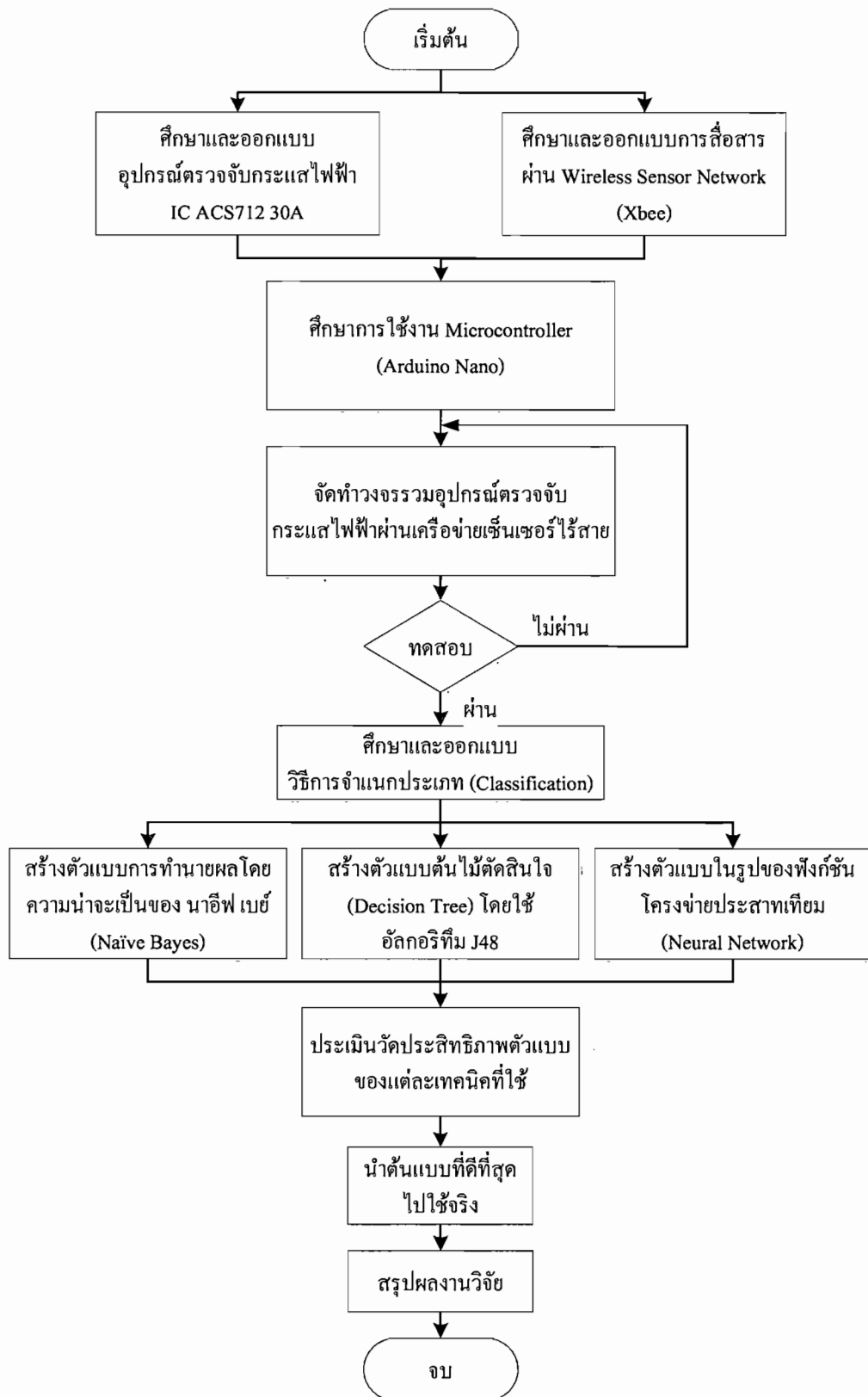
การออกแบบระบบการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า มุ่งเน้นที่การสร้างระบบที่สามารถตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อนำผลมาวิเคราะห์รูปแบบ (Pattern) การใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด จากนั้นนำมาจำแนกข้อมูลเพื่อจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

#### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย การออกแบบระบบการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เริ่มจากการศึกษาข้อมูลของตัวอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งใช้ IC เบอร์ ACS712 และอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อให้ทราบถึงการตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้า แล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย หลังจากนั้นจึงศึกษาการนำระบบสมองกลฝังตัว Arduino Nano มาใช้งานเพื่อเป็นตัวควบคุมและสรุปผลสัญญาณข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์เซ็นเซอร์แล้วส่งออก Xbee

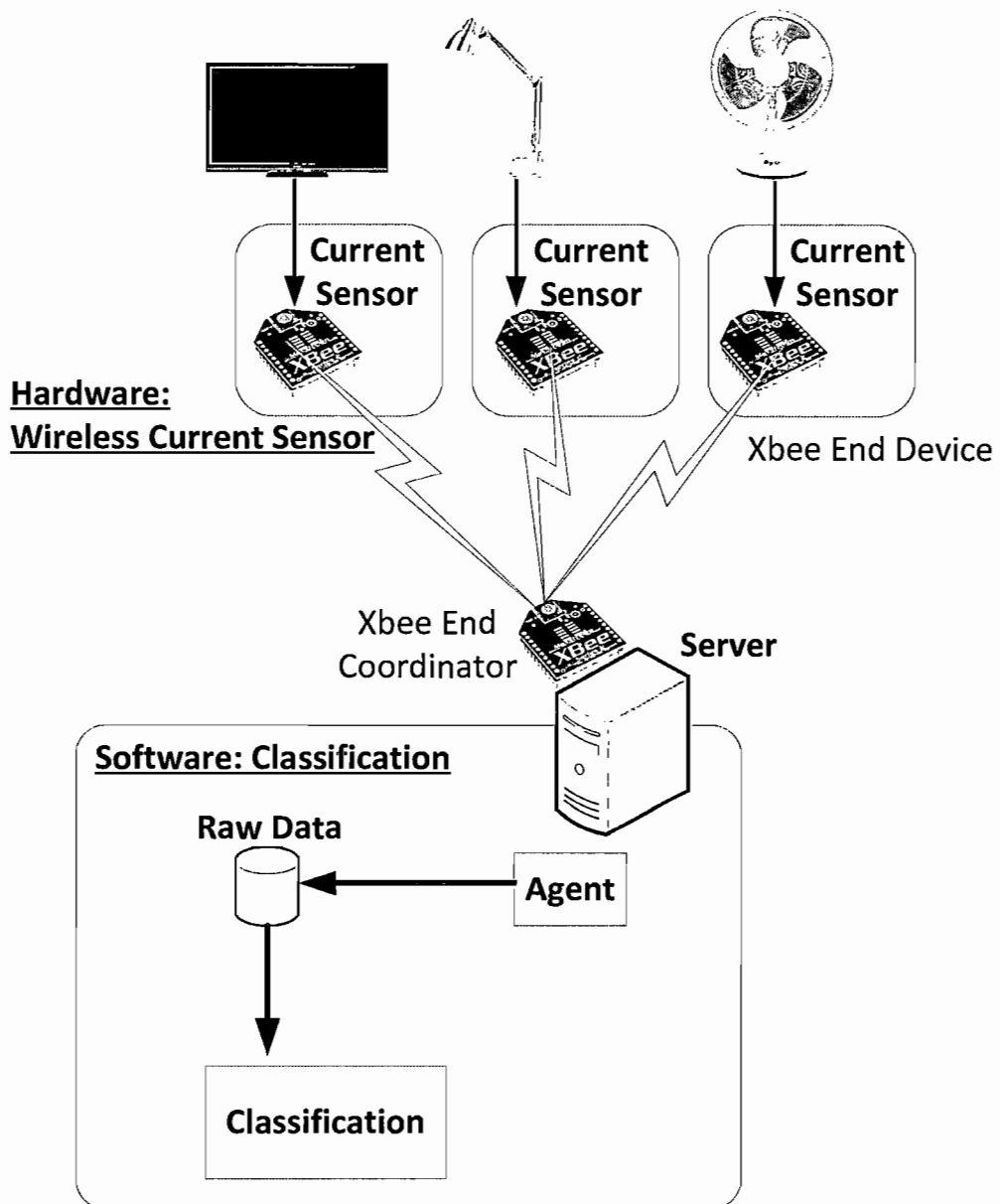
เมื่อศึกษาข้อมูลรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆที่จะนำมาใช้งานวิจัยแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การออกแบบวงจรรวมเพื่อนำอุปกรณ์ที่ออกแบบนี้ไปทดสอบวัดกับการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจริง หากผลการทดสอบไม่สามารถใช้งานได้จริงก็จะกลับแก้ไขวงจรรวมให้สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมายังเครื่องแม่ข่าย เพื่อบันทึกข้อมูลการตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ไฟฟ้าจริงลงระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกในกระบวนการการทำเหมืองข้อมูล

หลังจากนั้นจะศึกษาและจัดทำระบบการจำแนกข้อมูล โดยใช้วิธีการจำแนกประเภท (Classification) โดยในงานวิจัยนี้มีการเปรียบเทียบเทคนิคการจำแนกอยู่ 3 วิธี คือ การทำนายผลโดยความน่าจะเป็นของนาอิว เบย์ (Naïve Bayes) การสร้างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) โดยใช้อัลกอริทึม C4.5 (J48) และการสร้างตัวแบบในรูปของฟังก์ชันโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) แบบ Multilayer Perceptron เพื่อหาโมเดลที่ดีที่สุดสำหรับการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคที่ใช้ และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งานกับอุปกรณ์จริง จากนั้นจึงสรุปผลงานวิจัย สามารถแสดงเป็นแผนภูมิกระบวนการวิจัย (ภาพที่ 34)



### การออกแบบโครงสร้างของระบบ

การออกแบบโครงสร้างของระบบการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า คณะผู้วิจัยออกแบบระบบโดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ตรวจจับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด และซอฟต์แวร์ส่วนกลางทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเพื่อจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ภาพที่ 35)



ภาพที่ 35 โครงสร้างระบบจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย

ผู้วิจัยได้การออกแบบ โครงสร้างของระบบเซนเซอร์ไร้สายแบบการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นเครือข่ายแบบเมสส์ (Mesh Topology) โดยจะแบ่งโหนดออกเป็น 2 ประเภท ตามหน้าที่คือ โหนดที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างฐานข้อมูลเป็นเครื่องแม่ข่าย (Server) ส่วนที่เหลือจะเป็นโหนดส่วนที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ไร้สายแบบการใช้กระแสไฟฟ้า สามารถอธิบายการทำงานทั้งหมดได้ดังนี้

1. ที่คอมพิวเตอร์จะมี Zigbee coordinator ใช้เป็นสื่อกลางระหว่าง zigbee end device และ User interface
2. ที่อุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายแบบการใช้กระแสไฟฟ้า จะมีการเชื่อมต่อกับ zigbee end device โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานในการอ่านค่าแต่ละครั้ง

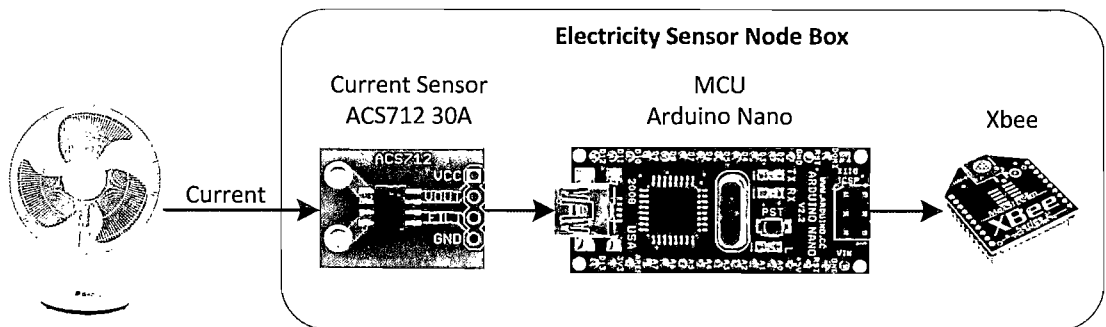
อุปกรณ์ Zigbee ที่จะนำมาใช้การทำงานจะต้องเป็นแบบเป็น Xbee serie 2 เพราะ จะรองรับระบบเครือข่ายไร้สายแบบเมสส์ (Mesh Topology) เนื่องจากสภาพแวดล้อมในบ้านมีตำแหน่งของปลั๊กไฟฟ้าที่กระจายกระจาย และบางครั้งจุดของปลั๊กไฟฟ้าอาจจะอยู่ไกลจากโหนดที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างฐานข้อมูลเป็นเครื่องแม่ข่าย (Server) ทำให้ผู้วิจัยมองว่าการใช้ระบบเครือข่ายไร้สายแบบเมสส์ ในบ้านจะดีกว่าการระบบเครือข่ายไร้สายแบบโครงสร้างต้นไม้ (Tree)

### การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ตรวจจับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้คือการออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าและส่วนการควบคุม ทั้งนี้ผู้วิจัยได้อธิบายถึงขั้นตอนวิธีการออกแบบในแต่ละส่วนไว้ ตามรายละเอียดดังนี้

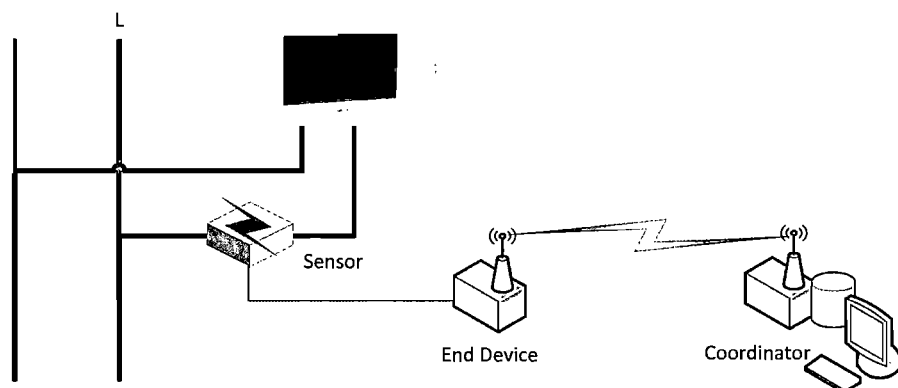
#### การออกแบบวงจรตรวจจับ (ภาคส่ง)

ในการวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าแบบต่อในวงจร (In Line) โดยใช้ไอซีตรวจสอบกระแสไฟฟ้า เบอร์ ACS712-30A [7] เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง -30A ถึง 30 A ซึ่งการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า จะแปลงกระแสไฟฟ้าที่วัดได้แล้วส่งออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยมีอัตราการแปลงค่าอยู่ที่ 66 mV/A ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้านี้ จะถูกส่งมาให้แผ่นวงจร Arduino Nano [8] ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ATMEGA 32U4 โดยมีความเร็วนาฬิกาอยู่ที่ 16 MHz เป็นตัวประมวลผล ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า จำนวน 4000 ตัวอย่าง แล้วจึงสรุปข้อมูลก่อนส่งไปให้กับเครื่องแม่ข่ายกลาง (4000 ตัวอย่างต่อการสรุปข้อมูลส่ง 1 ครั้ง) ผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) [9] โดยมีรูปแบบการทำงานทางด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์รับไร้สาย (ภาพที่ 36) และมีรูปแบบการตรวจจับการใช้กระแสไฟฟ้าของระบบดังรูป (ภาพที่ 37)



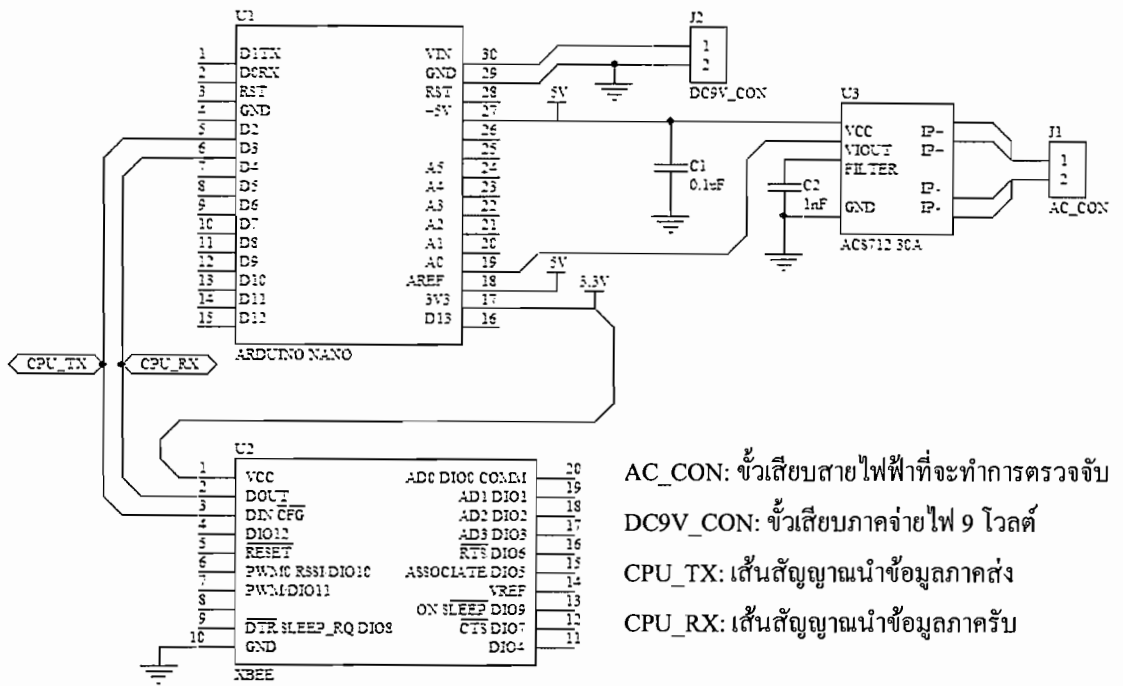
ภาพที่ 36 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

ในส่วนของ ACS712 Current Sensor Carrier -30 to +30A เป็น Sensor ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า วัดได้ทั้งกระแสไฟ DC และ AC สามารถวัดกระแสที่ไหลได้ 2 ทิศทาง ทั้งค่าบวกและค่าลบ ที่มีขนาด 30A ( $\pm 30A$ ) ให้ค่า Output เป็น Analog Voltage 66 mV/A โดยมี Center ที่ 2.5 V (มีค่า typical error น้อยกว่า 1.5%) [7]



ภาพที่ 37 รูปแบบการตรวจจัดการใช้กระแสไฟฟ้าของระบบ

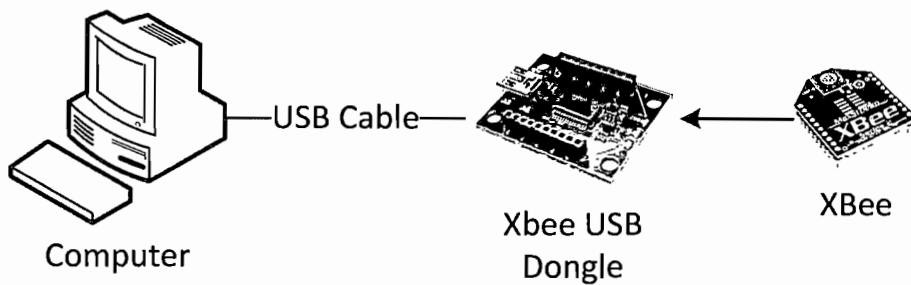
การออกแบบวงจรรวม (ภาพที่ 38) มีการกำหนดให้ตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รับข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจกระแสไฟฟ้าผ่านขาสัญญาณอนาล็อก 0 (A0) หลังจากที่ได้รับข้อมูลเข้ามาแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลทางสถิติจำนวน 4000 รายการก่อนที่จะสรุปข้อมูลเหล่านี้ส่งผ่านอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสื่อสารกับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในรูปแบบ UART โดยกำหนดขาสัญญาณ Receive (Rx) เป็นขา D3 และ Transmition (TX) เป็นขา D2 ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังเครื่องแม่ข่าย



ภาพที่ 38 การออกแบบวงจรรวม

**การออกแบบวงจรรับข้อมูลส่วนกลาง (ภาครับ)**

ส่วนของการออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของภาครับนั้นจะมีอุปกรณ์ Xbee ทำหน้าที่เป็นตัวประสานงาน (Coordinator) รับข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) แล้วส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำหน้าที่เก็บข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ



ภาพที่ 39 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของภาครับ

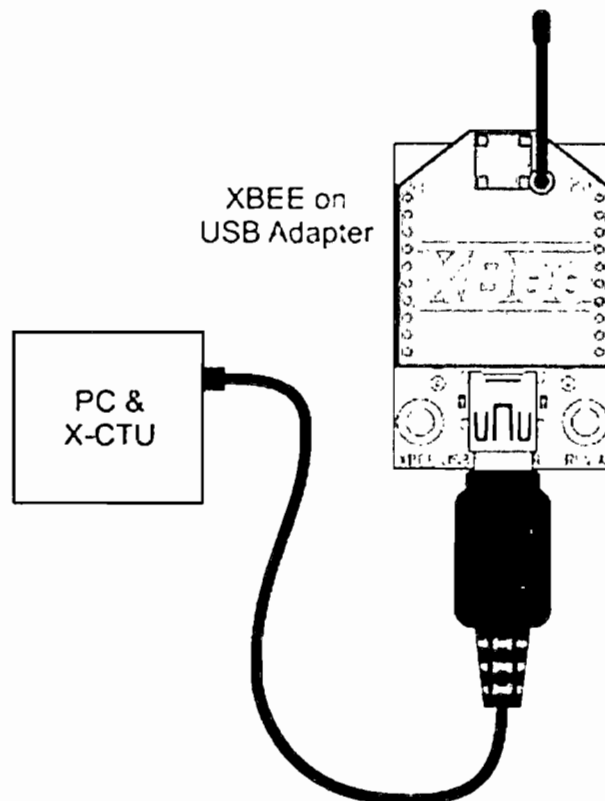


### การตั้งค่า Xbee ด้วยโปรแกรม X-CTU

ในการกำหนดค่า Parameter ต่างๆของ Xbee ต้องใช้โปรแกรม X-CTU และ Update Firmware รุ่นล่าสุดเพื่อให้ทำงานในโหมดที่ต้องการ งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม X-CTU ในการกำหนดค่า Xbee ทั้งภาครับและภาคส่ง ให้ใช้งานในลักษณะ AT Mode ด้วยวิธีการกำหนดค่าในหัวข้อถัดไป

