



รายงานการวิจัย
เรื่อง

ระบบสมองกลฝังตัวเพื่อการประหยัดพลังงานเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน
โดยการตรวจสอบสถานะอิ่มตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออก

Embedded system for saving energy of split type Air-
Conditioner by monitoring the supply air saturated temperature

สุรัชย์ ทองแก้ว

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา 2560



รายงานการวิจัย
เรื่อง

ระบบสมองกลฝังตัวเพื่อการประหยัดพลังงานเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน
โดยการตรวจสอบสถานะอิ่มตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออก

Embedded system for saving energy of split type Air-
Conditioner by monitoring the supply air saturated temperature

สุรัชัย ทองแก้ว

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากการได้รับความกรุณาอย่างสูงจากศาสตราจารย์ ดร.สัลยุทธ์ สว่างวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) สาขาโรงงานแก่งคอย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อทดสอบและวัดผลของงานวิจัยบนองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมการใช้งานจริง

ขอขอบพระคุณศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัยที่ช่วยจัดเตรียมกระบวนการต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมที่ช่วยสนับสนุนทุนวิจัยและมอบโอกาสให้ผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

หัวข้อวิจัย : ระบบสมองกลฝังตัวเพื่อการประหยัดพลังงานเครื่องปรับอากาศชนิดแยก
ส่วน โดยการตรวจสอบสถานะอิมิตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออก

ผู้วิจัย : นายสุรชัย ทองแก้ว

หน่วยงาน : มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2565

บทคัดย่อ

แนวคิดของงานวิจัยนี้คือการพัฒนา ระบบสมองกลฝังตัวเพื่อประหยัดพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนด้วยการควบคุมความเย็นสะสมของลมจ่ายออก โดยระบบสมองกลฝังตัวที่นำเสนอประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและรีเลย์ควบคุม Compressor ซึ่งการควบคุมการทำงานของ Compressor นั้นจะมีอัลกอริทึมในการตัดสินใจปิด Compressor โดยการใช้ค่าความเย็นสะสมที่ลมจ่ายออกของเครื่องปรับอากาศเป็นตัวชี้วัดในการควบคุม หากความเย็นสะสมที่ Evaporator ถึงจุดอิมิตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ Compressor หยุดทำงาน จากนั้นความเย็นสะสมอิมิตัวจะถูกจ่ายออกเพื่อลดอุณหภูมิห้อง ดังนั้นผลการประหยัดพลังงานจะได้มาจากการลดเวลาทำงานของ Compressor นั้นเอง การทดลองกับเครื่องปรับอากาศ 3 เครื่อง แสดงให้เห็นว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 101 102 และ 201 มีอัตราประหยัดพลังงาน 34.38 % 31.82 % และ 14.29 % คิดเป็นค่าพลังงานที่ใช้ลดลง 13,169 kWh 16,760 kWh และ 11,972 kWh ต่อปี และคิดเป็นมูลค่า 39,507 บาท 50,282 บาท และ 35,916 บาท ต่อปี

คำสำคัญ : ระบบสมองกลฝังตัว การประหยัดพลังงาน เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

Research Title : Embedded system for saving energy of split type Air-Conditioner by monitoring the supply air saturated temperature

Name of Researchers : Mr.Surachai Thongkaew

Name of Institution : Sripatum University

Year of Publication : B.E. 2565

Abstract

The concept of this research is embedded system development for saving energy of Split-Type Air conditioner by controlling the cumulative cooling of supply air. The proposed embedded system consists of Microcontroller, temperature sensor and relay. The compressor is controlled by relay with turn off decision algorithm. The cumulative cooling of supply air is the indicator of compressor turn off operation. If the cumulative cooling at evaporator reaches saturation point, micro controller will make the compressor turn off and then the saturated cumulative cooling will be used to reduce room temperature. Since, the energy saving result will come from operation time reduction of compressor. The experimental results of 3 Air Conditioners number 101, 102 and 201 shown as follows: 1) Energy saving rates are 34.38 % 31.82 % and 14.29 % 2) Reduction of power consumptions are 13,169 kWh/year 16,760 kWh/year and 11,972 kWh/year. 3) The money saving values are 39,507 baht/year 50,282 baht/year and 35,916 baht/year, respectively.