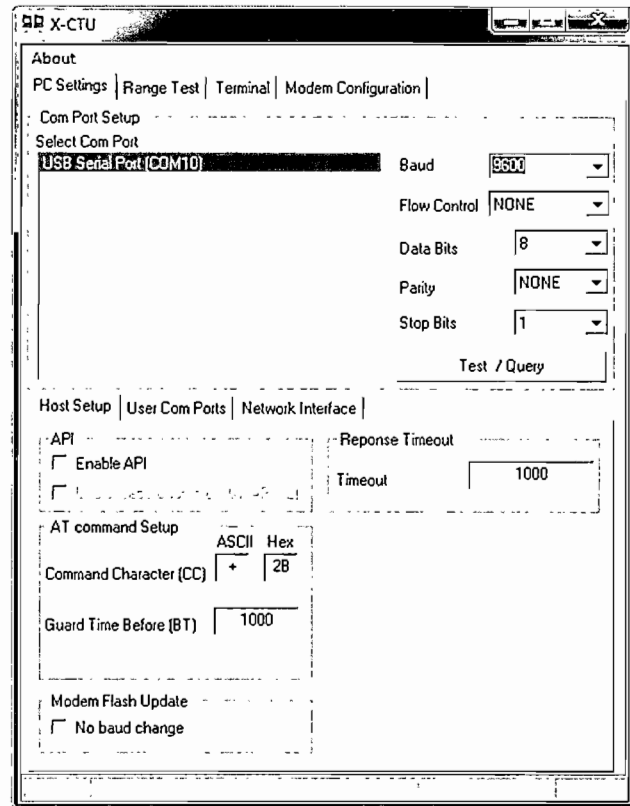
### การตั้งค่า Xbee Coordinator สำหรับภาครับ

ในการใช้งาน Xbee จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ USB dongle เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับทำงานร่วมกับ Xbee สำหรับติดต่อสื่อสารผ่าน USB Port ได้โดยตรง ซึ่งคอมพิวเตอร์จะมองเป็น Com Port (Serial UART) ซึ่งการกำหนดค่า Xbee สำหรับส่วนของภาครับซึ่งทำหน้าที่เป็นตัว ตัวประสานงาน (Coordinator) (ภาพที่ 40) มีวิธีการกำหนดดังนี้



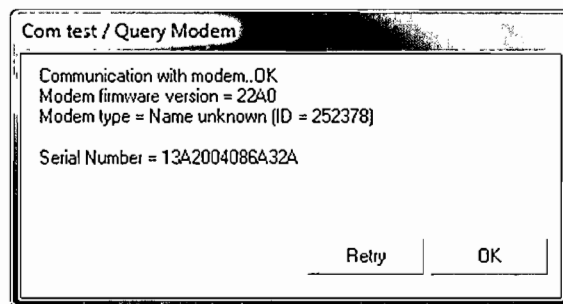
ภาพที่ 40 การเชื่อมต่อเพื่อตั้งค่า Xbee Coordinator

1. เลือก Com Port ที่ XBee ต่ออยู่ เลือก Baud Rate ที่ใช้งาน (ภาพที่ 41) และกดปุ่ม Test / Query เพื่อทดสอบ การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์



ภาพที่ 41 การเลือก Com Port และ Baud Rate ในการกำหนดค่า XBee

2. เมื่อทดสอบสามารถทำการติดต่อกับ XBee ได้แล้วจะขึ้น Dialog Box แสดงสถานะการเชื่อมต่อและ Firmware Version ภาพที่ 42



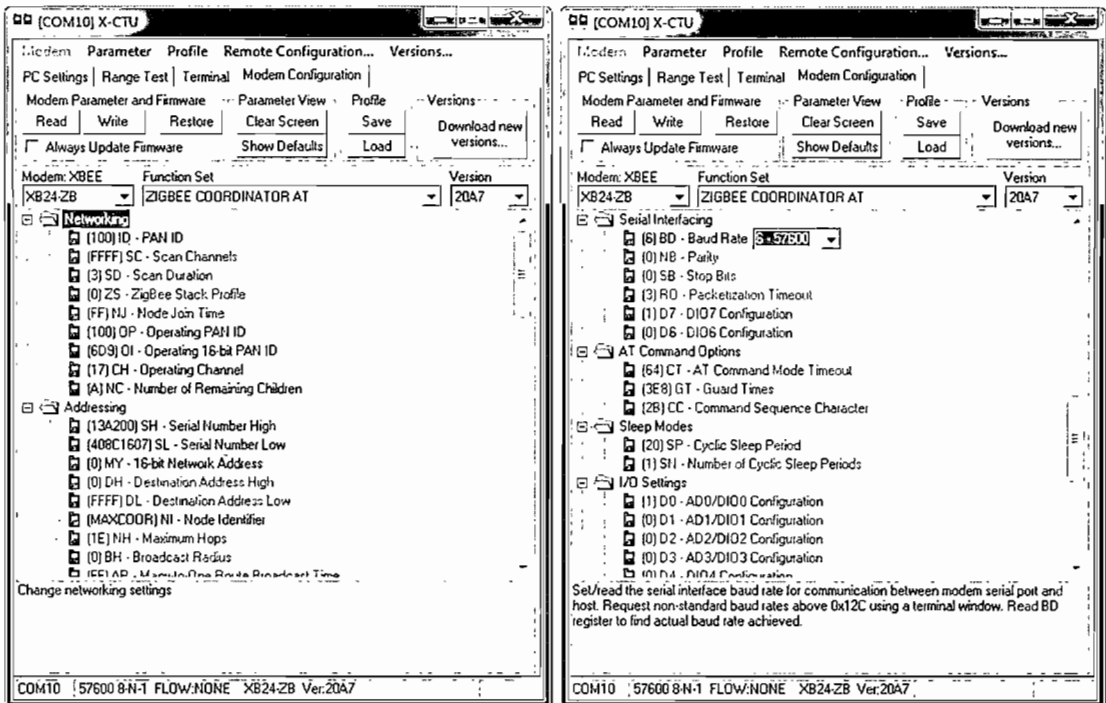
ภาพที่ 42 Dialog Box แสดงสถานะการเชื่อมต่อ

3. หลังจากนั้นเลือกที่แถบ Modem Configuration กดปุ่ม Read เพื่ออ่านค่า Parameter ต่างๆ ของอุปกรณ์ Xbee และทำการกำหนดค่าต่างๆตามรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 43, ภาพที่ 44)
- Modem : XBEE ในงานวิจัยนี้ใช้ XBEE version 2 ซึ่งรองรับ Zigbee ในที่นี้เลือก XB24-ZB เปลี่ยน Firmware ให้เป็น ZIGBEE COORDINATOR AT (ใช้กับ Zigbee รุ่น XB24-ZB )
  - Version เลือก 20A7

Modem: XBEE	Function Set	Version
XB24-ZB	ZIGBEE COORDINATOR AT	20A7

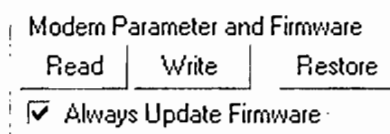
ภาพที่ 43 การกำหนด Function Zigbee Coordinator ของ XBee

- Network PAN ID (ID) กำหนดค่า 100 ในการที่จะให้ Xbee สื่อสารในเครือข่ายเดียวกัน ต้องกำหนดให้อุปกรณ์อยู่ใน PAN ID เดียวกัน
  - 16 Bit Network Address (MY) กำหนดค่า 0
  - Destination Address High (DH) กำหนดค่า 0
  - Destination Address Low (DL) กำหนดค่า 0
  - Node Identifier (NI) กำหนดค่าเป็นชื่อของ Coordinator ในที่นี้ให้ชื่อ MAXCOOR
- การกำหนดการสื่อสารของ Xbee ในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ในส่วนของ Serial Interface
- Baud Rate (BD) กำหนดค่า 6 คือ 57600
  - Parity (NB) กำหนดค่า 0 คือ No Parity
  - Stop Bits (SB) กำหนดค่า 0 คือ One Stop Bit
  - Packetization Timeout (RO) กำหนดค่า 3



ภาพที่ 44 การกำหนดค่าของตัวโปรแกรม X-CTU ของ Coordinator Device

- หลังจากที่กำหนดค่าต่างๆ ให้ Xbee เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการบันทึกโดยการกำหนดโดยเลือก Always Update Firmware แล้วกดปุ่ม Write (ภาพที่ 45)



ภาพที่ 45 การบันทึกค่าของ Xbee

### การตั้งค่า Xbee Router สำหรับภาคส่ง

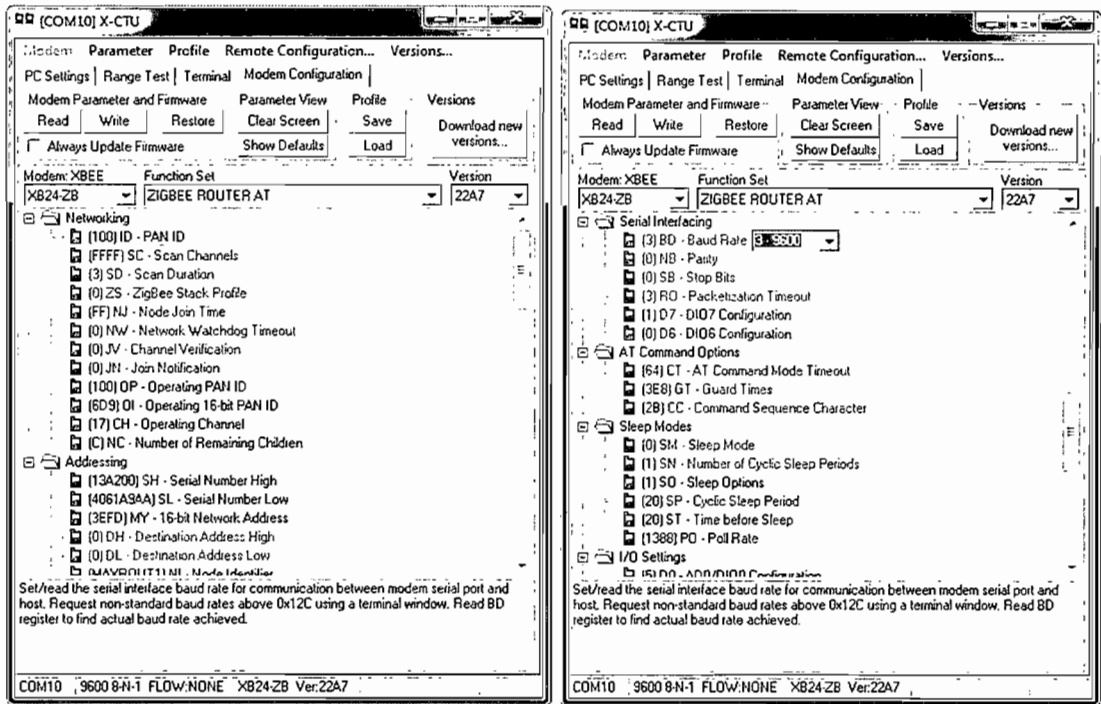
ในส่วนของภาคส่ง มีการกำหนดให้ Xbee ทำงานใน AT mode เช่นเดียวกับภาครับ ซึ่งการกำหนดค่า Parameter ต่างๆนั้นใช้โปรแกรม X-CTU เช่นเดียวกับการตั้งค่าตัว Coordinator ในภาครับ แตกต่างกันเพียงในภาคส่งนี้จะทำให้ตัวอุปกรณ์ Xbee ทำงานเป็น Router ในการส่งข้อมูลต่างๆมาให้กับตัว Coordinator มีการกำหนดค่าต่างๆดังนี้

1. เลือกที่แถบ Modem Configuration กดปุ่ม Read เพื่ออ่านค่า Parameter ต่างๆของอุปกรณ์ Xbee และทำการกำหนดค่าต่างๆตามรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 46, ภาพที่ 47)
  - Modem : XBEE ในงานวิจัยนี้ใช้ XBEE version 2 ซึ่งรองรับ Zigbee ในที่นี้เลือก XB24-ZB เปลี่ยน Firmware ให้เป็น ZIGBEE ROUTER AT (ใช้กับ Zigbee รุ่น XB24-ZB )
  - Version เลือก 22A7

Modem: XBEE	Function Set	Version
XB24-ZB	ZIGBEE ROUTER AT	22A7

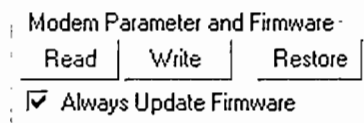
ภาพที่ 46 การกำหนด Function Zigbee Router ของ XBee

- Network PAN ID (ID) กำหนดค่า 100 ในการที่จะให้ Xbee สื่อสารในเครือข่ายเดียวกัน ต้องกำหนดให้อุปกรณ์อยู่ใน PAN ID เดียวกัน
  - Destination Address High (DH) กำหนดค่า 0
  - Destination Address Low (DL) กำหนดค่า 0
  - Node Identifier (NI) กำหนดค่าเป็นชื่อของ Router ในที่นี้ให้ชื่อ MAXROUT1
- การกำหนดการสื่อสารของ Xbee ในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ในส่วน of Serial Interface
- Baud Rate (BD) กำหนดค่า 3 คือ 9600
  - Parity (NB) กำหนดค่า 0 คือ No Parity
  - Stop Bits (SB) กำหนดค่า 0 คือ One Stop Bit
  - Packetization Timeout (RO) กำหนดค่า 3



ภาพที่ 47 การกำหนดค่าของตัวโปรแกรม X-CTU ของ End Device และ Coordinator Device

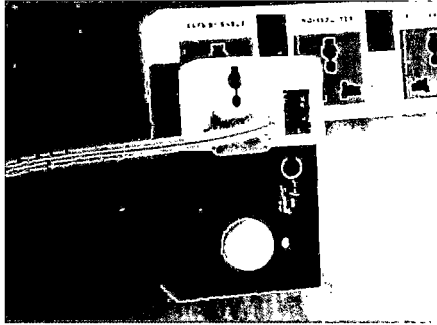
- หลังจากที่กำหนดค่าต่างๆให้ Xbee เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการบันทึกโดยการกำหนดโดยเลือก Always Update Firmware แล้วกดปุ่ม Write



ภาพที่ 48 การบันทึกค่าของ Xbee

### จัดทำต้นแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบต้นแบบ (ภาพที่ 49) เพื่อนำไปวัดข้อมูลจริงของอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ โคมไฟตั้งโต๊ะ เครื่องรับโทรทัศน์ ตู้เย็น พัดลม เครื่องเป่าผม เตารีด เต้าไมโครเวฟ และ เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทำการทดสอบชนิดละ 5 ตัวละรุ่นและยี่ห้อ รวมทั้งหมด 40 ตัว

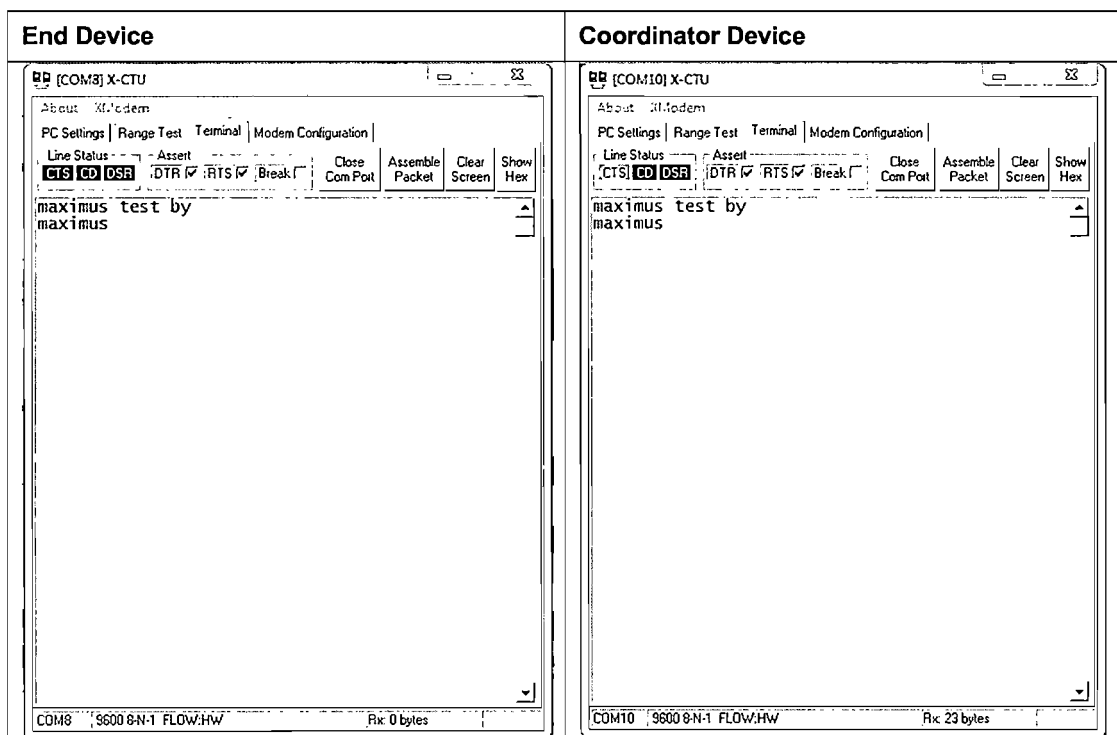


ภาพที่ 49 ดันแบบอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

### การทดสอบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

#### การทดลองที่ 1 : ทดสอบการสื่อสารของอุปกรณ์ XBee

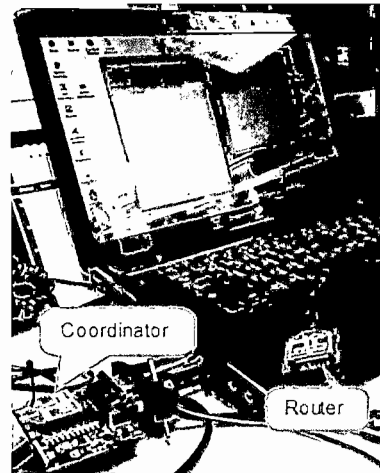
หลังจากที่มีการกำหนดค่าให้ตัว Xbee ทั้งภาครับและส่งแล้ว จึงดำเนินการทดสอบโดยใช้ โปรแกรม X-CTU ในการ ส่งข้อความจากฝั่งอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) ไปยังฝั่งรับข้อมูลที่เป็นตัวประสานงาน (Coordinator) ซึ่งสามารถทำการส่งรับได้ (ภาพที่ 50)



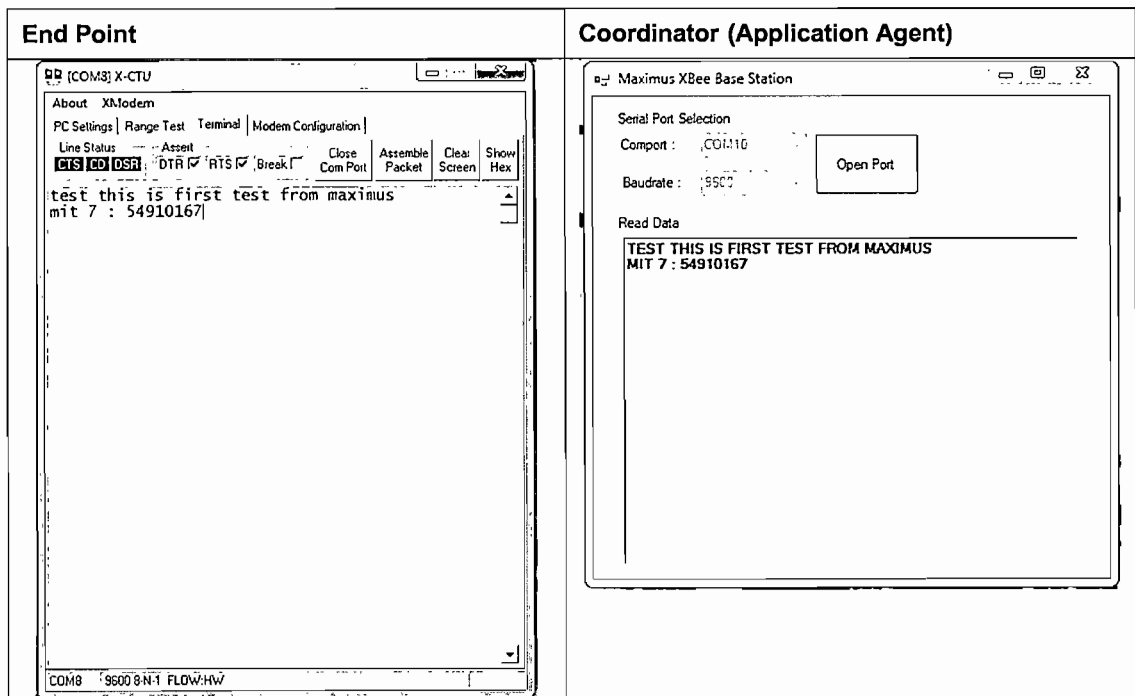
ภาพที่ 50 การทดลองที่ 1 ทดสอบการสื่อสารระหว่างภาครับและภาคส่ง

## การทดลองที่ 2 : เขียนโปรแกรม Agent เพื่อใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ End Device

หลังจากนั้นทำการเขียน โปรแกรมทางฝั่งรับ โดยใช้ภาษา C# ด้วย Visual Studio.Net เพื่อทำหน้าที่เป็น Agent ในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ End Device มาบันทึกเป็น Text File (ภาพที่ 51) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้หลังจากส่งข้อมูลระหว่าง End Point และ Coordinator (ภาพที่ 52)



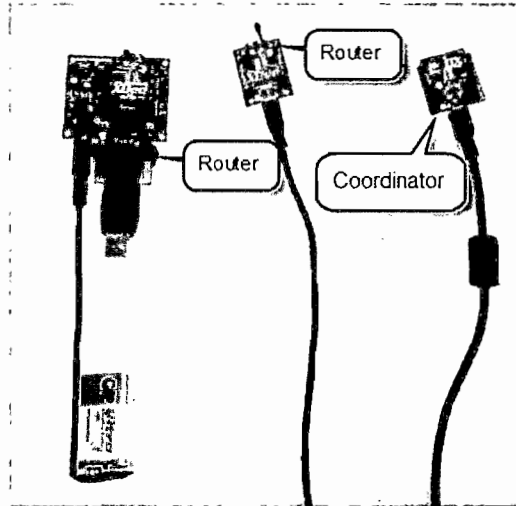
ภาพที่ 51 การทดลองที่ 2 ทดสอบการรับส่งข้อมูล



ภาพที่ 52 ผลการทดลองที่ 2 สามารถส่งรับข้อมูลได้



**การทดลองที่ 3 : ทำการทดสอบการส่งรับข้อมูลจากอุปกรณ์ End Device หลายๆตัว**  
 ในการทดสอบนี้มีอุปกรณ์ 3 ตัวคือ 1 Coordinator สื่อสารกับ 2 Router (ภาพที่ 53) ซึ่งผลการทดลองสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ จาก Router มายัง Coordinator (ภาพที่ 54)



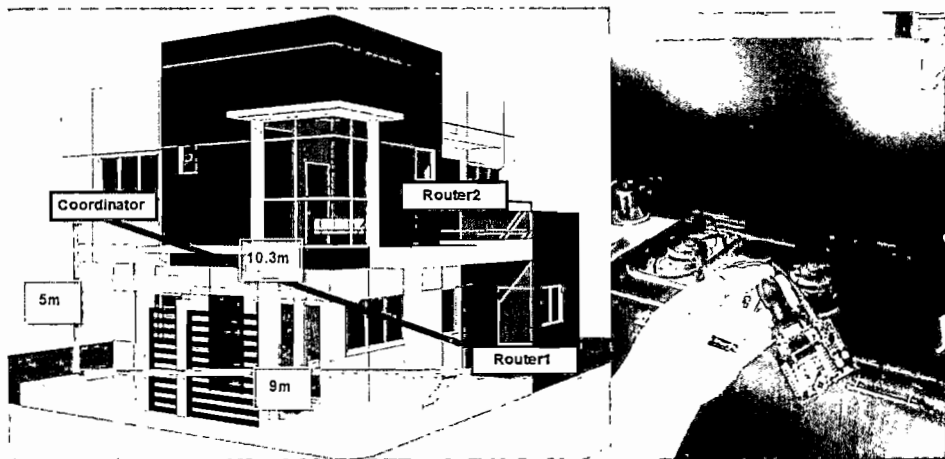
ภาพที่ 53 การทดลองที่ 3 การรับข้อมูลจาก End Device หลายๆตัว

สื่อสารจาก Router1 ไปยัง Coordinator					สื่อสารจาก Router2 ไปยัง Coordinator				
# Network (COM10) Close Com Port Discover Node List Network Settings... Reading Node: 13A209-08C1607					# Network (COM10) Close Com Port Discover Node List Network Settings... Reading Node: 13A200-407BCDE2				
Address	Node Identifier	Type	Short Address	Profile	Address	Node Identifier	Type	Short Address	Profile
13A200-061A9AA	COOR	Coordinator			13A200-061A9AA	COOR	Coordinator		
13A200-407BCDE2	ROUTER2	Router	6D9		13A200-407BCDE2	ROUTER2	Router	6D9	
13A200-08C1607	ROUTER1	Router	7DDF		13A200-08C1607	ROUTER1	Router	7DDF	

ภาพที่ 54 ผลการทดลองที่ 3

**การทดลองที่ 4 : ทำการทดสอบการรับส่งข้อมูล แบบ non line of sight ภายในบ้าน**

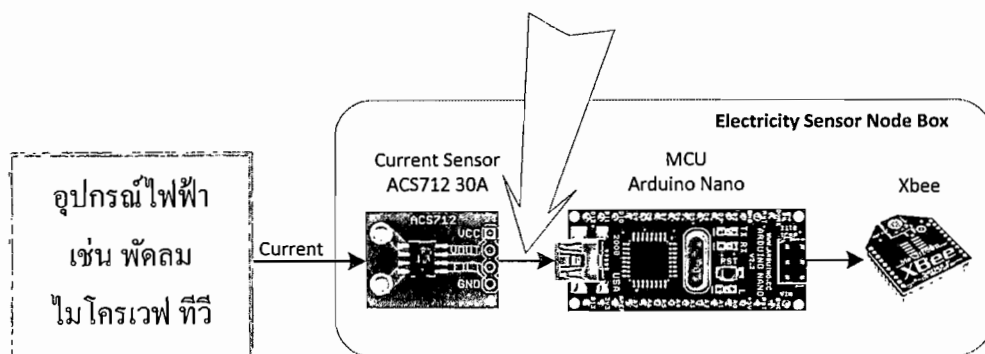
การทดลองนี้ทดลองในบ้าน 2 ชั้น โดย Coordinator อยู่บนชั้น 2 ในห้องนอน และ Router1 อยู่ในห้องครัวซึ่งมีระยะการจัดไกลสุดประมาณ 10.3 เมตร ดังรูปด้านขวามือเป็นอุปกรณ์ปลายทางที่ใช้ทดสอบในห้องครัว และ Router2 อีกตัวอยู่ในห้องนอนชั้น 2 มีระยะการจัดประมาณ 9 เมตร (ภาพที่ 55) ซึ่งผลการสื่อสารของอุปกรณ์ทั้งหมดนี้สามารถสื่อสารกันได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 55 การทดลองที่ 4 ทดสอบการรับส่งข้อมูลภายในบ้าน

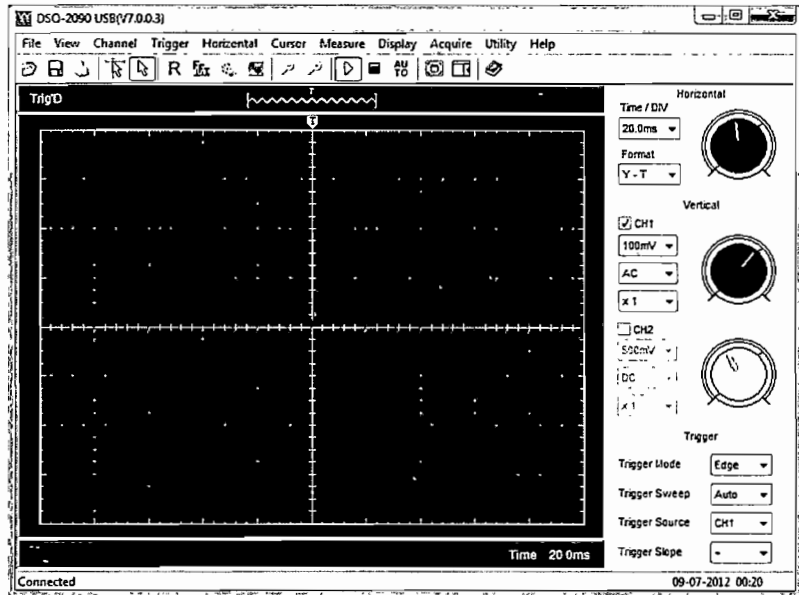
**การทดลองที่ 5 : วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากตัวอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า**

เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย จำเป็นต้องรู้ว่ารูปแบบกระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าวัดได้จากอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ก่อนที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผล มีรูปแบบเป็นอย่างไร จึงได้ทดสอบตรวจวัดตามภาพที่ 56

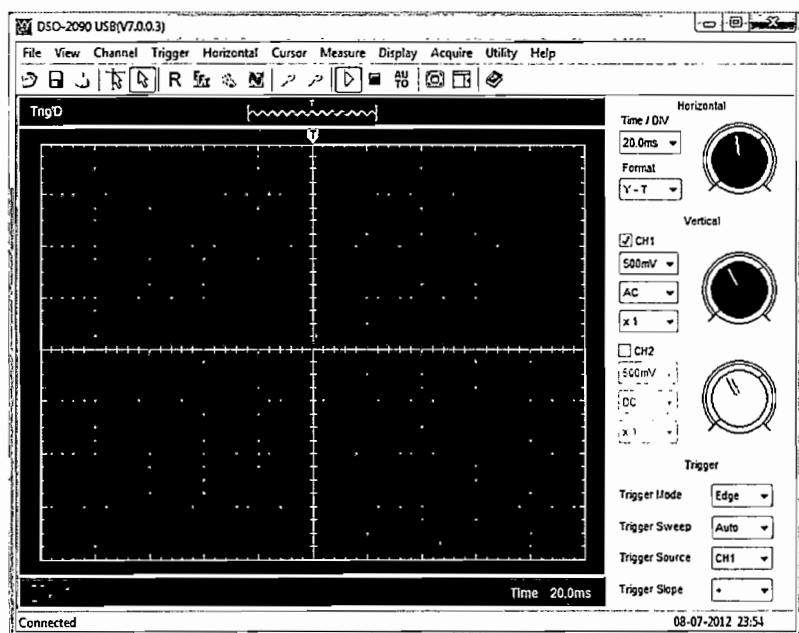


ภาพที่ 56 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor)

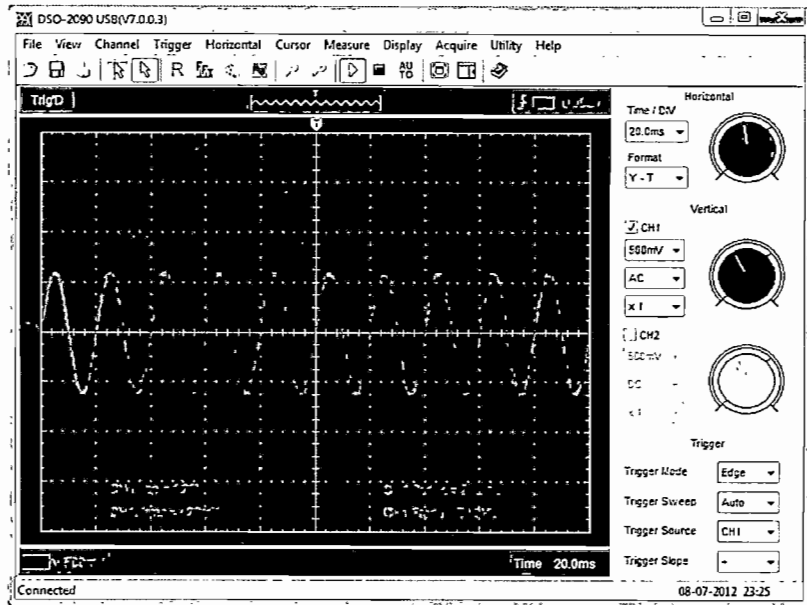
ในการวัดนี้ทำการทดสอบโดยยกตัวอย่างจากอุปกรณ์ไฟฟ้า หลายชนิดด้วยกัน พบว่าพัดลม (ภาพที่ 57) และไมโครเวฟซึ่งมีรูปแบบคลื่นที่แยกกันอย่างเห็นได้ชัด คือไมโครเวฟจะมีรูปคลื่นความถี่อื่นแทรกสอดเข้ามา (ภาพที่ 58) การทดสอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ได้ผลตามภาพที่ 58, 59, 60, 61 และ 62 ตามลำดับ



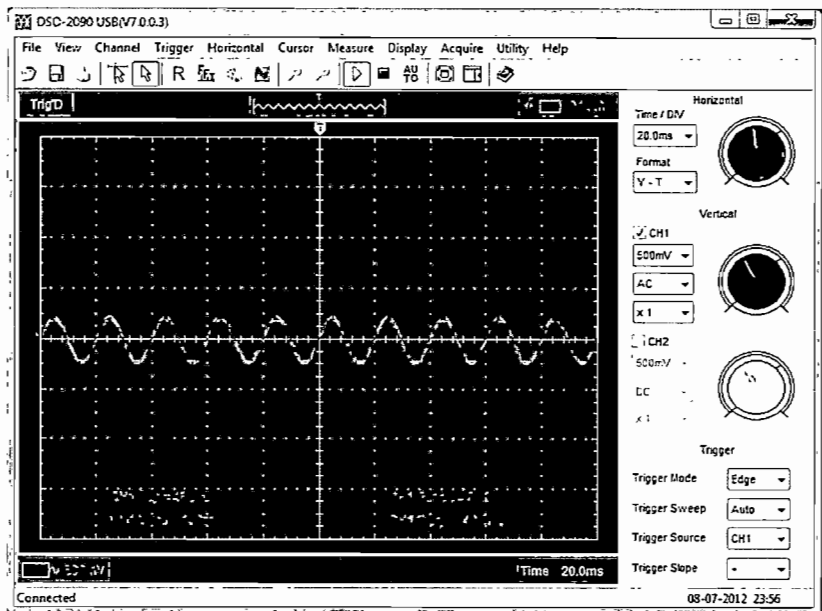
ภาพที่ 57 รูปแบบการใช้กระแสไฟฟ้าของพัดลม



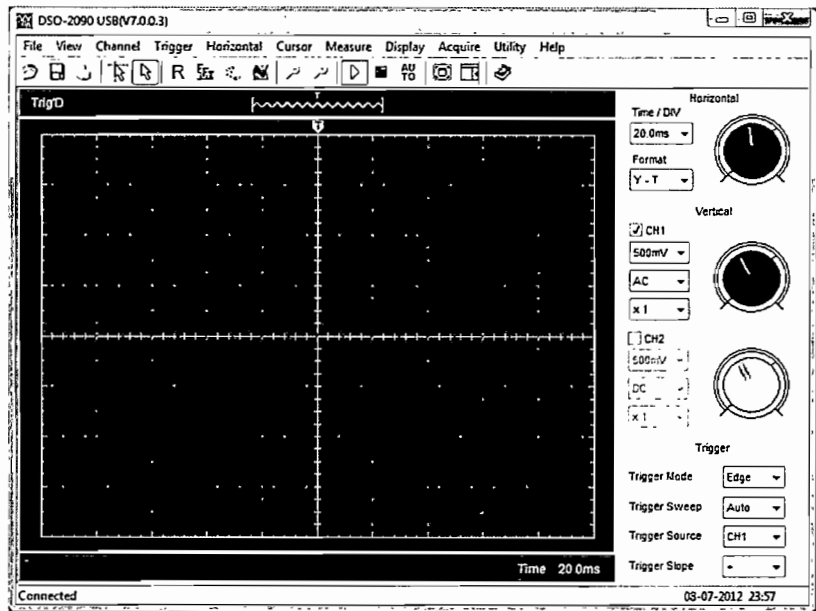
ภาพที่ 58 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟ



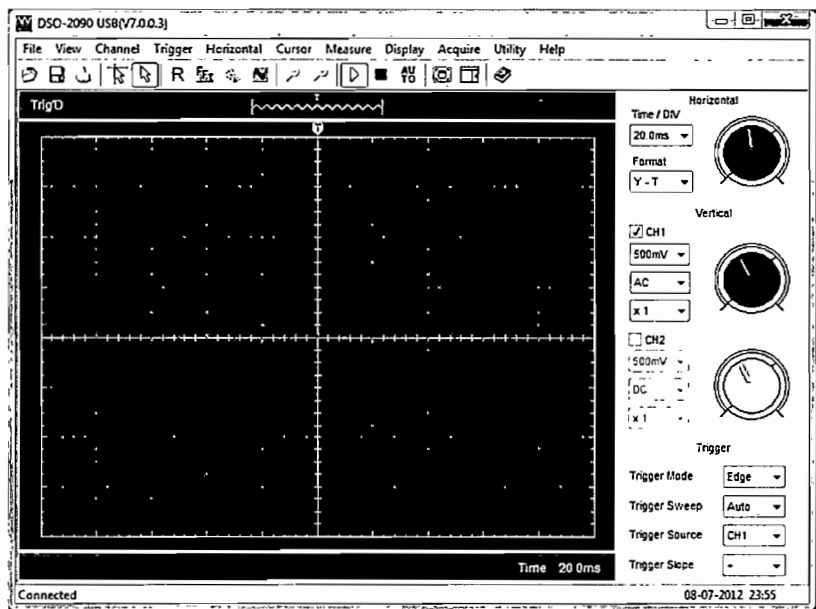
ภาพที่ 59 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าของเตารีด



ภาพที่ 60 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าของกระตักน้ำร้อน

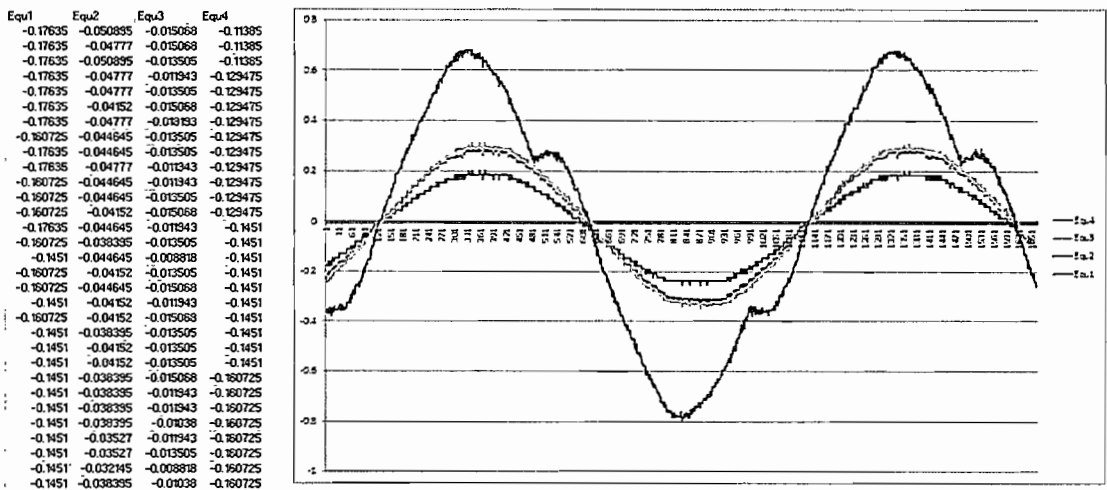


ภาพที่ 61 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าของเครื่องชงกาแฟ



ภาพที่ 62 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าของเครื่องเป่าผม

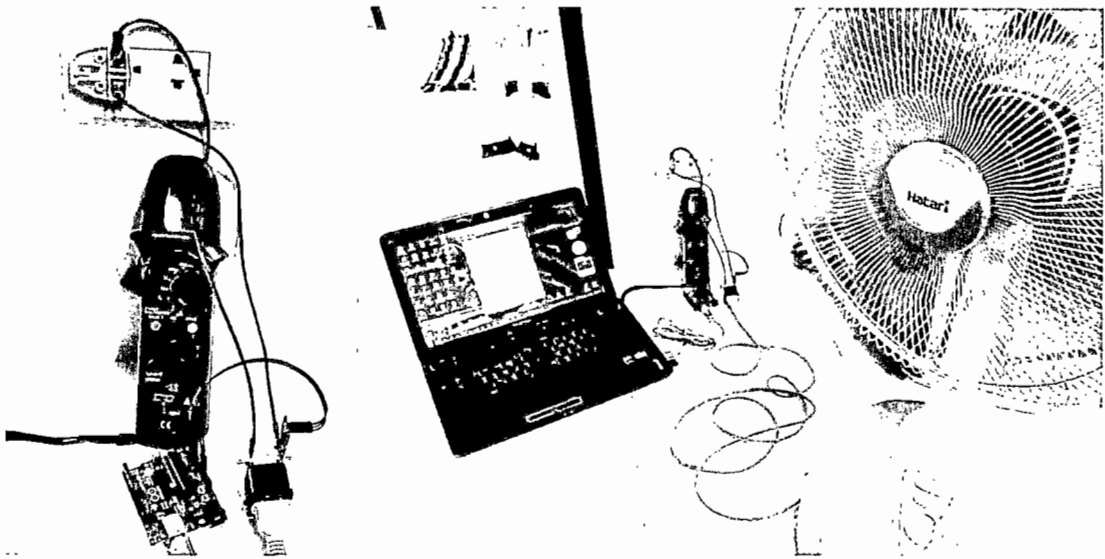
หลังจากที่ได้รวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดแล้วนำมา Plot กราฟ (ภาพที่ 63) เพื่อดูและจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าออกมา สีม่วง, สีฟ้า, สีเขียว และ สีแดง แสดงการใช้ไฟฟ้าของ ไมโครเวฟ, โทรทัศน์, ที่เป่าผม และพัดลมตามลำดับ จากรูปทำให้เราเห็นว่า ที่เป่าผม และ พัดลม มีรูปแบบการใช้ไฟฟ้าในลักษณะที่เหมือนกัน ซึ่งการใช้ไฟฟ้าที่มีลักษณะเหมือนกันนี้เป็นความท้ายของงานวิจัยที่จะจำแนกอุปกรณ์เหล่านี้



ภาพที่ 63 กราฟการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการใช้กระแสไฟฟ้า

## การเทียบเคียงค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจกระแสไฟฟ้ากับอุปกรณ์วัดไฟฟ้ามาตรฐาน

จากการที่ได้ทำการสร้างตัวตรวจกระแสไฟฟ้าโดยใช้ Library Energy Monitor (Emon) ของ Arduino โดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้า ทำให้ต้องมีการเทียบเคียงค่าของแรงดัน ที่ได้จากเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าการวัดที่แม่นยำ โดยจะทำการ calibrate เทียบกับอุปกรณ์ตรวจวัดมาตรฐาน (ภาพที่ 64)



ภาพที่ 64 การเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ตรวจวัดมาตรฐาน

โดยการทดลองดังกล่าวมีขั้นตอนในการตรวจสอบดังนี้

1. นำเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้ามาต่ออนุกรม ระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้ากับปลั๊กไฟ โดยได้ทำเป็นอุปกรณ์สำหรับทดสอบดังภาพ
2. ส่วน Output ของเซนเซอร์นำมาเข้า Arduino เพื่อประมวลผล
3. นำอุปกรณ์ตรวจวัดมาตรฐาน Multimeter ชนิด Clamp ทำการ วัดค่าเพื่อเทียบกับค่าที่ได้ของตัวอุปกรณ์ตรวจกระแสไฟฟ้า (Current Sensor)
4. ทดสอบ โดยนำพัดลมมาวัดทดสอบ โดยเปิดพัดลมและวัดกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตัวเซนเซอร์ โดยเขียน โปรแกรมตรวจสอบที่ Arduino ตามตารางที่ 6
5. ทำการปรับค่า ในบรรทัด `emon1.current(currentPin, X);` โดย X ให้ค่าเป็น 0-30 เพื่อหาค่าเปรียบเทียบที่ตรงตามอุปกรณ์วัดมาตรฐานให้ได้มากที่สุด

## ตารางที่ 6 โค้ด Arduino สำหรับทดสอบเทียบเคียงอุปกรณ์วัดมาตรฐาน

```
โค้ด Arduino สำหรับทดสอบเทียบเคียงอุปกรณ์วัดมาตรฐาน

#include "SoftwareSerial.h"

#include "EmonLib.h"

EnergyMonitor emon1;

SoftwareSerial mySerial(3, 2); // RX, TX

Statistic elecStats;

const int currentPin = 0; // Analog A0

int i;

void setup(void)
{
  mySerial.begin(9600);
  analogReference(EXTERNAL);
  emon1.current(currentPin, 15); // <-- Adjust Value
}

void loop(void)
{
  double Irms = emon1.calcIrms(1480); // Calculate Irms only
  // -- Serial to Xbee --//
  mySerial.print("IRMS = ");
  mySerial.println(Irms, 2);
  // -- Clear Stat --//
}
```

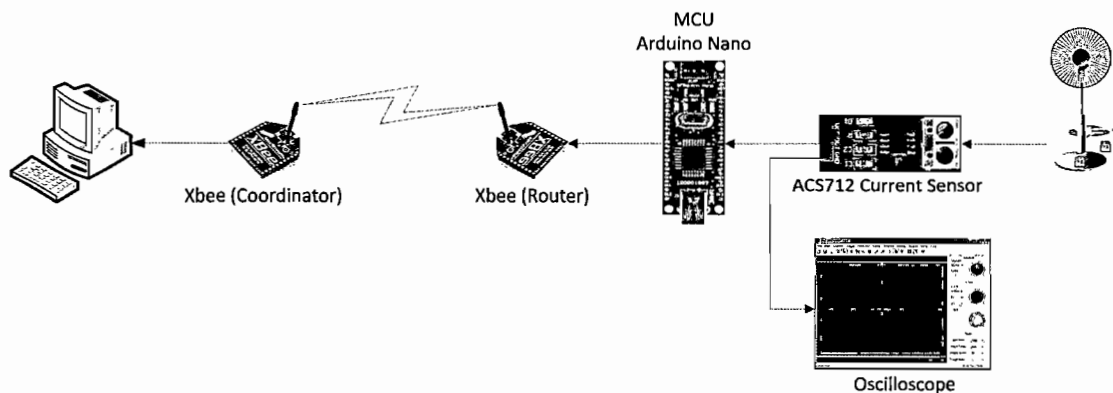


ซึ่งจากการทดสอบเปรียบเทียบค่า พบว่าการปรับเปลี่ยนค่า ของ Sensor ที่ใช้ Emon Library แล้วให้ค่าตรงกับการวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์มาตรฐานอยู่ที่ ค่า 15 ค่านี้จะถูกนำไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรมที่จะใช้งานจริงอีกทีหนึ่ง

### การทดสอบวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

หลังจากที่มีการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับที่กล่าวมาในเบื้องต้น เพื่อทำการตรวจจับข้อมูลผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เราจึงต้องทดสอบการสื่อสารด้วยการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับจากสภาพแวดล้อมจริง เราต้องการรู้ว่าถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Nano) รับข้อมูลกระแสไฟฟ้าโดยตรงจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า แล้วส่งกลับมายังตัวประสานงาน (Coordinator) แบบ Real Time โดยไม่มีการหน่วงเวลา สามารถเห็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่องได้หรือไม่

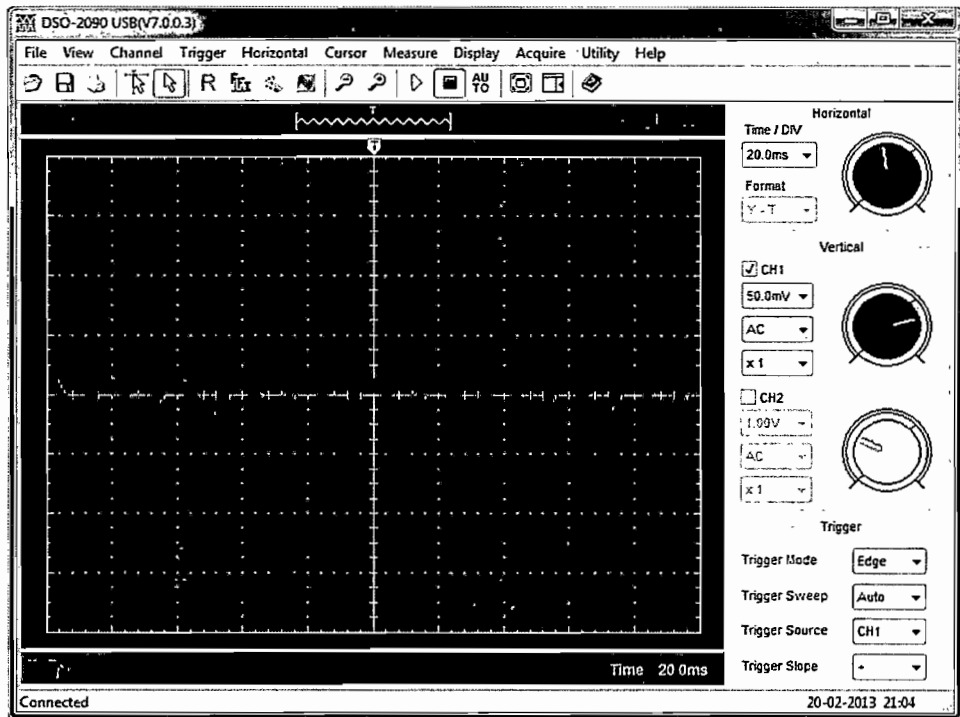
การออกแบบการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับ (ภาพที่ 65) ใช้ Current Sensor ACS712 วัดค่าการใช้งานกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) อ่านค่าที่ได้แล้วส่งค่าที่อ่านได้ผ่าน Xbee ตัวที่เป็น Router ไปให้ Xbee ผังที่เป็นตัวประสานงาน เพื่อให้คอมพิวเตอร์ เก็บผลมาวิเคราะห์ อีกส่วนหนึ่งคือใช้ Oscilloscope วัดค่าแรงดัน ที่ออกมาจากตัวอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าโดยตรง



ภาพที่ 65 การออกแบบการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับ

ผลจากการใช้ Oscilloscope ตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากการเปิดพัดลมเบอร์ 1 (ภาพที่ 66) เป็นค่า Voltage ที่ต่อเนื่อง

Period: 19.7 ms    Frequency: 50.8 Hz    Volt Peak to Peak (Vpp): 45.3mV    Vrms: 9.13 mV



ภาพที่ 66 ผลจากการใช้ Oscilloscope ตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากการเปิดพัดลม

ผลจากการอ่านค่าของคอมพิวเตอร์ จากตารางที่ 7 จะเห็นว่ามีข้อมูลบางช่วงที่หายไป และบางครั้งส่งมาไม่ครบ หรือส่งค่าเกิน เกิดความผิดพลาดค่อนข้างสูง และอัตราการรับข้อมูล ช่วงแรกสามารถรับได้ปกติ แต่เมื่อปล่อยเวลาผ่านไปประมาณ 2 นาทีสัญญาณจะเกิดการติดขัด และการรับข้อมูลมีการสะดุดดังตารางค่าที่อ่านได้ด้านล่าง

ตารางที่ 7 ผลการอ่านค่าการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการเปิดพัดลม

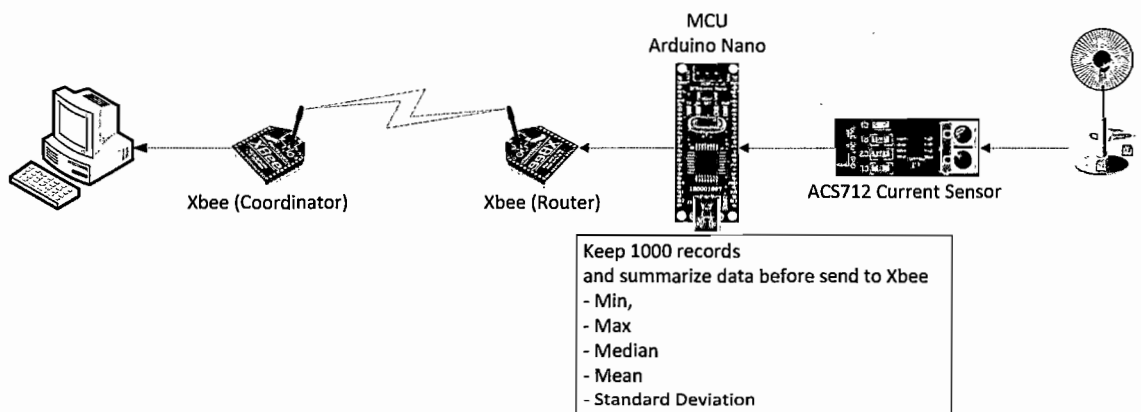
ลำดับ	ค่า	ลำดับ	ค่า	ลำดับ	ค่า	ลำดับ	ค่า
1	504	7	501	13	497	19	5
2	49	8	504	14	502	20	500
3	498	9	497	15	504	21	505
4	503	10	499	16	500	22	500
5	503	11		17	501	23	497505
6	498	12	502	18	504	24	503

สรุปผลการทดลอง Xbee ไม่สามารถส่งรับข้อมูลแบบ Real Time ได้ เพราะจะเกิดการ Error และ Lost ของ สัญญาณ จากการทดลองข้างต้น พบว่าไม่สามารถส่งข้อมูลค่าที่อ่านจาก อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าแบบ Real Time ผ่าน Xbee ได้ นั้น เราจึงต้องหาอัตราการส่งข้อมูลที่ เหมาะสมโดยทำการทดลองอีกครั้ง โดยสมมุติฐานว่า

- หากมีการเก็บข้อมูลในไมโครคอนโทรลเลอร์ ก่อนแล้วค่อยส่งออกมาผ่าน XBee จะมีการสูญหายของข้อมูล และ เกิดความผิดพลาดในการส่งได้

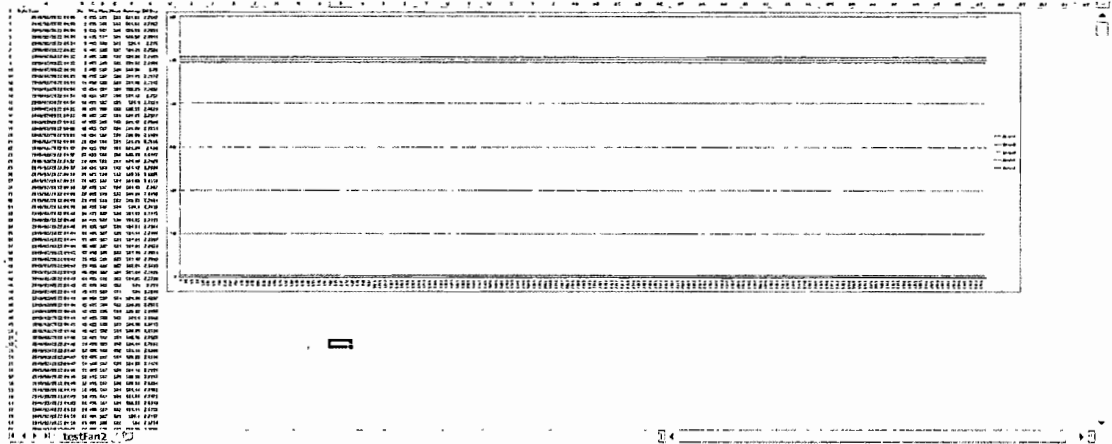
- หากสามารถรับส่งข้อมูลได้ ระยะทางมีผลกับการรับส่งหรือไม่ เช่น อยู่คนละห้อง มีผนังคอนกรีต หรือประตูกัน หรือชั้นบนชั้นล่าง

ใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า รุ่น ACS712 วัดค่าการใช้งานกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ ไฟฟ้า หลังจากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าที่ได้และบันทึกไว้ในหน่วยความจำ จำนวน 1000 รายการ แล้วนำค่าที่บันทึกได้นั้นมาหาค่า min, max mean, median และ standard deviation หลังจากนั้นจึงส่งผ่าน Xbee ตัวที่เป็น Router ไปให้ Xbee ฝั่งที่เป็นตัวประสานงาน (Coordinator) เพื่อให้ Computer เก็บผลมาวิเคราะห์



ภาพที่ 67 การออกแบบการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับที่มีการสรุปข้อมูลจำนวน 1000 รายการ

ผลจากการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากการเปิดพัดลมเบอร์ 1 เป็นค่า Voltage ที่ต่อเนื่อง โดยอ่านจากค่าของคอมพิวเตอร์ที่รับได้จาก XBee จะเห็นว่าไม่มีข้อมูลหาย และข้อมูลมาครบ ไม่มีการส่งค่ามาเกิน และอัตราการรับข้อมูลดีมาก โดยบันทึกตั้งแต่เวลา 22:01:30 จนถึง 22:24:36 (ใช้เวลาประมาณ 25 นาที) โดยสามารถข้อมูลได้ 4234 รายการ โดยผลการเก็บข้อมูลจาก อุปกรณ์ตรวจจับที่สรุปข้อมูลจำนวน 1000 รายการ (ภาพที่ 68) ซึ่งไม่มีการสูญหายของข้อมูล



ภาพที่ 68 ผลการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับที่สรุปข้อมูลจำนวน 1000 รายการ

ในการทดลองถัดไปอุปกรณ์ตรวจจับถูกนำไปตรวจวัดที่ชั้น 2 ของบ้านระยะทางประมาณ 9 เมตร โดยบันทึกตั้งแต่วันที่ 22:01:30 จนถึง 23.23.36 (ใช้เวลาประมาณ 25 นาที) โดยสามารถเก็บข้อมูลได้ 2000 รายการ ซึ่งพบว่าผลการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับที่ชั้น 2 ของบ้านมีการสูญหายและผิดพลาดของข้อมูล (ภาพที่ 69)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
727	2013/02/20 23:07 #	786 EMIN:	496 EMAX:	508 EMEAN:	502 EAVG:	501.233 EDEV:	2.6293											
728	2013/02/20 23:07 #	787 EMIN:	495 EMAX:	507 EMEAN:	501 EAVG:	501.071 EDEV:	2.7192											
729	2013/02/20 23:07 #	788 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.084 EDEV:	2.6994											
730	2013/02/20 23:07 #	789 EMIN:	496 EMAX:	508 EMEAN:	502 EAVG:	501.258 EDEV:	2.6798											
731	2013/02/20 23:07 #	790 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.249 EDEV:	2.6909											
732	2013/02/20 23:07 #	791 EMIN:	495 EMAX:	507 EMEAN:	501 EAVG:	501.054 EDEV:	2.7059											
733 #		792 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.113 EDEV:	2.7147											
734 #		793 EMIN:	495 EMAX:	507 EMEAN:	501 EAVG:	501.193 EDEV:	2.6795											
735 #		794 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.046 EDEV:	2.7221											
736 #		795 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.19 EDEV:	2.70EAN:	501.5 EAVG:	501.159 EDEV:	2.681								
737 #		797 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.037 EDEV:	2.7335											
738 #		798 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.262 EDEV:	801 EMIN:	495 EMAX:	507 EMEAN:	501 EAVG:								
739 #		802 EMIN:	49#	806 EMIN:	495 EMAX:	507 EMEAN:	501 EAVG:	501.094 EDEV:	2.6835									
800 #		807 EMIN:	49#	811 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.01 EDEV:	2.6537									
801 #		812 EMIN:	49#	816 EMIN:	494 EMAX:	509 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.24 EDEV:	2.7284									
802 #		817 EMIN:	49#	821 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.232 EDEV:	2.7078									
803 #		822 EMIN:	49#	826 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.016 EDEV:	2.6713									
804 #		827 EMIN:	49:00:00	501.5 EAVG:	501.19 EDEV:	2.6862												
805 #		831 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	835 EMIN:	496 EMAX:	507 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.048 EDEV:	2.6664							
806 #		826 EMIN:	49#	840 EMIN:	495 EMAX:	507 EMEAN:	501 EAVG:	501.096 EDEV:	2.6591									
807 #		811 EMIN:	495 EMAX:	507 EMEAN:	501 EAVG:	501.096 EDEV:	2.6591											
808 #		812 EMIN:	456 EMAX:	507 EMIN:	845 EMIN:	496 EMAX:	508 EMEAN:	502 EAVG:	501.265 EDEV:	2.716								
809 #		816 EMIN:	49#	850 EMIN:	494 EMAX:	507 EMEAN:	500.5 EAVG:	501.151 EDEV:	2.706									
810	2013/02/20 23:08 #	851 EMIN:	49#	855 EMIN:	495 EMAX:	507 EMEAN:	501 EAVG:	501.121 EDEV:	2.7174									
811 #		856 EMIN:	49#	860 EMIN:	495 EMAX:	508 EMEAN:	501.5 EAVG:	501.201 EDEV:	2.7413									

ภาพที่ 69 ผลการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับที่ชั้น 2 ของบ้าน

ในการทดลองข้างต้นทำให้ผู้วิจัยพบว่า Xbee ไม่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ในลักษณะแบบตามเวลาจริง (Real Time) และระยะทางมีผลกับความสามารถในการส่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทดลองต่อว่าจะต้องใช้การเก็บข้อมูลจำนวนเท่าไรที่ WSN จะสามารถส่งข้อมูลจากชั้นล่างขึ้นไปชั้นบนของบ้านอย่างมีประสิทธิภาพไม่มีการสูญหายและผิดเพี้ยนของข้อมูล

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการรวบรวมข้อมูลก่อนที่จะสรุปผลส่งให้ภาครับที่ระยะ 9 เมตร

จำนวนการเก็บข้อมูลก่อนที่จะสรุปผลส่ง	ผล
1000 รายการ	รับส่งได้สักพัก ก็จะเกิดการส่งผิดพลาด
2000 รายการ	รับส่งได้สักพัก ก็จะเกิดการส่งผิดพลาด
3000 รายการ	รับส่งได้สักพัก ก็จะเกิดการส่งผิดพลาด
4000 รายการ	รับส่งได้ดี ไม่มีข้อผิดพลาด
5000 รายการ	รับส่งได้ดี ไม่มีข้อผิดพลาด
6000 รายการ	รับส่งได้ดี ไม่มีข้อผิดพลาด แต่ผลมีความหยาบเกินไปทำให้ไม่สามารถจำแนกสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้

สรุปผลการทดลอง Xbee ไม่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ในลักษณะแบบตามเวลาจริง (Real Time) และระยะทางมีผลกับความสามารถในการส่ง ซึ่งมีผลกับการเกิดความผิดพลาด การสูญเสียของข้อมูล และการส่งข้อมูลจำเป็นที่จะต้องมีการเก็บข้อมูลไว้ที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ก่อนแล้วค่อยสรุปข้อมูลส่งออกไป ในที่นี้ค่าการสรุปข้อมูลที่ดีที่สุดอยู่ที่ 4000 รายการต่อหนึ่งการส่งข้อมูล ซึ่งมีอัตราการส่งอยู่ที่ประมาณ 1 วินาทีต่อหนึ่งครั้งการส่ง ดังตารางที่ 8

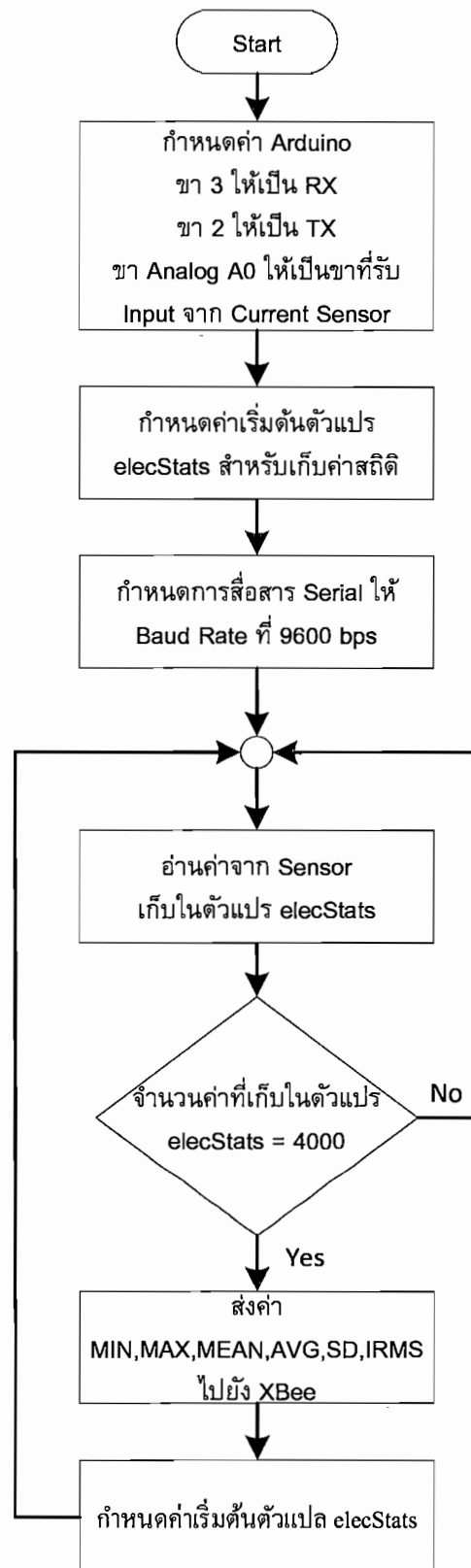
## การออกแบบโปรแกรม

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์แล้วขั้นต่อไปคือ การออกแบบโปรแกรมเพื่อนำไปใช้งานจริง ซึ่งการออกแบบโปรแกรมนี้ได้แบ่งออกเป็น โปรแกรมในส่วนของวงจรตรวจจับ (ภาคส่ง) และ โปรแกรมรับข้อมูลส่วนกลาง (ภาครับ) ดังอธิบายต่อไป

### การออกแบบโปรแกรมวงจรตรวจจับ (ภาคส่ง)

การทำงานของภาคส่ง จากอุปกรณ์ End Device นั้นต้องทำการโปรแกรมสั่งงานที่ Arduino โดยมีหลักการทำงานของระบบวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ Zigbee ในการสื่อสาร สามารถอธิบายได้จากโฟลว์ชาร์ต ภาพที่ 70 และสามารถอธิบายหลักการทำงานของระบบได้คือ

- กำหนดค่าต่างๆ ของ Arduino โดยให้ขา 3 ให้เป็น RX ขา 2 ให้เป็น TX และ ขา Analog A0 ให้เป็นขาที่รับ Input จากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า
- กำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร elecStats เพื่อเก็บค่าทางสถิติของกระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากตัวอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า
- กำหนดค่า Baud Rate ในการติดต่อสื่อสาร ในที่นี้ กำหนดอยู่ที่ 9600 bps
- หลังจากนั้นเริ่มเก็บข้อมูลที่อ่านได้มาเก็บไว้ในตัวแปร elecStats
- นับค่าที่เก็บอยู่ในตัวแปร elecStats ถ้ามีค่าไม่เท่ากับ 4000 รายการให้ไปเก็บข้อมูลถัดไปต่อ
- ถ้าค่าที่เก็บอยู่ในตัวแปร elecStats ถ้ามีค่าเท่ากับ 4000 รายการ จะทำการส่งค่า MIN,MAX,MEAN,AVG,SD,IRMS ไปยัง Xbee
- หลังจากนั้นกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร elecStats และเริ่มไปทำการเก็บข้อมูลใหม่ โดยรูปแบบโค๊ดที่เขียนในตัว Arduino จะเป็นรูปแบบ ANSI C ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 9



ภาพที่ 70 โฟลว์ชาร์ตการออกแบบโปรแกรมวงจรตรวจจับ (ภาคส่ง)

ตารางที่ 9 โค้ด Arduino สำหรับวงจรตรวจจับภาคส่ง

โค้ด Arduino สำหรับวงจรตรวจจับภาคส่ง

```

#include "SoftwareSerial.h"
#include "Statistic.h"
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emon1;

SoftwareSerial mySerial(3, 2); // RX, TX
Statistic elecStats;

const int currentPin = 0; // Analog A0
int i;

void setup(void)
{
  mySerial.begin(9600);
  analogReference(EXTERNAL);
  emon1.current(currentPin, 15);
  // Current: input pin, calibration. For SCT-013-030 Cur Const= Ratio/BurdenR. 1800/62 = 29.
  i=0;
  mySerial.println("");
  mySerial.println(",,I,MIN,MAX,MEAN,AVG,DEV,IRMS,");
  elecStats.clear(); //explicitly start clean
}

void loop(void)
{
  elecStats.add(analogRead(currentPin)); // keep current data
  // Show Output

```



```

if (elecStats.count() == 4000)
{
  i = i + 1;
  double Irms = emon1.calcIrms(1480); // Calculate Irms only
  // -- Serial to Xbee --//
  mySerial.print("#,");
  mySerial.print(i);
  mySerial.print(",");
  mySerial.print(elecStats.minimum(),0);
  mySerial.print(",");
  mySerial.print(elecStats.maximum(),0);
  mySerial.print(",");
  mySerial.print((elecStats.maximum()+elecStats.minimum())/2, 2);
  mySerial.print(",");
  mySerial.print(elecStats.average(), 4);
  mySerial.print(",");
  mySerial.print(elecStats.pop_stdev(), 4);
  mySerial.print(",");
  mySerial.print(Irms, 2);
  mySerial.println(",");
  // -- Clear Stat --//
  elecStats.clear();
}
}