Keywords : Embedded system, Energy saving, Split type Air-Conditioner

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3	คำถามการวิจัย	3
1.4	สมมุติฐานการวิจัย	3
1.5	ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	
2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย.....	4
2.2	ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่วิจัย.....	5
2.3	สรุป.....	16
3	ระเบียบวิธีการวิจัย	17
3.1	แบบแผนการวิจัย.....	17
3.2	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	19
3.2.1	ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัว.....	20
3.2.2	ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนารูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิตัวอุณหภูมิละลาย ออกกับการประหยัดพลังงาน.....	24
3.2.3	ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบขั้นตอนวิธีและซอฟต์แวร์ควบคุม (Algorithm & Software).....	24
3.2.4	ขั้นตอนที่ 4 การติดตั้งและทดสอบชุดอุปกรณ์วิจัย.....	26
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	27
4.1	ผลการพัฒนารูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิตัวอุณหภูมิละลายออก กับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	27
4.2	ผลการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยก ส่วน.....	31
5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	39
5.1	สรุปการดำเนินงานวิจัย.....	39
5.2	สรุปผลการวิจัย.....	40
5.3	การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	40
5.4	อภิปรายผล	40

สารบัญ

บทที่		หน้า
5.5	ข้อเสนอแนะ.....	41
	บรรณานุกรม	42
	ภาคผนวก	46
	ภาคผนวก ก แพลตฟอรมระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System Platform)	46
	ภาคผนวก ข โปรแกรมระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System Software) ของงานวิจัย.....	55
	ประวัติย่อผู้วิจัย	68

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อุณหภูมิสบายที่ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมระดับต่างๆ (Khedari et.al, 2000)	7
2	สภาวะอิมิตัวของลมจ่ายออก	36
3	รอบการทำงานคอมเพรสเซอร์	37
4	ผลการประหยัดพลังงาน	37

สารบัญภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1	องค์ประกอบของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	2
2	พลังงานที่ประหยัดเมื่อเครื่องปรับอากาศมีการหยุดทำงานในระยะเวลาต่าง ๆ	9
3	ทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนปกติ	13
4	การติดตั้งชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์	13
5	แสดงการเปรียบเทียบค่า COP	14
6	แสดงการเปรียบเทียบค่า EER	14
7	แสดงการเปรียบเทียบกำลังงาน (kW-hr) ที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในระยะเวลา 8 ชม.	15
8	กราฟแสดงอุณหภูมิและการทำงานของคอมเพรสเซอร์	17
9	กราฟแสดงอุณหภูมิและการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของงานวิจัย	18
10	การติดตั้งไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องปรับอากาศ	19
11	ฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัวที่นำเสนอ	20
12	ESP8266 [ที่มา www.studiopieters.nl]	21
13	เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 [ที่มา www.mind-tek.net]	22
14	รีเลย์ HRS4H-S-Dc12V [ที่มา www.es.co.th]	23
15	วงจรระบบสมองกลฝังตัว	24
16	ขั้นตอนวิธีของซอฟต์แวร์ควบคุม	25
17	การติดตั้งอุปกรณ์วิจัยกับเครื่องปรับอากาศ	26
18	กราฟแสดงอุณหภูมิลมจ่ายออก	27
19	กราฟแสดงอุณหภูมิลมจ่ายออก	28
20	กราฟช่วงที่ 3 ของอุณหภูมิลมจ่ายออก	30
21	การติดตั้งอุปกรณ์วัดผล	32
22	ซอฟต์แวร์บันทึกผล (SCADA)	32
23	การบันทึกผลผ่านโปรโตคอล MQTT	33
24	กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นห้องทดลอง	34
25	กราฟแสดงอุณหภูมิลมจ่ายออกเครื่องปรับอากาศ	35