```

ในการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์มายังเครื่องแม่ข่ายกลางจะมีข้อมูลที่ส่ง ตามตารางที่ 10 ได้แก่ ค่าน้อยสุด (Min), ค่ามากที่สุด (Max), ค่ากลาง (Mean), ค่าเฉลี่ย (Average), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของค่า 4000 ค่าที่อ่านได้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแส นอกจากนี้ยังส่งค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าจริง (Root Mean Square) ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ในขณะนั้น

ตารางที่ 10 ตัวแปรที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ส่งค่ามาให้กับเครื่องแม่ข่าย

ตัวแปร	สมการ	ความหมาย
$D_{min,t}$	$Min\{D_i, \dots, D_{i-3999}\}$	ค่าน้อยสุดของค่าที่วัด
$D_{max,t}$	$Max\{D_i, \dots, D_{i-3999}\}$	ค่ามากที่สุดของค่าที่วัด
$D_{mean,t}$	$\frac{(D_{max,t} + D_{min,t})}{2}$	ค่ากลางของค่าที่วัด
$D_{avg,t}$	$\frac{D_t}{4000}$	ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัด
$D_{sd,t}$	$\sqrt{\frac{1}{4000} \sum (D_i - D_{avg,t})^2}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่วัด
$I_{rms,t}$	$\sqrt{\frac{1}{4000} \sum I_i^2}$	ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าจริง

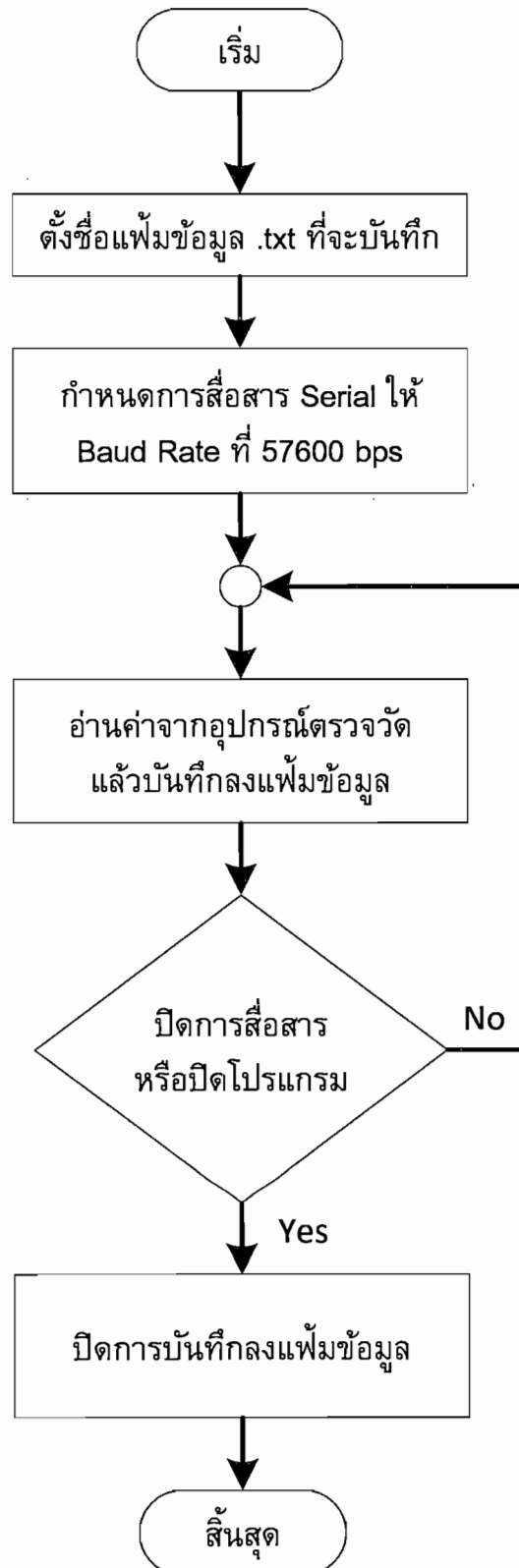
$D_t$  = ผลรวมข้อมูลที่อ่านจาก Sensor จำนวน 4000 รายการ

$$= D_i + D_{i+1} + \dots + D_{i-3999}$$

$I$  = ค่ากระแสไฟฟ้า

#### การออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลส่วนกลาง (ภาครับ)

ในส่วนของข้อมูลภาครับ โหนด Zigbee coordinator จะทำการตรวจสอบว่าได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) หรือไม่ เมื่อได้รับข้อมูล ขั้นต่อมาจะตรวจสอบว่าตัวประสานงาน (Coordinator) ต่อกับคอมพิวเตอร์หรือไม่ โดยการตรวจสอบ Com Port เมื่อพบว่าตัวประสานงานต่อกับคอมพิวเตอร์อยู่ จะทำการส่งข้อมูลที่เป็น Package ไปยังส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) เพื่อบันทึกข้อมูลลงสู่เพิ่มข้อมูล ต่อไป

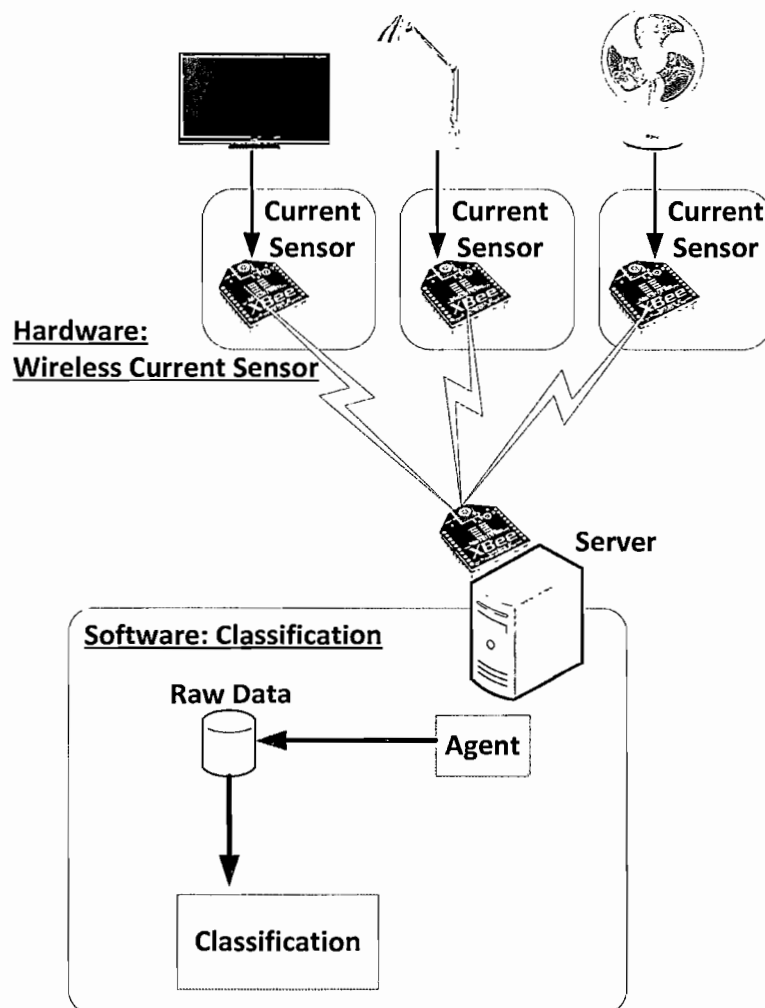


ภาพที่ 71 โฟลว์ชาร์ตการออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลส่วนกลาง (ภาครับ)

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

การทดลองการทำงานของระบบวัดการใช้กระแสไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยระบบประกอบไปด้วย ส่วนรับข้อมูลที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานงาน (Coordinator) ใ้รับข้อมูล การตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ส่งมาจาก End Device ดังรูป โดยเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าถูกออกแบบ ให้ใช้กับปลั๊กเสียบผนังซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลก่อนที่ จะส่งผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายไปยังส่วนรับข้อมูล โดยแสดงเป็นกระบวนการดังต่อไปนี้ (ภาพ ที่ 72)



ภาพที่ 72 รูปแบบการทำงานของระบบ

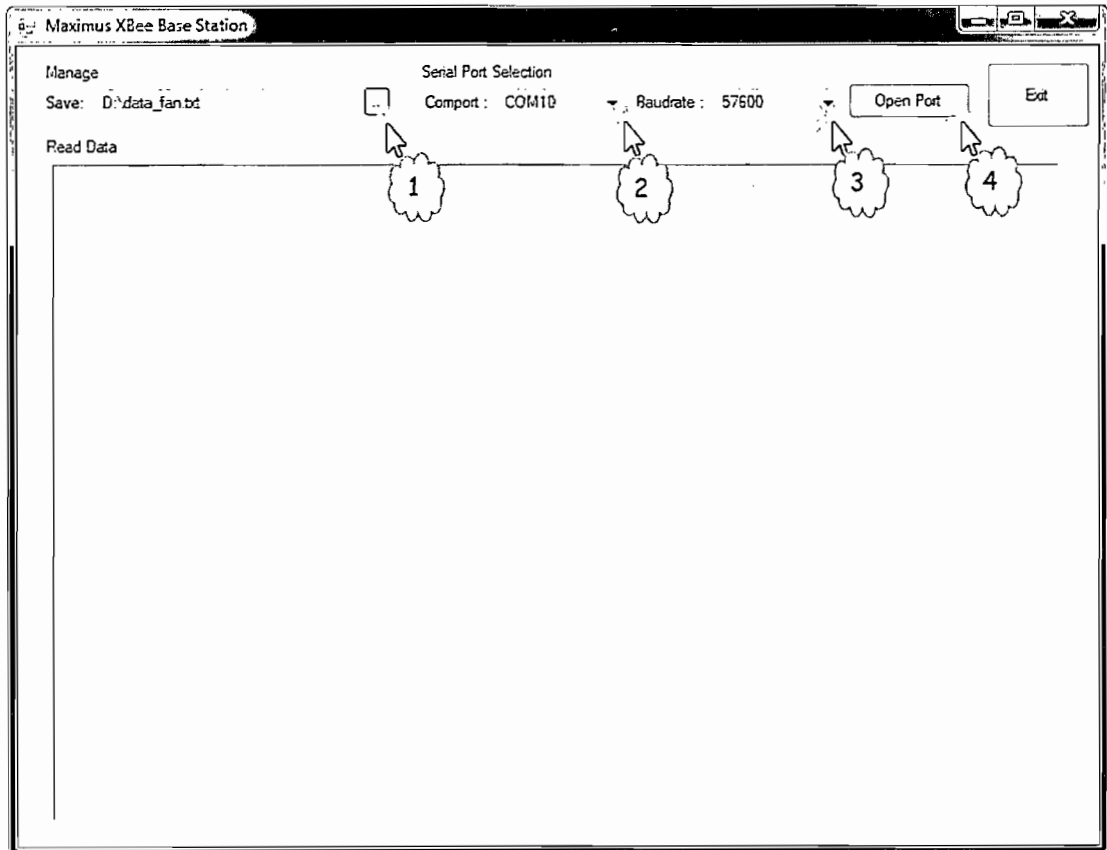
### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าจริง จากภาพตัวอย่างเป็นการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของพัดลม (ภาพที่ 73) และมีวิธีการเก็บข้อมูลดังนี้



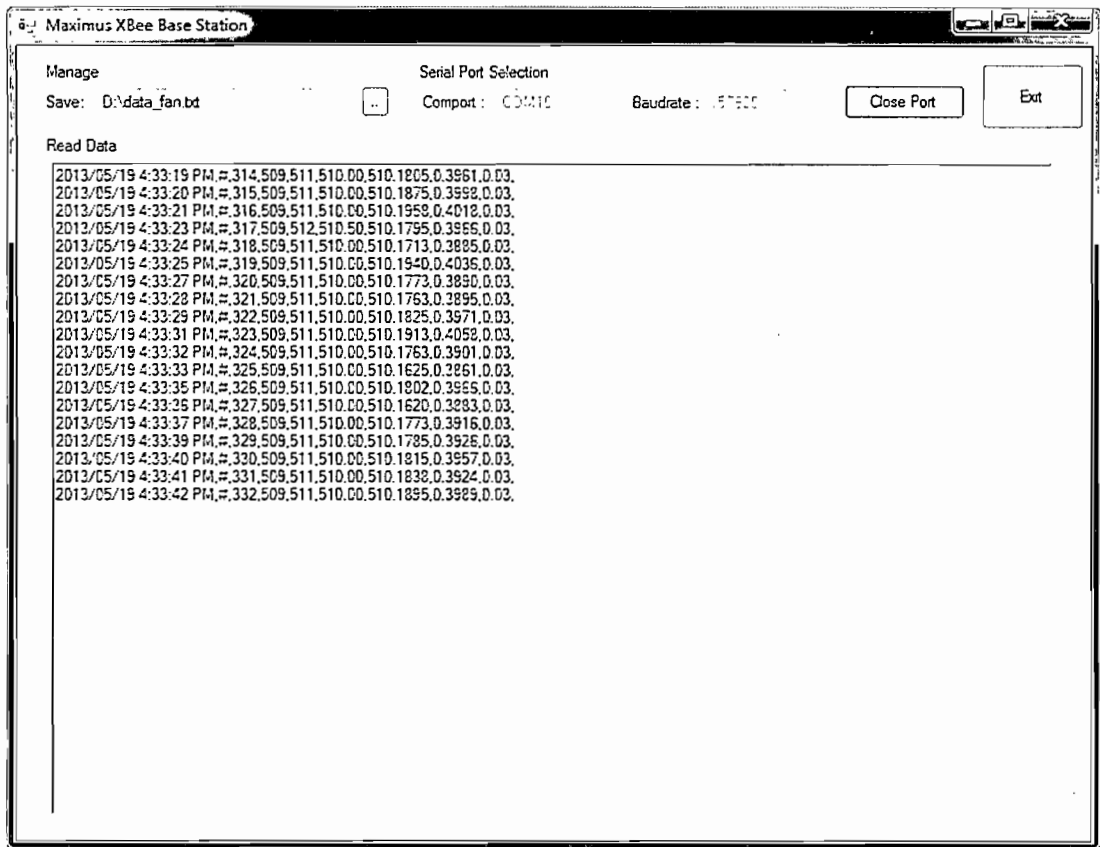
ภาพที่ 73 การเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของพัดลม

1. เมื่อเปิดโปรแกรมมาแล้วต้องเลือกไฟล์ที่ต้องการจะบันทึก และเลือก Serial Port ที่เสียบตัวตัวประสานงาน (Coordinator) และกำหนด Baud Rate ให้ตรงและกดปุ่ม Open Port โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) บันทึกลงไฟล์ (ภาพที่ 74)



ภาพที่ 74 การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อเตรียมรับข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทาง (End Device)

2. เมื่อโปรแกรมทำงานค่าที่ส่งมาจากอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) จะแสดงผลใน ส่วนของ Read Data และทำการบันทึกลงไฟล์ (ภาพที่ 75)



ภาพที่ 75 ข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ปลายทาง

ซึ่งข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ปลายทางประกอบด้วย ค่าวันที่และเวลาที่อ่าน รหัสอุปกรณ์ บรรทัดที่อ่าน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัด

3. ทำการเปลี่ยนสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวที่ทำการทดสอบ เช่น พัดลม กดสวิตเบอร์ 1 ทิ้งไว้ 2 นาที หลังจากนั้น กดสวิตเบอร์ 2 ทิ้งไว้อีก 2 นาที และกดสวิตเบอร์ 3 ทิ้งไว้อีก 2 นาที จนครบทุกสถานะ และกดปุ่ม Close Port

4. ไฟล์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ Text File เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การจำแนกประเภทต่อไป (ภาพที่ 76)

```

data_fan.txt - Notepad
File Edit Format View Help
2013-05-19 4:33:19 PM=,314,509,511,510.00,510.1805,0.3961,0.03,
2013-05-19 4:33:20 PM=,315,509,511,510.00,510.1875,0.3998,0.03,
2013-05-19 4:33:21 PM=,316,509,511,510.00,510.1958,0.4018,0.03,
2013-05-19 4:33:23 PM=,317,509,512,510.50,510.1795,0.3966,0.03,
2013-05-19 4:33:24 PM=,318,509,511,510.00,510.1713,0.3885,0.03,
2013-05-19 4:33:25 PM=,319,509,511,510.00,510.1940,0.4036,0.03,
2013-05-19 4:33:27 PM=,320,509,511,510.00,510.1773,0.3890,0.03,
2013-05-19 4:33:28 PM=,321,509,511,510.00,510.1763,0.3895,0.03,
2013-05-19 4:33:29 PM=,322,509,511,510.00,510.1825,0.3971,0.03,
2013-05-19 4:33:31 PM=,323,509,511,510.00,510.1913,0.4058,0.03,
2013-05-19 4:33:32 PM=,324,509,511,510.00,510.1763,0.3901,0.03,
2013-05-19 4:33:33 PM=,325,509,511,510.00,510.1625,0.3861,0.03,
2013-05-19 4:33:35 PM=,326,509,511,510.00,510.1802,0.3966,0.03,
2013-05-19 4:33:36 PM=,327,509,511,510.00,510.1620,0.3883,0.03,
2013-05-19 4:33:37 PM=,328,509,511,510.00,510.1773,0.3916,0.03,
2013-05-19 4:33:39 PM=,329,509,511,510.00,510.1785,0.3926,0.03,
2013-05-19 4:33:40 PM=,330,509,511,510.00,510.1815,0.3957,0.03,
2013-05-19 4:33:41 PM=,331,509,511,510.00,510.1838,0.3924,0.03,
2013-05-19 4:33:42 PM=,332,509,511,510.00,510.1895,0.3989,0.03,
2013-05-19 4:33:44 PM=,333,509,511,510.00,510.1813,0.3936,0.03,
2013-05-19 4:33:45 PM=,334,509,511,510.00,510.1978,0.4045,0.03,

```

ภาพที่ 76 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมในรูปแบบ Text File

อุปกรณ์ไฟฟ้าถูกแบ่งเป็น 2 จำพวก คือ อุปกรณ์ไฟฟ้า แบบสองสถานะ (Binary State) และอุปกรณ์แบบหลายสถานะ (Multiple States) ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ลักษณะการใช้งานและสถานะของอุปกรณ์แต่ละชนิด

อุปกรณ์	ลักษณะใช้งาน	สถานะ
โคมไฟตั้งโต๊ะ	คนมีส่วนร่วม	Binary State
เครื่องรับโทรทัศน์	คนมีส่วนร่วม	Binary State
ตู้เย็น	เปิดทำงานตลอดเวลา	Binary State
พัดลม	คนมีส่วนร่วม	Multiple States
เครื่องเป่าผม	คนมีส่วนร่วม	Multiple States
เตารีด	คนมีส่วนร่วม	Binary State
เตาอบไมโครเวฟ	เปิดใช้และปิดเอง	Binary State
เครื่องคอมพิวเตอร์	คนมีส่วนร่วม	Binary State

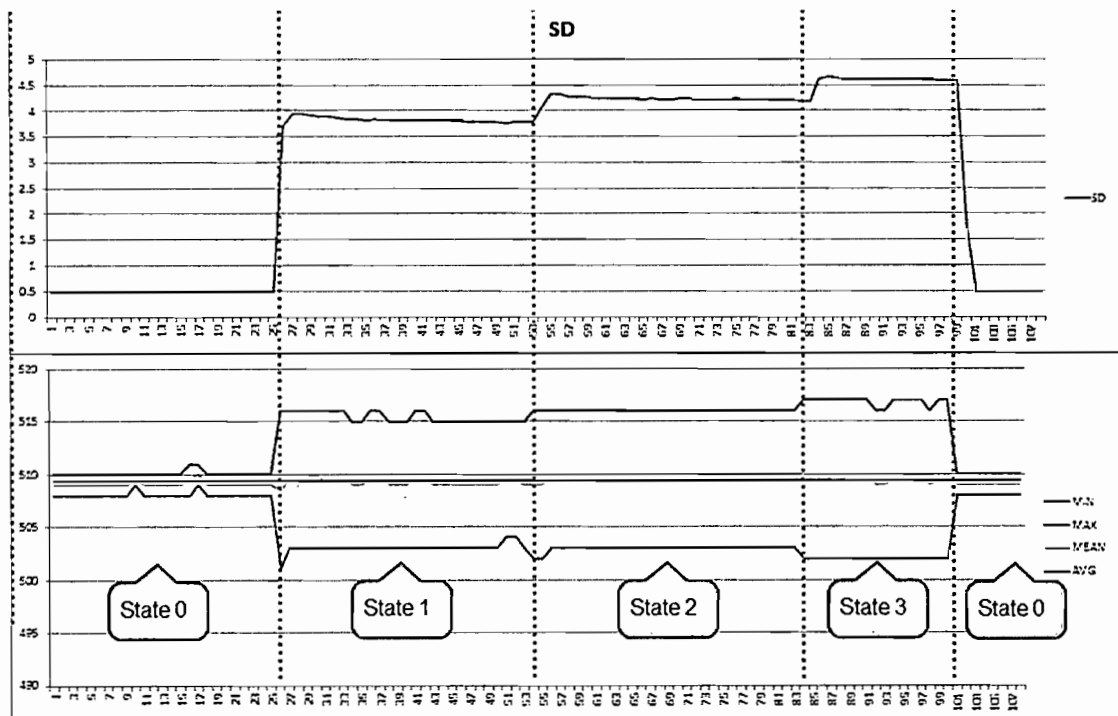


ในการเก็บข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า มาให้ฝั่งเครื่องแม่ข่าย โดยผ่านเครือข่ายเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator ซึ่งข้อมูลที่รับเข้ามานี้จะมีโปรแกรม Agent ตัวหนึ่งทำหน้าที่จัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อความ (CSV ไฟล์ที่ขึ้นด้วยคอมม่า) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ตัวอย่างค่าข้อมูลที่ได้ ตารางที่ 12 ซึ่งข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ปลายทาง ประกอบด้วย ค่าวันที่และเวลาที่อ่าน รหัสอุปกรณ์ บรรทัดที่อ่าน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้

ตารางที่ 12 ข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายรับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

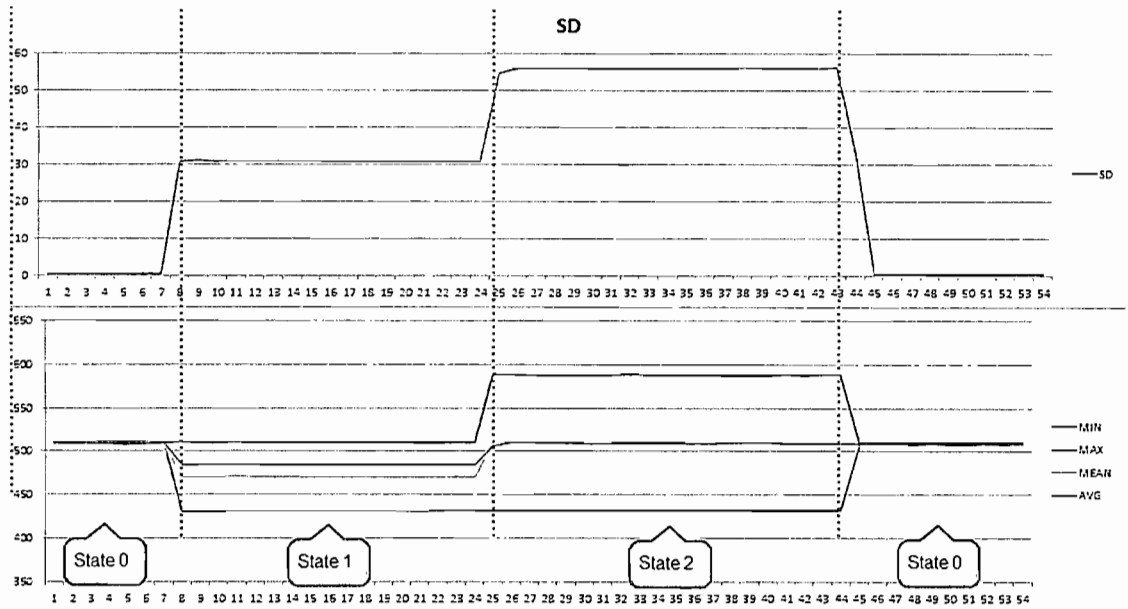
Date Time	EQU	LINE	MIN	MAX	MEAN	AVG	SD	IRMS
2013/02/26 06:59:56	#U1	1	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 06:59:57	#U1	2	509	511	510.00	509.55	0.50	0.04
2013/02/26 06:59:59	#U1	3	509	511	510.00	509.53	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:00	#U1	4	508	511	509.50	509.53	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:01	#U1	5	509	511	510.00	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:03	#U1	6	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:04	#U1	7	430	511	470.50	484.94	30.72	2.39
2013/02/26 07:00:05	#U1	8	430	510	470.00	484.04	30.91	2.30
2013/02/26 07:00:06	#U1	9	430	510	470.00	484.01	30.87	2.28
2013/02/26 07:00:08	#U1	10	431	511	471.00	484.34	30.74	2.28
2013/02/26 07:00:09	#U1	11	431	510	470.50	484.59	30.66	2.31
2013/02/26 07:00:10	#U1	12	431	510	470.50	484.32	30.79	2.32

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแบบหลายสถานะ ตัวอย่างเช่นพัดลมมีอยู่ 3 สถานะ หากดูจากค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด หรือค่าเฉลี่ย ของการเปิดพัดลมแต่ละเบอร์ จะพบว่าค่าเหล่านี้จะไม่สามารถแยกสถานะของการใช้งานกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์นั้น ๆ ได้เลย ซึ่งแตกต่างจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้กระแสไฟฟ้าจะพบว่าสามารถแยกสถานะได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 77) (กราฟด้านบนแสดงถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละสถานะ, รูปด้านล่างแสดงถึงค่าสูงสุด ค่ากลาง ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ย)



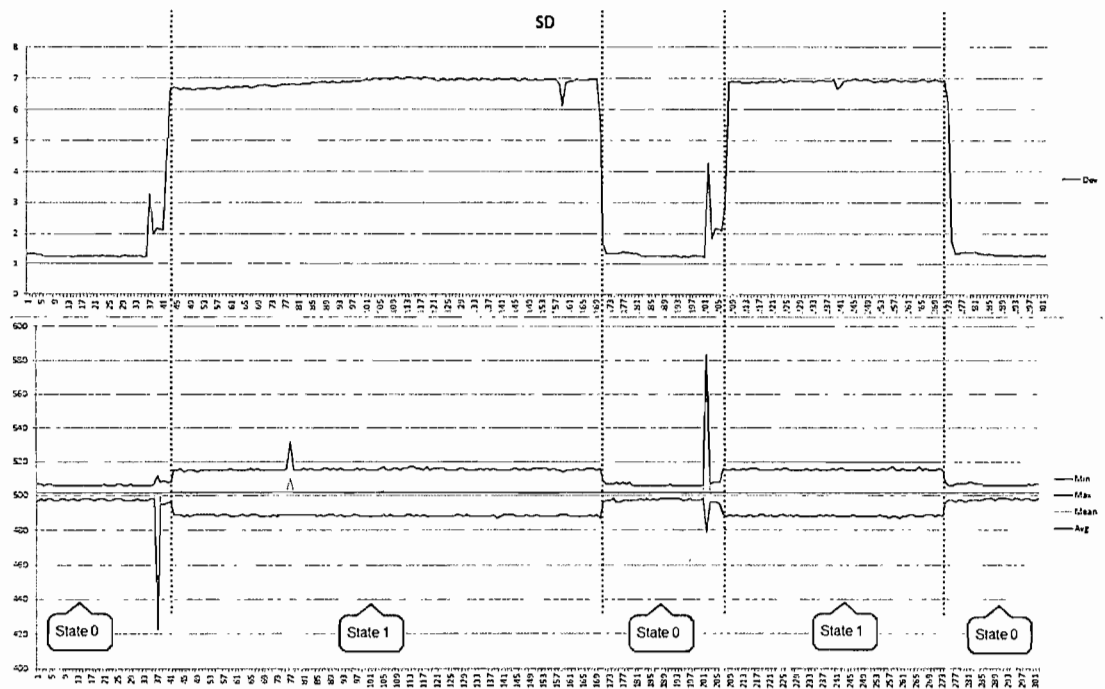
ภาพที่ 77 กราฟข้อมูลของพัลลวม โดยแยกตามสถานะ

แต่ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด หรือค่าเฉลี่ย นั้นยังมีความจำเป็นในการแยกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะแล้ว ค่าเหล่านี้จะแปรผันตามตัวอย่างเช่น เครื่องเป่าผม (ภาพที่ 77) จะเห็นว่าในสถานะที่ 1 นั้นค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด หรือค่าเฉลี่ย จะมีค่าต่ำ และเมื่อเปลี่ยน เป็นสถานะที่ 2 ค่าสูงสุดจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 78 กราฟข้อมูลของเครื่องเป่าผม โดยแยกตามสถานะ

ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแบบสองสถานะ เช่น โตรัทสน์ คณะผู้วิจัยพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการเปิดปิดอุปกรณ์ (ภาพที่ 79)



ภาพที่ 79 กราฟข้อมูลของโทรัทสน์ โดยแยกตามสถานะ

## สร้างตัวแบบเพื่อจำแนกข้อมูล

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล (Data preparation) ก่อนที่จะส่งไปเข้าสู่กระบวนการหาอัลกอริทึมและวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ป้อนอินพุตเข้าไปในระบบหรือโปรแกรมโดยโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Weka เวอร์ชัน 3.6.2 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ด้านการทำเหมืองข้อมูลที่ได้รับการยอมรับและแพร่หลายทั่วโลกโดยโปรแกรมรับแฟ้มงาน (File) ที่อยู่ในรูปแบบที่ถูกคัดลอกจากนั้นจึงผ่านกระบวนการในการทำการจำแนกประเภท

การสร้างโมเดลระบบและการสอนข้อมูล (Building Models and Train Datasets) การเรียนรู้แบบมีการควบคุม (Supervised Learning) เป็นการเรียนรู้ซึ่งต้องมีชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Data) ซึ่งมีทั้งชุดข้อมูลที่เป็นอินพุต และเอาต์พุต ชุดข้อมูลที่ได้มาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลนี้ ยังไม่อยู่ในรูปของเครื่องกลเรียนรู้ (Machine Learning Pattern) เพราะยังไม่มีคลาสแอททริบิวต์ (Class attribute) ที่เป็นตัวบอกสถานะว่าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดไหน ดังนั้นในการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ทดสอบในกระบวนการทดสอบเพื่อสร้างโมเดลต้นแบบการจำแนกข้อมูลการทำเหมืองข้อมูล จึงต้องมีการกำหนดคลาสแอททริบิวต์ในด้านขवासุดของข้อมูล (ชื่อว่า CLASS\_STATE) โดยบ่งบอก ถึงชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า และ State ของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ ก่อนที่จะนำข้อมูลผ่านกระบวนการจำแนกประเภทในหัวข้อถัดไป ตัวอย่างข้อมูลแสดงใน ตารางที่ 13 ซึ่งจะใช้โปรแกรม Weka เป็นเครื่องมือในการจำแนกประเภทต่อไป

ตารางที่ 13 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดพัลลวม

Date Time	EQU	LINE	MIN	MAX	MEAN	AVG	SD	IRMS	CLASS_STATE
2013/02/26 06:59:56	#U1	1.	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04	FAN_STATE0
2013/02/26 06:59:57	#U1	2	509	511	510.00	509.55	0.50	0.04	FAN_STATE0
2013/02/26 06:59:59	#U1	3	509	511	510.00	509.53	0.50	0.04	FAN_STATE0
2013/02/26 07:00:00	#U1	4	508	511	509.50	509.53	0.50	0.04	FAN_STATE0
2013/02/26 07:00:01	#U1	5	509	511	510.00	509.54	0.50	0.04	FAN_STATE0
2013/02/26 07:00:03	#U1	6	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04	FAN_STATE0
2013/02/26 07:00:04	#U1	7	430	511	470.50	484.94	30.72	2.39	FAN_STATE1
2013/02/26 07:00:05	#U1	8	430	510	470.00	484.04	30.91	2.30	FAN_STATE1
2013/02/26 07:00:06	#U1	9	430	510	470.00	484.01	30.87	2.28	FAN_STATE1
2013/02/26 07:00:08	#U1	10	431	511	471.00	484.34	30.74	2.28	FAN_STATE1
2013/02/26 07:00:09	#U1	11	431	510	470.50	484.59	30.66	2.31	FAN_STATE1
2013/02/26 07:00:10	#U1	12	431	510	470.50	484.32	30.79	2.32	FAN_STATE1

ในการใช้เทคนิคเพื่อสร้างตัวแบบในการจำแนกข้อมูล ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Weka ซึ่งข้อมูลที่โหลดเข้าโปรแกรม Weka นี้เป็นชุดข้อมูลของการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ข้อมูลมีแถว (Instances) ทั้งหมด 9,456 แถว และคอลัมน์ (Attributes) ทั้งหมด 6 คอลัมน์ ได้แก่ ประเภทของข้อมูลในแอตทริบิวต์ (Type) จำนวนข้อมูลในแอตทริบิวต์ที่ขาดหายไป (Missing) จำนวนข้อมูลที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Distinct) จำนวนข้อมูลที่ปรากฏขึ้นแค่ครั้งเดียวในแอตทริบิวต์ (Unique) ค่าน้อยสุดในแอตทริบิวต์ (Minimum) ค่ามากสุดในแอตทริบิวต์ (Maximum) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแอตทริบิวต์ (Standard Deviation) ซึ่งมีแอตทริบิวต์ในการจำแนกคือ State ซึ่งบ่งบอกสถานะของการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละสถานะ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 รายละเอียดของแต่ละแอตทริบิวต์ทั้งหมด

Attribute Name	Min	Max	Mean	Average	Standard Deviation	State
Type	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Nominal
Missing	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Distinct	116	105	69	4843	7081	20
Unique	30 (0%)	24 (0%)	22 (0%)	2742 (29%)	5668 (60%)	0%
Minimum	205	505	362.5	2.6	0.289	
Maximum	514	952	661	533.444	116.979	
Mean	489.733	523.159	506.445	506.038	9.871	
Standard Deviation	32.614	34.949	9.546	8.965	20.146	

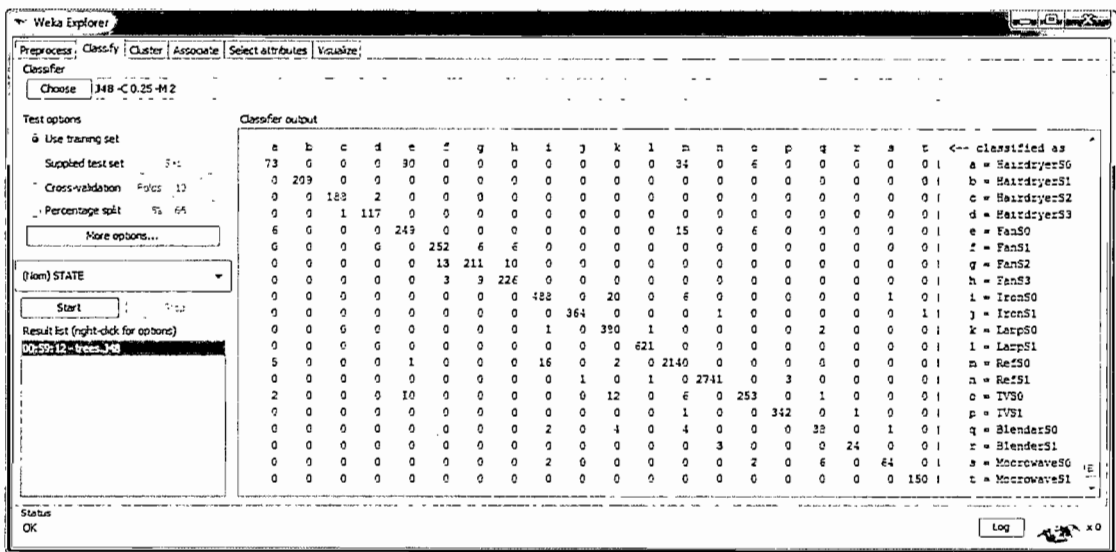
หากดูจากข้อมูลในตารางที่ 14 จะพบว่าไม่มีค่าของข้อมูลที่ขาดหายไป (Missing) อยู่ในแอตทริบิวต์เลย และค่าของแอตทริบิวต์ข้อมูล Standard Deviation มีข้อมูลที่ปรากฏขึ้นแค่ครั้งเดียวในแอตทริบิวต์ (Unique) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์มากที่สุดที่ 60% รองลงมาคือแอตทริบิวต์ข้อมูล Average มีข้อมูลที่ปรากฏขึ้นแค่ครั้งเดียวในแอตทริบิวต์อยู่ที่ 29% ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสามารถช่วยในการจำแนกข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

ในงานวิจัยนี้ได้เลือก 3 เทคนิคมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาว่าเทคนิคใดเหมาะสมที่สุดใน การสร้างตัวแบบ ได้แก่ 3 เทคนิควิธีดังที่จะกล่าวต่อไป

**วิธีที่ 1. เทคนิคการใช้คิซซันทรื**

การทำคิซซันทรื ผู้วิจัยได้ใช้ขั้นตอนวิธี C4.5 เพื่อใช้ในการทำชุดข้อมูลทดสอบ (Trainig Set) โดยมีผลลัพธ์ (ภาพที่ 80) ดังอธิบายด้านล่าง

- เวลาที่ใช้ในการคำนวณเทคนิคนี้อยู่ที่ 0.16 วินาที
- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 9,130 รายการ หรือคิดเป็น 96.5525% ของข้อมูลทั้งหมด
- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลไม่ถูกต้อง 326 รายการ หรือคิดเป็น 3.4475% ของข้อมูลทั้งหมด



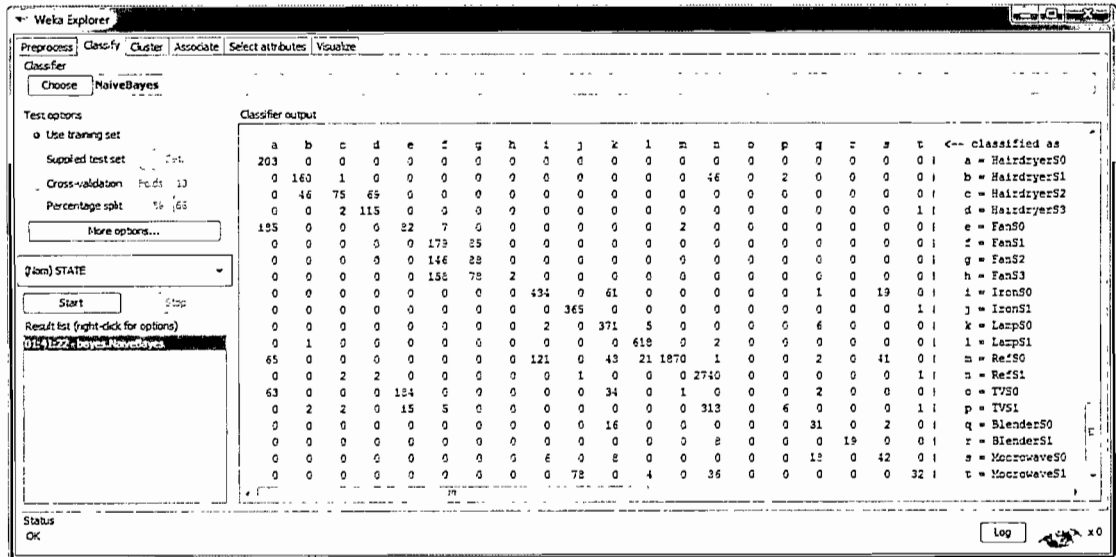
ภาพที่ 80 ผลลัพธ์เทคนิคการใช้คิซซันทรื

**วิธีที่ 2. เทคนิคการใช้นาอีฟ เบย์**

การใช้เทคนิควิธีนาอีฟ เบย์ มีผลลัพธ์ (ภาพที่ 81) ดังอธิบายด้านล่าง

- เวลาที่ใช้ในการคำนวณเทคนิคนี้อยู่ที่ 0.06 วินาที
- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 7,432 รายการ หรือคิดเป็น 78.5956% ของข้อมูลทั้งหมด

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลไม่ถูกต้อง 2,024 รายการ หรือคิดเป็น 21.4044% ของข้อมูลทั้งหมด

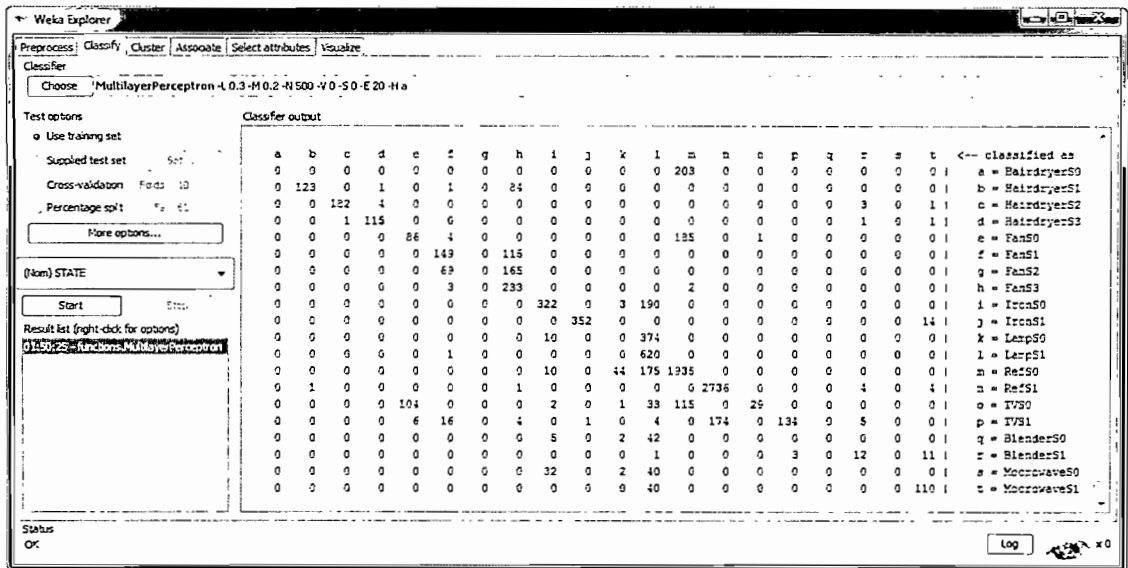


ภาพที่ 81 ผลลัพธ์เทคนิคการใช้นาอีฟ เบย์

วิธีที่ 3. เทคนิคการใช้นิวรอนเน็ตเวิร์ก

การใช้นิวรอนเน็ตเวิร์ก มีผลลัพธ์ (ภาพที่ 82) ดังอธิบายด้านล่าง

- เวลาที่ใช้ในการคำนวณเทคนิคนี้อยู่ที่ 45.82 วินาที
- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 7,138 รายการ หรือคิดเป็น 75.4865% ของข้อมูลทั้งหมด
- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลไม่ถูกต้อง 2,318 รายการ หรือคิดเป็น 24.5135% ของข้อมูลทั้งหมด



ภาพที่ 82 ผลลัพธ์เทคนิคการใช้นิวรอนเน็ตเวิร์ก

**การเปรียบเทียบตัวแบบ และประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบ**

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ 3 เทคนิคที่แสดงมา สามารถสรุปเป็นตารางที่ 15 โดยจะเห็นว่าค่าความถูกต้องของการจำแนกด้วยเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจมีค่าความถูกต้องมากที่สุดอยู่ที่ 94.07% (ใช้การตรวจสอบไขว้ แบบ 10-Fold ที่กำหนดค่า CF=0.25 และ M=2) รองลงมาคือเทคนิควิธีนาอิวเบย์ และเทคนิควิธีโครงข่ายประสาทเทียม ตามลำดับ

ตารางที่ 15 สรุปเปรียบเทียบ 3 เทคนิคในการจำแนกประเภท

Attribute	Classification Technique		
	Decision Tree	Naïve Bayes	Neuron Network
Time (Seconds)	0.16	0.16	54.94
% Correctly	94.0673%	78.5321%	78.0034%
% Incorrectly	5.9330%	21.4679%	21.9966%
Precision	0.939	0.808	0.756
Recall	0.941	0.785	0.778
F-Measure	0.939	0.754	0.755



หลังจากที่ผู้วิจัยได้เลือกเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจในการสร้างตัวแบบเพื่อนำไปใช้งานจริง (เนื่องจากความแม่นยำสูงกว่าอีก 2 เทคนิคมาก) ผู้วิจัยจำเป็นต้องปรับตัวแปรของต้นไม้ตัดสินใจ เพื่อให้ได้ตัวแบบที่มีค่าประสิทธิภาพดีที่สุด โดยผู้วิจัยทำการปรับค่าตัวแปรในการทดสอบดังนี้