บทที่ 1

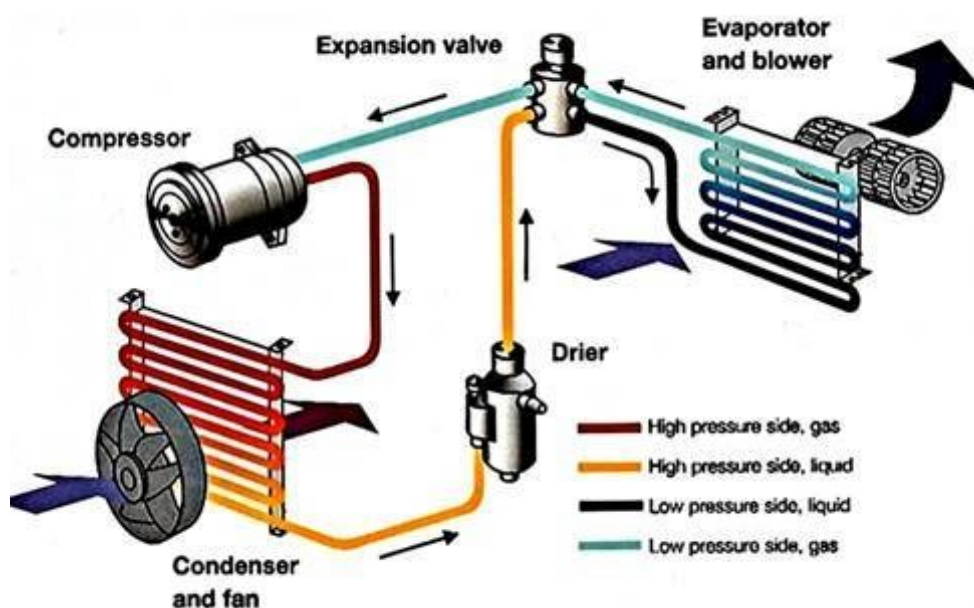
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันในทุกด้านของมนุษย์ เป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ การเมือง และสังคม ปัจจุบันความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้ายังคงมีอัตราสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากคำพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย [PDP2018] ในช่วงปี 2561-2580 พบว่า ด้านพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมสุทธิ (Energy) และพลังงานไฟฟ้าสูงสุดสุทธิ (Peak) ในปี 2580 มีค่าประมาณ 367,458 ล้านหน่วย และ 53,997 เมกะวัตต์ ตามลำดับ เพื่อป้องกันการเกิดวิกฤตการณ์พลังงานที่อาจจะก่อให้เกิดเหตุการณ์ที่พลังงานไม่เพียงพอกับการใช้งาน ราคาพลังงานสูงขึ้นอย่างกระทันหัน รวมถึงการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และภาวะมลพิษของโลก นอกเหนือจากการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแล้ว การใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพก็เป็นวิธีการที่นำไปสู่การหลีกเลี่ยงวิกฤตการณ์พลังงานได้

เครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้งานอยู่เป็นจำนวนมากและมีอัตราการบริโภคพลังงานค่อนข้างสูง หรืออาจถือได้ว่าเป็นค่าใช้จ่ายหลักของอุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือนและภาคธุรกิจ ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเพื่อลดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นหลัก ซึ่งองค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ดังรูปที่ 1

1. ส่วนทำความเย็นที่ติดตั้งภายในอาคาร ประกอบไปด้วย คอยล์เย็น (Evaporator) และเครื่องเป่าลม (Blower)
2. ส่วนระบายความร้อนที่ติดตั้งภายนอกอาคารประกอบไปด้วย เครื่องอัดแก๊สสารทำความเย็น (Compressor) คอยล์ร้อน (Condenser) และพัดลม (Fan)



รูปที่ 1 องค์ประกอบของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

การทำงานปกติของเครื่องปรับอากาศจะควบคุมให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน โดยการอ่านค่าอุณหภูมิลมย้อนกลับ (Return Air) หากค่าอุณหภูมิลมย้อนกลับมีค่าเท่ากับอุณหภูมิห้องที่ตั้งไว้ คอมเพรสเซอร์ก็จะถูกสั่งให้หยุดทำงาน ในทางกลับกันหากอุณหภูมิลมย้อนกลับยังสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ คอมเพรสเซอร์จะต้องทำงานอย่างหนักโดยไม่มีการหยุดพัก ส่งผลให้ระบบทำความเย็น (Evaporator) มีความเย็นเกินความจำเป็นจนเกิดปัญหาน้ำแข็งเกาะตัว และเป็นต้นเหตุของการสิ้นเปลืองพลังงาน

จากกรณีดังกล่าวหากนำอุณหภูมิลมจ่ายออก หรืออุณหภูมิที่ระบบทำความเย็น (Evaporator) มาเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์การควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ก็จะสามารถเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ ในการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์นวัตกรรมที่ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสถานะอิมิต์วของอุณหภูมิลมจ่ายออกเพื่อควบคุมให้เครื่องปรับอากาศทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและแก้ปัญหาการเกิดน้ำแข็งเกาะตัวที่ระบบทำความเย็น Evaporator

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนารูปแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิต์วอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
- 2) เพื่อพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

1.3 คำถามการวิจัย

- 1) รูปแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นอย่างไร
- 2) อุปกรณ์ต้นแบบประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นมีลักษณะอย่างไร

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

การตรวจสอบและควบคุมจุดอิมิตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออกให้เหมาะสมกับอุณหภูมิห้องที่ต้องการจะช่วยประหยัดพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) พัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีขนาดไม่เกิน 56,000 บีทียู
- 2) พัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนให้สามารถตรวจสอบอุณหภูมิอิมิตัวลมจ่ายออกตามความเหมาะสมได้

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คืออุปกรณ์ชิปไอซีพิเศษชนิดหนึ่ง ที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานตามที่ต้องการได้ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผล (CPU) หน่วยความจำหลัก (RAM) หน่วยความจำสำรอง (ROM) พอร์ตอินพุต และพอร์ตเอาต์พุต
- 2) เครื่องปรับอากาศแยกส่วน (Split Type) คือเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งระบบทำความร้อน (Condenser) และระบบทำความเย็น (Evaporator) ไว้แยกส่วนกัน
- 3) อุณหภูมิอิมิตัว (Saturated Temperature) คือ อุณหภูมิที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคงที่เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง
- 4) ลมจ่ายออก (Supply Air) คือ ลมที่จ่ายออกจากระบบทำความเย็น
- 5) ลมกลับ (Return Air) คือ ลมที่ได้จากอุณหภูมิห้องกลับเข้าสู่ระบบทำความเย็น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย

หลักการการทำงานของระบบทำความเย็น ในการอธิบายหลักการการทำงานของระบบอัดไอโดยทั่ว ๆ ไปใช้หลักการอัดไอสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิและความดันสูง ก่อนที่จะถ่ายโอนความร้อนออกไปเพื่อให้เกิดการกลั่นตัวแล้วลดความดันให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะอีกครั้ง แล้วใช้คอมเพรสเซอร์ป้อนงานให้กังหันระบบ สารทำความเย็นที่นิยมใช้ ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอน แอมโมเนีย หรือ ฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น

วงจรเครื่องทำความเย็นระบบคอมเพรสเซอร์อัดไอประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญ ดังนี้

1. คอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นในสภาพเป็นไอจากเครื่องระเหยเพื่อทำให้ความดันในเครื่องระเหยลดต่ำลงจนสามารถทำให้น้ำยากลายเป็นไอและสร้างความเย็นได้ พร้อมทั้งทำการอัดให้สารทำความเย็นมีความดันสูงขึ้นจนสามารถควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์และส่งสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ

2. คอนเดนเซอร์ คอนเดนเซอร์ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อให้น้ำยาซึ่งถูกอัดออกจากคอมเพรสเซอร์ในสภาพไอที่มีอุณหภูมิและความดันสูงควบแน่นเป็นของเหลวได้

3. อีวาพอเรเตอร์ อีวาพอเรเตอร์ทำหน้าที่ดูดซับปริมาณความร้อนจากบริเวณหรือเนื้อที่ที่ต้องการทำความเย็นที่สารทำความเย็น ในระบบตรงบริเวณขณะที่ระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สนั้นดูดซับปริมาณความร้อนผ่านผิวของท่อทางเดินน้ำยาเข้าไปยังน้ำยาภายในระบบ ทำให้อุณหภูมิโดยรอบอีวาพอเรเตอร์ลดลง

4. ท่อพักสารทำความเย็นเหลว ท่อพักสารทำความเย็นเหลวที่มีความดันสูงและอุณหภูมิซึ่งกลั่นตัวมาแล้วจากคอนเดนเซอร์ถูกส่งมาพักสารทำความเย็นนี้ ก่อนที่ถูกส่งไปยังเอ็กซ์เพนชันวาล์วอีกที่หนึ่ง

5. เอกซ์เพนชันวาล์ว เอกซ์เพนชันวาล์วทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเข้าไปยังอีวาพอเรเตอร์ลดความดันจนเปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ในอีวาพอเรเตอร์

6. ท่อดูด ท่อดูดเป็นทางเดินของสารทำความเย็นที่อยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์กับทางดูดของคอนเดนเซอร์สารทำความเย็นในสถานะแก๊ส อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ จากอีวาพอเรเตอร์ถูกดูดผ่านท่อดูดเข้ามายังคอมเพรสเซอร์

7. ท่อจ่าย ท่อจ่ายเป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่มีต่อท่ออยู่ระหว่างท่อทางอัดของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นในสถานที่เป็นแก๊สซึ่งถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น และจะถูกส่งไปยังคอนเดนเซอร์โดยผ่านท่อจ่ายนี้

8. ท่อของเหลว ท่อของเหลวเป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่มีต่อระหว่างท่อพักสารทำความเย็นเหลวกับเอ็กซ์เพนชันวาล์ว สารทำความเย็นเหลวมีความดันสูงอุณหภูมิสูงจากท่อพักสารทำความเย็นถูกส่งไปยังเอ็กซ์เพนชันวาล์วโดยผ่านท่อของเหลวนี้

2.2 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่วิจัย

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในแง่ของการพัฒนาประสิทธิภาพและการอนุรักษ์พลังงานของระบบเครื่องปรับอากาศมีดังนี้