1. Confidences Factor (CF) มีการกำหนด 3 ค่าคือ 0.1, 0.25 และ 0.5
2. Minimum Number Pruning (M) มีการกำหนดค่าคือ 1 และ 2

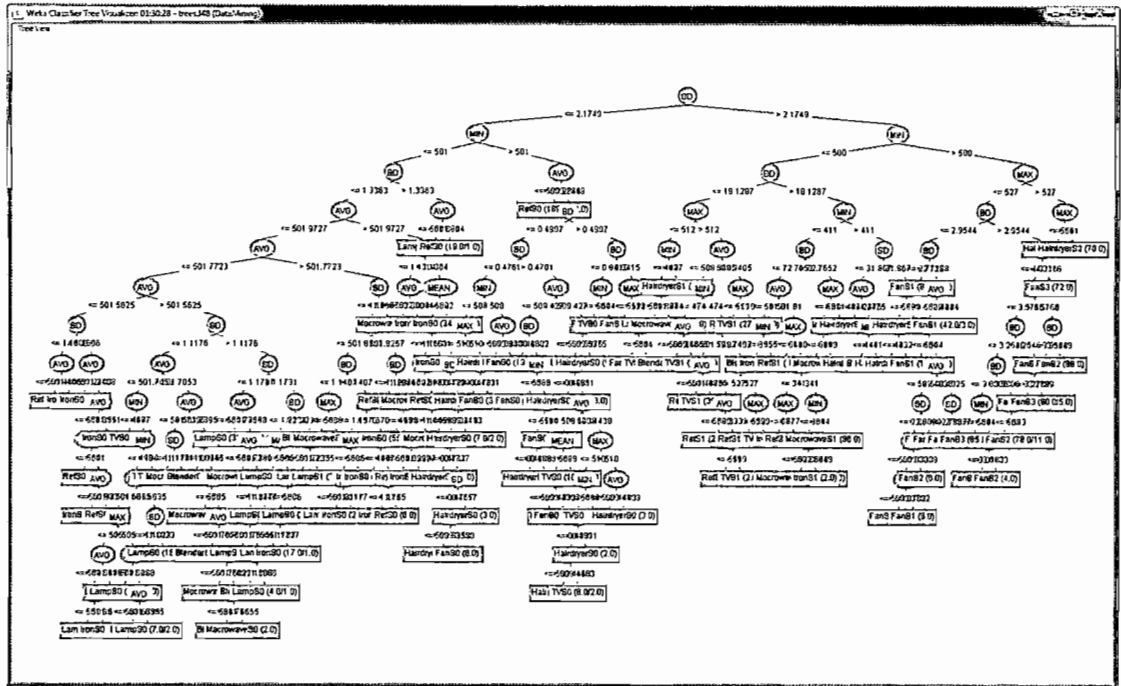
แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มสูงสุด และมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายผลสูงสุด โดยใช้แบบจำลองที่มีการใช้พารามิเตอร์ต่างกัน 2 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในการเลือกใช้ต้นไม้ตัดสินใจ

Confidences Factor (CF)	Minimum Number Pruning (M)	Time	% Correctly	Leaves	Tree	Precision	Recall	F-Measure
0.1	1	0.15	94.1413	125	249	0.941	0.941	0.991
0.25	1	0.17	94.2047	171	341	0.941	0.942	0.940
0.5	1	0.17	94.2682	195	389	0.942	0.943	0.941
0.1	2	0.16	94.0778	101	201	0.941	0.941	0.940
0.25	2	0.28	94.0673	143	285	0.939	0.941	0.939
0.5	2	0.16	94.0567	159	317	0.940	0.941	0.939

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคคิซิทันตรีโดยใช้อัลกอริทึม C4.5 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเทคนิคนาอ็พ เบย์ และ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ผลการปรับค่าตัวแปรผู้วิจัยวัดประสิทธิภาพของการจำแนกที่ดีที่สุดด้วยวิธี Cross-Validation แบบ Folds 10 โดยพิจารณาจากค่าความถูกต้อง (Correctly) สูงสุดอยู่ที่ 94.2682% ค่าความแม่นยำ (Precision) สูงสุดอยู่ที่ 0.942 ค่าระลึก (Recall) สูงสุดอยู่ที่ 0.943 และค่าอัตราการเรียนรู้จำ (F-Measure) สูงสุดอยู่ที่ 0.941 ดังนั้น การปรับค่าตัวแปรปัจจัยความเชื่อมั่น (Confidences Factor) ที่ค่าเท่ากับ 0.5 และ จำนวนข้อมูลขั้นต่ำ (Minimum Number Pruning) ที่ค่าเท่ากับ 1 ทำให้แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงสุด ด้วยเหตุนี้จึงนำเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ สามารถแสดงออกมาในรูปแบบของแบบจำลองแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจสำหรับทำนายการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า

แต่ละชนิด ดังแสดงในรูปของต้นไม้ตัดสินใจ (ภาพที่ 83) มีจำนวน Leaf อยู่ที่ 195 และมีขนาดของต้นไม้ อยู่ที่ 389



ภาพที่ 83 แบบจำลองแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจสำหรับทำนายการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด (เพิ่มเติมในภาคผนวก)

### การนำตัวแบบไปใช้จริง

จากเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจที่ได้เปรียบเทียบกับและประเมินประสิทธิภาพจนได้แบบจำลองแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจสำหรับทำนายการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยลักษณะของกฎจะอยู่ในรูปแบบ IF ... THEN ... เป็นรูปแบบโปรแกรมภาษา C

ซึ่งผู้วิจัยพบว่าเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจนอกจากจะดีกว่าเทคนิค naïf เบย์ และ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ในแง่ของความถูกต้อง และความรวดเร็วแล้ว การเขียนโปรแกรมในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในเชิงการตัดสินใจแบบใช้เงื่อนไข IF ... THEN ... จะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับทำงานได้เร็ว และง่ายต่อการพัฒนาเนื่องด้วยเงื่อนไขการตัดสินใจไม่ซับซ้อน ซึ่งเป็นข้อดีของการนำเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจไปใช้

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผล

#### อภิปราย

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ โดยผู้วิจัยพบว่ากฎที่สร้างจากเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมีความแม่นยำในการจำแนกสูงกว่ากฎที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคนาอึฟ เบย์ และเทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ก ระบบที่นำเสนอสามารถตรวจสอบการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาที่ระบบส่วนกลาง ซึ่งระบบจะใช้กฎที่อิงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าทางสถิติอื่น ๆ ในการจำแนกชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างแม่นยำ ซึ่งระบบมีค่าเปอร์เซ็นต์ของการทำนายถูกต้อง (Percentage Correct) ของเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจอยู่ที่ 94.2682 % โดยค่าที่สามารถสืบค้นคำตอบสูงสุด (Precision) มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.942 ค่าที่ได้จากการตรวจพบข้อมูล (Recall) มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.943 และค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่สามารถสืบค้นคำตอบสูงสุดกับค่าที่ได้จากการตรวจพบข้อมูล (F-measure) มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.941 เมื่อใช้กฎที่ได้จากเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ระบบที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง และเป็นส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานในที่อยู่อาศัย

ส่วนหนึ่งในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ถูกตีพิมพ์ในงานประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 9 (NCCIT2013) ที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในหัวข้อเรื่อง “ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน” และงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยของคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา ปี พ.ศ. 2556

#### สรุปผลการวิจัย

สรุปผลในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับการใช้กระแสไฟฟ้า ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล และขั้นตอนการจำแนกประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนวิธีสามารถสรุปได้ดังนี้

### 1. ขั้นตอนการออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับการใช้กระแสไฟฟ้า

ขั้นตอนวิธีนี้นับว่าเป็นส่วนเริ่มต้นของงานวิจัย เนื่องจากเป็นส่วนที่จะต้องออกแบบอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ให้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ ออกมา ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงมีความสำคัญมากที่สุด ผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าโดยใช้ IC เบอร์ ACS712 และ ระบบสมองกลฝังตัว Arduino มาใช้ในการตรวจจับการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด แล้วส่งผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Zigbee ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทดสอบและพบว่า Xbee ไม่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ในลักษณะแบบตามเวลาจริง (Real Time) และระยะทางมีผลกับความสามารถในการส่ง ซึ่งมีผลกับการเกิดความผิดพลาดและการสูญเสียของข้อมูล และการส่งข้อมูลจำเป็นที่จะต้องมีการเก็บข้อมูลไว้ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก่อนแล้วค่อยสรุปข้อมูลส่งออกไป ในที่นี้ค่าการสรุปข้อมูลที่ดีที่สุดอยู่ที่ 4000 รายการต่อการส่งข้อมูล ซึ่งมีอัตราการส่งอยู่ที่ประมาณ 1 วินาทีต่อการส่งข้อมูล

### 2. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยขั้นนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับในรูปแบบปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานอยู่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งมาส่วนกลางผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อนำมาช่วยจำแนกหาชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ไฟฟ้า จำนวน 8 ชนิด ชนิดละ 5 เครื่อง ทั้งหมดเป็นจำนวน 40 เครื่อง โดยทำการตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ในทุกสถานะจากสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง ซึ่งข้อมูลที่ได้มาเพื่อวิเคราะห์ มีจำนวนข้อมูล 9,456 รายการ

### 3. ขั้นตอนการจำแนกประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบเทคนิคในการจำแนกข้อมูล 3 เทคนิค อันได้แก่ เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิคนาอิว เบย์ และเทคนิคนิเวรอนเน็ตเวิร์ค จากการทดสอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอย่างจำนวน 40 เครื่อง คณะผู้วิจัยพบว่า กฎในการจำแนกที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้งานกระแสไฟฟ้า และ ระบบที่นำเสนอสามารถจำแนกประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง โดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 5.73% เมื่อจำแนกโดยใช้อัลกอริทึม C4.5 ที่สร้างเป็นแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ

## ข้อเสนอแนะ

### 1. ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้

งานวิจัยชิ้นนี้นอกจากจะมุ่งเน้นในการพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยประหยัดพลังงานในภาคอยู่อาศัยแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม และส่วนอื่น ๆ เพื่อเป็นการช่วยส่งเสริมการประหยัดพลังงานโดยรวมของประเทศ อีกทั้งรูปแบบในการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ผู้วิจัยได้คิดเป็นแนวทางใหม่ในการตรวจสอบการใช้งานกระแสไฟฟ้าและสามารถพัฒนาต่อเพื่อหาสภาพผิดปกติของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ๆ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็นลง

### 2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

สำหรับงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป ผู้วิจัยเห็นว่าควรที่จะพัฒนาระบบต่อให้สามารถจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าหลากชนิดขึ้น และ ให้สามารถจำแนกในกรณีที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายตัวต่อกับเต้าเสียบ อีกประเด็นหนึ่งคือการเพิ่มระยะทางและลดค่าความผิดพลาดของการส่งข้อมูลของตัวอุปกรณ์เครือข่ายเช่นเซอร์ไร้สาย นอกจากนี้ ระบบควรที่จะมีการสั่งงานให้ ปิด หรือ เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างชาญฉลาด โดยเพิ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้และข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่นภายในอาคาร เพื่อดูแลทั้งด้านการใช้พลังงานและความปลอดภัยในอาคาร

## บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “การใช้ไฟฟ้าและการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศไทย,” 2011.
- [2] เจน สงสมพันธ์, เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 1, กรุงเทพมหานคร: เม็ดทรายพรีนติ้ง, 1994.
- [3] R. L. Boylested และ L. Nashelsky , Electronics Devics and Circuit Theory 7 th edition, Prentice-Hall,Inc., 1999.
- [4] สมพัฒน์ รุ่งตะวันเรืองศรี, “210-211 Electric Circuits,” Prince of Songkla University, Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, 2000, pp. 1-7.
- [5] สถาบันวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, “ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (พขพ) ด้าน ไฟฟ้า,” Bangkok, 2010, pp. 49-50.
- [6] LEONICS, ความรู้เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้า [Online] [Referenced: 2012, June 2], Available: [http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/current\\_knowledge.php](http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/current_knowledge.php), 2009.
- [7] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., “Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs),” ใน *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks*, IEEE Standard, 2011.
- [8] Sinem Coleri Ergen, Zigbee/IEEE 802.15.4 Summary, eecs.berkeley.edu, 2004.
- [9] NXP Semiconductors, Zigbee Software Architecture > Detailed Architecture [Online] [Referenced: 2012, June 2], Available: <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/html/module3/module3-4.htm>.
- [10] Fred Eady, Hands-On Zigbee: Implementing 802.15.4 with Microcontrollers, 2007.
- [11] Thai Easy Elec, Zigbee and Xbee BASIC ตอน Zigbee คืออะไร [Online] [Referenced: 2012, June 2], Available: <http://www.thaieasyelec.com/electronics-in-chapter/what-is-zigbee.html>.
- [12] ETT Co., Ltd., เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino, 2009.
- [13] DFRobot, "DFRobot.com," [Online]. Available: [http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&filter\\_name=dreamer&product\\_id=786](http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&filter_name=dreamer&product_id=786). [Accessed 15 February 2013].
- [14] คณะวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, Data Mining การทำเหมืองข้อมูล.

- [Online] [Referenced: 2012, June 10], Available:  
<http://www.msit.mut.ac.th/newweb/phpfile/show.php?Qid=235>.
- [15] เศษฐา จิรไพศาลกุล, “การทำเหมืองข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การขาย,” 2007.
- [16] zkan, “Thailand's Machine Learning Research,” 28 January 2013. [ออนไลน์]. Available:  
<http://thaiml.org/?p=161>.
- [17] Chee-Yee Chong; Kumar, S.P., “Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges,” ใน *Proc IEEE*, August 2003.
- [18] Deborah Estrin, David Culler, and Kris Pister, “Connecting the Physical World with Pervasive,” ใน *IEEE Pervasive Computing*, March 2002.
- [19] G.J. Pottie, W.J. Kaiser, “Wireless Integrated Sensor Networks,” ใน *Communication of the ACM*, May 2000.
- [20] Akyildiz, I.F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, “A Survey on Sensor Networks,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 102-114, August 2002.
- [21] Robert Faludi , Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing, 2010: O'Reilly .
- [22] N. Katenka, E. Levina, and G. Michailidis, “A Cost-Efficient Approach to Wireless Sensor Network Design,” Technical report #474, Dept. of Statistics, Univ.of Michigan, 2007.
- [23] Tiwari, Ankit et. al, “Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for,” *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN) Volume 3 Issue* , March 2007.
- [24] Chiranjib Patra, Anjan Guha Roy, Samiran Chattopadhyay, and Parama Bhaumik, “Designing Energy-Efficient Topologies for Wireless Sensor Network: Neural Approach,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, เล่มที่ 2010.
- [25] Heemin Park , Jeff Burke, Mani B. Srivastava, “Design and implementation of a wireless sensor network for intelligent light control,” ใน *the 6th international conference on Information processing in sensor networks*, Cambridge, Massachusetts, USA, April 25-27, 2007.
- [26] C. Sharp, S. Schaffert, A. Woo, N. Sastry, C. Karlof, S. Sastry, and D. Culler, “Design and implementation of a sensor network system for vehicle tracking and autonomous interception,” *the Second European Workshop*, pp. 93-107, 2005.

- [27] Thangavelu, A., K. Bhuvaneshwari and K. Kumar, "Location identification and vehicle tracking using VANET (VETRAC)," ใน *IEEE Int. Conf. Sign. Proc. Commun. Network.*, 1: 112-116, 2007.
- [28] Erin-Ee-Lin Lau, Boon-Giin Lee, Seung-Chul Lee, Wan-Young Chung, "Enhanced RSSI-Based High Accuracy Real-Time User Location Tracking System for Indoor and Outdoor Environments," *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, เล่มที่ 1, %12, June 2008.
- [29] A. Schoofs, A. Guerrieri, D.T. Delaney, G.M.P. O'Hare, and A.G. Ruzzelli, "ANNOT: Automated Electricity Data Annotation Using Wireless Sensor Networks," ใน *Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), 2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference*, 21-25 June 2010.
- [30] S. O'Connell, J. Barton, E. O'Connell, B. O'Flynn, E.M. Popovici, S.C. O'Mathuna, A. Schoofs, A.G. Ruzzelli, and G.M.P. O'Hare, "Remote Electricity Actuation and Monitoring mote," *Proc. DCOSS*, pp. 1-6, 2011.
- [31] Michael Zeifman, Craig Akers, Kurt Roth, "Nonintrusive appliance load monitoring (NIALM) for energy control in residential buildings," ใน *Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting Conference*, Copenhagen, 2011.
- [32] Anthony Rowe, "Appliance Classification and Energy Management Using Multi-Modal Sensing," ใน *Proc. BuildSys*, 2011.
- [33] Gehtke, J.; Ramakrishnan, R.; Ganti, V, "Rainforest - A framework for fast decision tree construction of large datasets," *Proceeding of International Conference Very Large Database*, pp. 416-427, 1998.
- [34] กวีวัฒน์ อ่องล่อ, "การวิเคราะห์ระดับความน่าเชื่อถือของลูกค้าหนีภัยตรกรของมูลนิธิโครงการหลวงด้วยต้นไม้ของการตัดสินใจ," การศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2011.
- [35] ภัทรารุณี แสงศิริ, "การตัดแยกประเภทของมะเร็งเม็ดเลือดขาว โดยใช้วิธีการจัดอันดับ ร่วมกับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน," ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 2010.
- [36] สุรสิทธิ์ อู่ปิดฉาววงศ์, "ระบบบุคคลชีวมาตรโดยใช้ไบฟูในการรู้จำด้วยตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ บัณฑิต



วิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2010.

- [37] อธิรัชย์ อินลุ่มเพท, “การจำแนกการแสดงออกทางอารมณ์ใบหน้าโดยใช้ซอฟต์แวร์แมชชีน,” การศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2010.
- [38] อภิศดา บุญเรืองจักร, “การรู้จำท่าทางมือด้วยวิธีซอฟต์แวร์แมชชีน,” การศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2009.
- [39] นิรชรา ไชยแสง, “การเพิ่มประสิทธิภาพการเปรียบเทียบลายนิ้วมือโดยใช้ซอฟต์แวร์แมชชีน,” การศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2011.
- [40] Akshat Surana, R. Uday Kiran, P. Krishna Reddy, “An Efficient Approach to Mine Periodic-Frequent Patterns in Transactional Databases,” ใน *PAKDD'11 Proceedings of the 15th international conference*, 2011.

ภาคผนวก







King Mongkut's University of Technology North Bangkok



This certifies that

***Worachet Buasuwarn***

Has presented a research paper at

The 9<sup>th</sup> National Conference on Computing and Information Technology

9<sup>th</sup>-10<sup>th</sup> May 2013

A handwritten signature in cursive script, reading 'Dr. Meesad'.

Associate Professor Dr. Phayung Meesad  
General Chair

# ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้า ผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน

## Appliance classification to monitor power consumption with wireless sensor network for saving energy

วรเชษฐ์ บัวสุวรรณ<sup>1</sup> และ นัฐนนท์ ลีลาตระกูล<sup>2</sup>

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

<sup>1</sup>54910167@live.buu.ac.th, <sup>2</sup>nutthanon@buu.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอการจำแนกอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจนับค่าการใช้กระแสไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ผ่านระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ในการวัดค่าการใช้พลังงานกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละอุปกรณ์นั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจนับในรูปแบบปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานอยู่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งมาส่วนกลางผ่านระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อนำมาช่วยจำแนกหาชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ ซึ่งใช้เทคนิคแบบอิงกฎเกณฑ์โดยระบบผู้เชี่ยวชาญ (Rule-Based Expert System) คณะผู้วิจัย ๆ คาดว่าระบบที่นำเสนอจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปลายทาง (แทนที่จะตรวจสอบที่แผงไฟฟ้าส่วนกลาง) ทำให้สามารถรับรู้ถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวว่ามีสถานะการทำงานที่ปกติหรือไม่ และลดข้อจำกัดในเรื่องการย้ายอุปกรณ์ไปใช้ยังจุดอื่น ๆ โดยระบบสามารถรับรู้ได้อัตโนมัติว่าตัวอุปกรณ์ย้ายไปอยู่ที่ตำแหน่งใด และยังสามารถถูกพัฒนาต่อให้มีการควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย อันจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานโดยไม่กระทบต่อพฤติกรรมของผู้ใช้ จากการทดสอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอย่าง จำนวน 40 เครื่อง คณะผู้วิจัยพบว่า 1) การจำแนกที่มีประสิทธิภาพต้องใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วย และ 2) ระบบที่นำเสนอสามารถจำแนกประเภทได้อย่างถูกต้องโดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 5%

**คำสำคัญ:** การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย  
เทคนิคแบบอิงกฎเกณฑ์ ระบบผู้เชี่ยวชาญ

### Abstract

This research presents a Rule-based system for appliance classification by analyzing each appliance's electricity usage. The data are measured by sensor nodes and sent to a server through a wireless sensor network. To measure actual electrical power consumed by each device, we designed sensor circuits, each of which is deployed inside each power outlet. Then, the measured data can be sent to the centralized system via the wireless sensor network. The system use the data to classify a type of each appliance connected to each of the outlet based on rules derived by experts aiming to save energy. Since this research is to be detecting electrical usage at each outlet (instead of at the main circuit), the system can be developed further to help identifying the abnormal operation of each electrical appliance, and to automatically recognize the device as it is moved to another outlet, making possible automatic on/off control of each device. So, it will provide the energy savings without affecting to normal behavior of the users. The test result from 40 devices show 1) standard deviation of measured electrical current is an import metric for deriving the efficient classification rules, and 2) the system can classify correctly with 5% error.

**Keyword:** Appliance Classification, Wireless Sensor Network, Rule-Based, Expert System.

## 1. บทนำ

ปัญหาการสูญเสียพลังงานจากการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ นั้น เป็นปัญหาที่สำคัญ ที่เราไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตัวเอง ไม่ว่าจะเป็นการที่เราเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้โดยที่ไม่มีการใช้งาน และการที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเสื่อมประสิทธิภาพทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ ปัญหาสภาพการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ เช่น การทำงานเป็นปกติหรือไม่ มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าไร และมีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ามากน้อยแค่ไหน สามารถเกิดขึ้นทั้งในภาคครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นเหล่านี้ เป็นปัญหาเชื่อมโยงไปถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศ

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านเกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และเป็นส่วนหนึ่งของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในอาคารที่อยู่อาศัย ทำให้เจ้าของบ้านไม่สามารถรับรู้จากใบแจ้งค่าไฟฟ้าว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด ไม่สามารถประเมินอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ว่ามีการใช้พลังงานที่ผิดปกติ หรือสูญเสียพลังงานไปมากน้อยเพียงใด เช่น พัดลมที่เปิดไว้โดยที่ไม่มีผู้ใช้งาน หลอดไฟเพดานที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่ ตู้เย็นที่เสื่อมสภาพมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นปกติ ซึ่งหากเรารู้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เราจะสามารถวิเคราะห์และวางแผนในการจัดการด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่ต้องใช้ความรู้ลึกของผู้ใช้ในการคาดเดา

อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าวรวมทั้งพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ (จากการตรวจจับความเคลื่อนไหว แสง เสียง และความร้อนของสภาพแวดล้อม) สามารถถูกนำมาใช้ตรวจสอบการใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน โดยค่าต่าง ๆ ข้างต้นถูกส่งผ่านระบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายพลังงานต่ำ (Low-Power Wireless Sensor Network) นอกจากนี้เครือข่ายไร้สายช่วยทำให้ระบบส่วนกลางสามารถเข้าถึง ควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์รับรู้ (เซนเซอร์) จากระยะไกลได้ ทำให้สะดวกที่จะจัดการการใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบทันที (Real Time) คณะผู้วิจัยเห็นว่าการประหยัดพลังงานด้วยวิธีวิเคราะห์การกินไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าพร้อมกับพฤติกรรมของผู้ใช้เป็นวิธีที่ดี เพราะแก้ไขที่ต้นเหตุคือการใช้งานไฟฟ้าเปลืองของผู้ใช้ได้ โดยไม่ทำ

ให้มาตรฐานการดำเนินชีวิตประจำวันของแต่ละคนลดน้อยถอยลงไป เป็นการประหยัดจาก “ส่วนเกินของการใช้ชีวิตประจำวัน” (ในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ คณะผู้วิจัยใช้แต่ข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าในการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าเท่านั้น ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ใช้จะถูกนำมาใช้ในงานที่จะดำเนินการต่อไปเพื่อการจำแนกที่แม่นยำขึ้น)

เพื่อตอบโจทย์ปัญหาการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารบ้านเรือนดังกล่าว ทำให้ระบบต้องมีความสามารถจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ และเป็นอัตโนมัติ (ระบบต้องการความรู้หรือข้อมูลเข้าจากผู้ติดตามครัวเรือนน้อยที่สุด) โดยหลังจากการจำแนก ระบบจะรู้ว่าอุปกรณ์ชนิดใดกำลังถูกใช้งานอยู่ที่ใด ทำให้สามารถตัดสินใจในการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องแม่นยำ ในการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงเสนอระบบที่สามารถที่จะจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ และรับรู้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อตรวจจับการใช้กระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละเครื่องใช้ในช่วงเวลาจริง

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยศึกษาบทความอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย ได้แก่ Chee-Yee Chong และคณะ (2003) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges" [1]; Deborah Estrin และคณะ (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Connecting the Physical World with Pervasive Networks" [2]; G.J. Pottie และคณะ (2000) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Wireless Integrated Networks Sensor" [3]; และ I.F. Akyildiz และคณะ (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "A Survey on Sensor Networks" [4] โดยผลงานวิจัยทั้ง 4 พยายามให้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย การประยุกต์ใช้ในแบบต่าง ๆ (เช่น การประยุกต์ใช้ในค่ายทหาร, การประยุกต์ใช้เป็นเครื่องตรวจจับภัยพิบัติ, การประยุกต์ใช้ในการตรวจจับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในตัวคนไข้และในโรงพยาบาล, การประยุกต์ใช้ในบ้าน ฯลฯ) นอกจากนี้ งานวิจัยดังกล่าวยังกล่าวถึง ข้อจำกัดและประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย

ในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ของงานวิจัยในอดีต การตรวจวัดโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป จะวัดค่าการใช้กระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเป็นหลัก ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจะถูกนำมาจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า ในงานวิจัย “Applying Power Meters for Appliance Recognition on the Electric Panel” [5] วัดพลังงานไฟฟ้า (Watt) ที่ตู้ไฟฟ้าหลักของบ้าน (Main Circuit) โดยมีการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า จากอุปกรณ์ตรวจจับพลังงานไฟฟ้า “Watt Meter” โดยจะทำการเก็บข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า จำนวน 7 ตัวอย่าง ก่อนที่ทำการสรุปผลข้อมูลส่งไปยังส่วนกลาง โดยมีการวัดค่ากลาง (Mean), ค่ามากที่สุด (Max), ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation), ค่าตัวประกอบยอดคลื่น (Crest Factor), ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปคลื่นไฟฟ้า (Form Factor), อัตราค่ายอดต่อค่าเฉลี่ย (Peak to average ratio) และ ช่วงเวลาที่อุปกรณ์จะเปลี่ยนสถานะจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่น้อยที่สุดไปเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่มากที่สุด

งานวิจัย “ANNOT: Automatic Electricity Data Annotation Using Wireless Sensor Network” [6] เสนอวิธีการตรวจวัดและประเมินการใช้พลังงานของเครื่องใช้ในบ้าน โดยมีการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าจุดเดียวที่ตู้ไฟฟ้าหลักของบ้าน ซึ่งเซนเซอร์ต่าง ๆ (ได้แก่ เซนเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ แสง เสียง และความสั่นสะเทือนเมื่อมีคนเปิดหรือปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า) ถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบโหลดการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้า

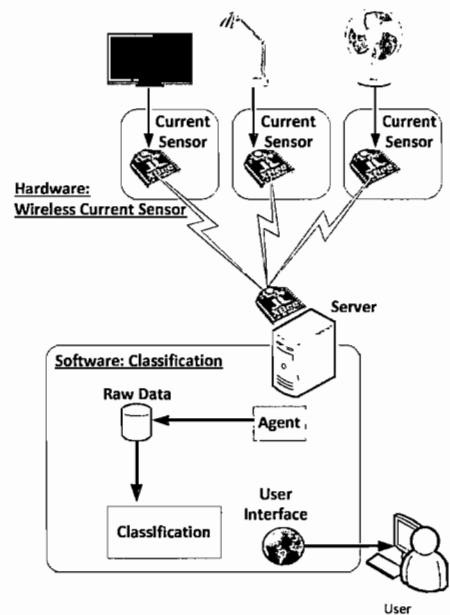
ปัญหาของระบบการตรวจวัดของทั้ง [5 และ 6] ที่กล่าวมา คือ การวัดค่ากระแสไฟฟ้า ณ จุด ๆ เดียว (ที่ตู้ไฟฟ้าหลัก) แม้ อาจจะทำให้ประหยัดต้นทุนในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าก็จริง แต่ไม่สามารถควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ในแต่ละจุดย่อยได้ การจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อาศัยความน่าจะเป็นที่อาจทำให้ การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าผิดพลาด อีกทั้งระบบไม่สามารถรู้ ตำแหน่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้น ผู้ใช้ จำเป็นต้องรู้ที่ตั้งของอุปกรณ์นั้น ๆ เอง ดังนั้นงานวิจัย [5 และ 6] ไม่สามารถช่วยผู้ใช้ในกรณีที่ผู้ใช้เคลื่อนย้ายอุปกรณ์ไฟฟ้า ไปใช้งานยังตำแหน่งอื่น ๆ ในบ้าน และต้องการควบคุมการเปิด ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวผ่านเครือข่ายทางไกล ผู้ใช้จึง จำเป็นต้องใช้เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายเข้ามาช่วย โดย

จำเป็นต้องวางอุปกรณ์รับรู้ไว้ใกล้เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว ถึงจะสามารถตรวจสอบสภาพการใช้งานของอุปกรณ์นั้น ๆ และควบคุมการเปิดปิดได้ แต่การซื้ออุปกรณ์รับรู้หลายๆชนิดมาใช้ ในการวิเคราะห์นั้นก็อาจจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายขึ้นอีกด้วย

คณะผู้วิจัยเห็นว่า ราคาของเครือข่ายไร้สายมีแนวโน้มลดลง เรื่อย ๆ ทำให้คุ้มค่าหากเราสามารถตรวจสอบการใช้ไฟฟ้า และควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวโดยระบบสามารถควบคุมผ่านเครือข่ายได้แบบอัตโนมัติ ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานได้ โดยไม่กระทบต่อพฤติกรรมของผู้ใช้งาน

### 3. การติดตั้งเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย และ การ จำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการจำแนกประเภทของอุปกรณ์ ไฟฟ้า คณะผู้วิจัยออกแบบระบบโดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ตรวจจับลักษณะการใช้ไฟฟ้า ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด และส่วนการจำแนกอุปกรณ์ ไฟฟ้าแต่ละชนิด ดังแสดงในภาพที่ 1



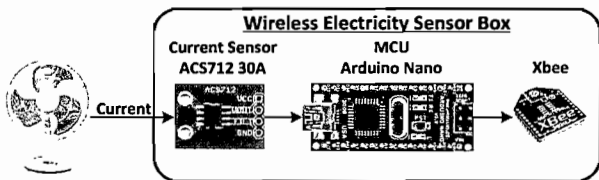
ภาพที่ 1: ระบบจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย

#### 3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ตรวจจับลักษณะการใช้ไฟฟ้า

ในการวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าแบบต่อใน วงจร (In Line) โดยใช้ไอซีตรวจสอบกระแสไฟฟ้า เบอร์ ACS712-30A เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง -30A ถึง 30 A ซึ่ง



การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า จะถูกแปลงออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยมีอัตราการแปลงค่าอยู่ที่ 66 mV/A ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้านี้ จะถูกส่งมาให้แผ่นวงจร Arduino Nano [7] ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ATMEGA 32U4 โดยมีความเร็วนาฬิกาอยู่ที่ 16 MHz เป็นตัวประมวลผล โดยจะทำการเก็บข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจำนวน 4000 ตัวอย่าง แล้วจึงสรุปข้อมูลก่อนส่งไปให้กับเครื่องแม่ข่ายกลางผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) [8] โดยมีรูปแบบการทำงานทางด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2: การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

ในการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์มายังเครื่องแม่ข่ายกลางจะมีข้อมูลที่ส่ง ตามตารางที่ 1 ได้แก่ ค่าน้อยสุด (Min), ค่ามากที่สุด (Max), ค่ากลาง (Mean), ค่าเฉลี่ย (Average), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแส นอกจากนี้ยังส่งค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าจริง (Root Mean Square) ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ในขณะนั้น

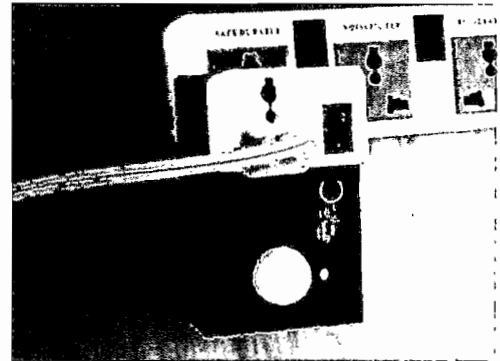
ตารางที่ 1: ตัวแปรที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ส่งค่ามาให้กับเครื่องแม่ข่าย

ตัวแปร	สมการ	ความหมาย
$D_{min,t}$	$Min\{D_1, \dots, D_{i-3999}\}$	ค่าน้อยสุดของค่าที่วัด
$D_{max,t}$	$Max\{D_1, \dots, D_{i-3999}\}$	ค่ามากที่สุดของค่าที่วัด
$D_{mean,t}$	$\frac{(D_{max,t} + D_{min,t})}{2}$	ค่ากลางของค่าที่วัด
$D_{avg,t}$	$\frac{D_i}{4000}$	ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัด
$D_{sd,t}$	$\sqrt{\frac{1}{4000} \sum (D_i - D_{mean,t})^2}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่วัด
$I_{rms,t}$	$\sqrt{\frac{1}{4000} \sum I_i^2}$	ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าจริง

$D_i$  = ผลรวมข้อมูลที่อ่านจาก Sensor จำนวน 4000 รายการ  
 $= D_1 + D_{i+1} + \dots + D_{i-3999}$

$I$  = ค่ากระแสไฟฟ้า

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบต้นแบบ ดังภาพที่ 3 และนำไปวัดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวน 8 ชนิด ตามตารางที่ 2 โดยทำการทดสอบชนิดละ 5 ตัว รวมทั้งหมด 40 ตัว



ภาพที่ 3: ต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

เมื่อเครื่องแม่ข่ายรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ส่งผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ข้อมูลจะถูกจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อความ (Text File) ก่อนที่จะนำเข้าระบบฐานข้อมูล ตัวอย่างค่าข้อมูลที่ได้อีกแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายรับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

Date Time	MIN	MAX	MEAN	AVG	SD	IRMS
2013/02/26 06:59:56	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 06:59:57	509	511	510.00	509.55	0.50	0.04
2013/02/26 06:59:59	509	511	510.00	509.53	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:00	508	511	509.50	509.53	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:01	509	511	510.00	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:03	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:04	430	511	470.50	484.94	30.72	2.39
2013/02/26 07:00:05	430	510	470.00	484.04	30.91	2.30
2013/02/26 07:00:06	430	510	470.00	484.01	30.87	2.28
2013/02/26 07:00:08	431	511	471.00	484.34	30.74	2.28
2013/02/26 07:00:09	431	510	470.50	484.59	30.66	2.31
2013/02/26 07:00:10	431	510	470.50	484.32	30.79	2.32

### 3.2 การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

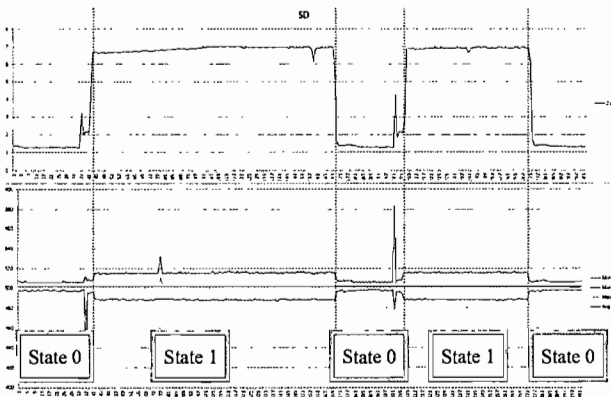
การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้อาจจะสามารถแยกสถานะของอุปกรณ์โดยดูได้จากค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของการกินกระแสไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งจะแบ่งออกได้ 2 จำพวก คือ อุปกรณ์ไฟฟ้า แบบสองสถานะ (Single State) และอุปกรณ์แบบหลายสถานะ (Multiple States) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3: ลักษณะการใช้งานและสถานะของอุปกรณ์แต่ละชนิด

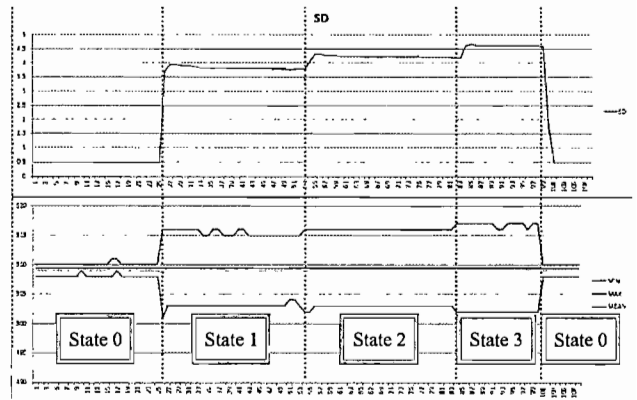
อุปกรณ์	ลักษณะใช้งาน	สถานะ
คอมพิวเตอร์	คนมีส่วนร่วม	Binary State
เครื่องรับโทรทัศน์	คนมีส่วนร่วม	Binary State
ตู้เย็น	เปิดทำงานตลอดเวลา	Binary State
พัดลม	คนมีส่วนร่วม	Multiple States
เครื่องเป่าผม	คนมีส่วนร่วม	Multiple States
เตารีด	คนมีส่วนร่วม	Binary State
เตาอบไมโครเวฟ	เปิดใช้และปิดเอง	Binary State
เครื่องคอมพิวเตอร์	คนมีส่วนร่วม	Binary State

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแบบสองสถานะ เช่น โทรทัศน์ คณะผู้วิจัยพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการเปิดปิดอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 4 ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแบบหลายสถานะ ตัวอย่างเช่นลักษณะการใช้ไฟฟ้าของพัดลมในภาพที่ 5 (กราฟด้านบนแสดงถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละสถานะ, กราฟด้านล่างแสดงถึงค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่ากลาง และค่าเฉลี่ย) มีอยู่ 3 สถานะ หากดูจากค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด หรือค่าเฉลี่ย ของการเปิดพัดลมแต่ละเบอร์ จะพบว่าค่าเหล่านี้ไม่สามารถแยกสถานะของการใช้งานกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์นั้น ๆ ได้เลย ซึ่งแตกต่างจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้กระแสไฟฟ้าพบว่าสามารถแยกสถานะได้อย่างชัดเจน

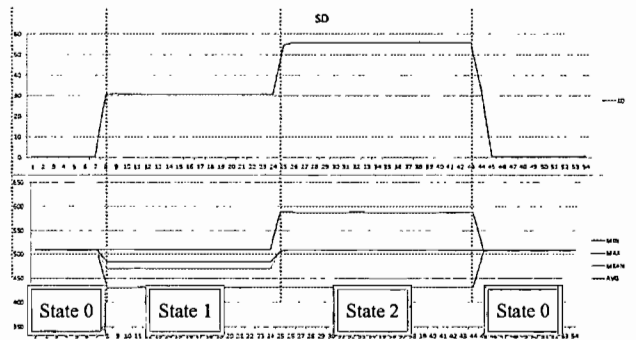
อย่างไรก็ตามค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่ากลาง และค่าเฉลี่ย นั้นยังมีความจำเป็นในการแยกอุปกรณ์ไฟฟ้า เพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะแล้วค่าเหล่านี้จะแปรผันตามตัวอย่างเช่น เครื่องเป่าผม ดังภาพที่ 6 จะเห็นว่าในสถานะที่ 1 ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่ากลาง และค่าเฉลี่ย จะมีค่าต่ำ แต่เมื่อเปลี่ยนสถานะมาเป็นสถานะที่ 2 ค่าสูงสุดจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4: กราฟข้อมูลของโทรทัศน์เป็นแบบสองสถานะ



ภาพที่ 5: กราฟข้อมูลของพัดลมเป็นแบบหลายสถานะ



ภาพที่ 6: กราฟข้อมูลของเครื่องเป่าผมเป็นแบบหลายสถานะ

เทคนิคในการสร้างกฎ (Rule-Based) จากข้อมูลที่เก็บจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรในแต่ละสถานะ และสร้างแบบจำลองกฎในการตัดสินใจ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 7 โดยลักษณะของกฎจะอยู่ในรูปแบบ IF ... THEN ... หลังจากนั้นนำข้อมูลที่สรุปได้มาจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า

Item	Rule-Based	Light	TV	Refrigeration	Fan	Hair Dryer	Iron	Microwave	PC
		0 1	0 1	0 1	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1	0 1	0 1
Min	Xmin <= 400							x	
	401 <= Xmin <= 420						x		
	421 <= Xmin <= 480			x					
	481 <= Xmin <= 490			x					x
Max	Xmin >= 491	x	x	x	x	x	x	x	x
	Xmax <= 500	x	x	x	x	x	x	x	x
	501 <= Xmax <= 520	x	x	x	x	x	x	x	x
Mean	521 <= Xmax <= 590								
	Xmax >= 591						x	x	x
Avg	Xmean <= 510	x	x	x	x	x	x	x	x
	511 <= Xmean								
S.D.	Xavg <= 510	x	x	x	x	x	x	x	x
	511 <= Xavg								
	Xsd <= 1.2	x		x	x	x	x	x	
	1.3 <= Xsd <= 1.5		x		x				x
	1.5 <= Xsd <= 2.0		x						
	2.1 <= Xsd <= 4.0					x			
	4.1 <= Xsd <= 5.0					x	x		
	5.1 <= Xsd <= 6.0								x
	6.1 <= Xsd <= 25			x					
	26 <= Xsd <= 40						x		
41 <= Xsd <= 60									
60 <= Xsd <= 85						x	x		
86 <= Xsd <= 95								x	
Xsd >= 95								x	

ภาพที่ 7: ตารางกฎในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

#### 4. ผลการดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอย่างชนิดละ 5 ตัวคละยี่ห้อคละรุ่นกัน โดยทดลองปิด และเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ในทุกสถานะ จากผลการทดลอง ในตารางที่ 4 พบว่าระบบส่วนกลางสามารถใช้กฎในการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้า และสถานะได้ถูกต้อง โดยสามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ได้ถูกต้อง ยกเว้นเตาอบไมโครเวฟมีการจำแนกอุปกรณ์ผิดพลาด 2 ตัว คิดเป็น 40% ของอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเตาอบไมโครเวฟ ผลโดยรวมจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำการตรวจวัดจำนวน 40 ตัว พบว่ามีการตรวจสอบเตาอบไมโครเวฟผิดพลาด 2 ตัว ซึ่งทำให้ค่าความผิดพลาดโดยรวมอยู่ที่ 5% ของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4: ผลการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด

อุปกรณ์	การทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด		
	จำนวน	ไม่ผ่าน	% ความผิดพลาด
โคมไฟตั้งโต๊ะ	5		0%
เครื่องรับโทรทัศน์	5		0%
ตู้เย็น	5		0%
พัดลม	5		0%
เครื่องเป่าผม	5		0%
เตารีด	5		0%
เตาอบไมโครเวฟ	5	2	40%
เครื่องคอมพิวเตอร์	5		0%
รวม	40	2	5%

#### 5. สรุป

งานวิจัยนี้เสนอวิธีจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยกฎที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ ระบบที่นำเสนอสามารถตรวจสอบการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาที่ส่วนกลาง ซึ่งระบบผู้เชี่ยวชาญ (Rule-Based Expert System) จะใช้กฎที่อิงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสถิติอื่น ๆ ในการจำแนกชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างแม่นยำ (มีค่าความผิดพลาดของทั้งระบบอยู่ที่ 5%) สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง เพื่อเป็นตัวช่วยในการประหยัดพลังงานในที่อยู่อาศัย

งานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป คณะผู้วิจัยวางแผนที่จะพัฒนาต่อให้ระบบสามารถจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าหลากหลายชนิดขึ้นอีกประเด็นหนึ่งคือการเพิ่มระยะทางและลดค่าความผิดพลาด

ของการส่งข้อมูลของตัวอุปกรณ์เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย นอกจากนี้ ระบบควรที่จะมีการสั่งงานให้ ปิด หรือ เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างชาญฉลาด โดยเพิ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้และข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่นภายในอาคาร

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงานนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา ปีงบประมาณ 2556

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Chee-Yee Chong, and S. P. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges," *Proceedings of IEEE*, Vol.91, No.8, 2003.
- [2] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G. Sukhatme, "Connecting the Physical World with Pervasive Networks," *IEEE Pervasive Computing*, Vol.1, No.1, pp.59-69, 2002.
- [3] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," *Communication of the ACM*, Vol.43, No.5, pp.551-58, 2000.
- [4] Akyildiz, I.F., Weilian, S., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, "A survey on sensor networks," *Communications Magazine, IEEE*, Vol.40, No.8, pp102 - 114., 2002.
- [5] Shih-chiang Lee, Hsu, J.Y.-J., Wan-rong Jih, "Applying power meters for appliance recognition on the electric panel," *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2010 the 5th IEEE Conference*, 2010.
- [6] Schoofs, A., Guerrieri, A., Delaney, O'Hare, G. Ruzzelli, "ANNOT: Automated Electricity Data Annotation Using Wireless Sensor Networks," *2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference*, pp.1-9, 2010.
- [7] Arduino.cc, *Arduino Nano User Manual*, <http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>, pp. 1-5, 2012.
- [8] Digi International Inc., *XBee®/XBee-PRO® RF Modules -802.15.4 - v1.xEx*, [http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982\\_K.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_K.pdf), pp. 1-70, 2012