1) ความรู้สึกสบายเชิงความร้อน [สุรัตน์ อรรถจริยกุล, 2550] คือ ความรู้เกี่ยวกับความสบายเชิงความร้อน สมการสบาย ความหมายของคำว่าดัชนีการโหวตเฉลี่ย สภาวะความสบาย และความรู้จากงานวิจัยทางด้านความรู้สึกสบายเชิงความร้อนที่ขึ้นอยู่กับตัวแปร 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นอากาศ ความเร็วลม อุณหภูมิแผ่รังสีความร้อน ระดับกิจกรรมของคนและชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่ โดยปกติแล้วหน้าที่หลักของระบบปรับอากาศ คือการปรับสภาพอากาศภายในห้องเพื่อให้คนในอาคารรู้สึกสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) คือรู้สึกไม่ร้อนหรือไม่เย็นจนเกินไป ซึ่งคำว่าความรู้สึกสบายเชิงความร้อนของคนหนึ่งคนนั้น ได้รับการนิยามจากสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-92 [ASHRAE, 1992] ว่าหมายถึง “สภาวะของจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจต่อสภาวะอากาศแวดล้อม” อย่างไรก็ตาม สภาวะอากาศหนึ่งๆไม่สามารถทำให้คนทุกคนรู้สึกชอบใจได้ เช่น บางคนรู้สึกเย็น บางคนอาจรู้สึกร้อน บางคนอาจรู้สึกพอดี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาหา สภาวะอากาศที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายเชิงความร้อนได้ ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนของคนขึ้นอยู่กับปัจจัยเชิงปริมาณ 6 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน ความหนาของเสื้อผ้าที่สวมใส่ และกิจกรรมของคน [Fanger, 1972] นอกจากนี้ ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยเชิงคุณภาพ ได้แก่ ความชอบของแต่ละบุคคล ความเคยชินกับสภาพอากาศ นิสัย การศึกษา เพศ [Yamtraipat *et al.*, 2005]

ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนขึ้นอยู่กับตัวแปรเชิงปริมาณถึง 6 ตัวแปร และการปรับเปลี่ยนตัวแปรเหล่านั้น สามารถทำให้รู้สึกสบายเชิงความร้อนได้ แต่ตัวแปรเหล่านั้นควรจะเป็นอย่างไร จึงจะเหมาะสมที่สุดที่ทำให้คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายได้ ซึ่งในบทความ “ความรู้สึกสบายเชิงความร้อน (สุรัตน์ อรรถจริยกุล, 2550)” จะกล่าวถึง หลักการของสมการสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort

equation) ความหมายของดัชนี ความสบาย(Thermal Comfort Index) สภาวะสบาย (Comfort conditions) และการศึกษาเกี่ยวกับ ความสบายเชิงความร้อนในประเทศไทย สมการสบายเชิงความร้อนที่ได้รับการยอมรับ และถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด คือสมการที่ ศึกษาและพัฒนาโดย Fanger [Fanger, 1972] ซึ่งได้จากการทำสมดุลความร้อนระหว่างร่างกายคนกับ สิ่งแวดล้อม สมการนี้จะแสดงถึงปริมาณความร้อนสุทธิที่แลกเปลี่ยนระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อม โดยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกายคน จะถ่ายเทสู่ภายนอกผ่านทางระเหยทางเหงื่อ และการถ่ายเท ความร้อนทางผิวหนังและเสื้อผ้า รวมถึงการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกผ่านทางหายใจ สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมที่ทำให้คนรู้สึกสบาย คือสภาวะที่ทำให้ปริมาณความร้อนสุทธิในการแลกเปลี่ยนระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมเป็นศูนย์ นั่นหมายถึงความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายเท่ากับความร้อนที่ระบายออกนอกร่างกาย แต่ถ้าปริมาณความร้อนสุทธิที่แลกเปลี่ยนไม่เป็นศูนย์หรือไม่สมดุล จะก่อให้เกิดความรู้สึกร้อนหรือหนาว เช่น ถ้าความร้อนที่สร้างขึ้นภายในร่างกายน้อยกว่าความร้อนที่ ถ่ายเทออกสู่ภายนอกนอกร่างกาย นั่นคือคนสูญเสียความร้อนมากเกินไป คนจะรู้สึกเย็นหรือถึงขั้นหนาวในทางตรงกันข้าม หากความร้อนที่สร้างขึ้นภายในร่างกายมากกว่าความร้อนที่ถ่ายเทออกนอกร่างกาย จะเกิดความร้อนสะสม ส่งผลให้คนจะรู้สึกร้อนถึงร้อนจัด ทั้งนี้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกาย ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม ณ ขณะนั้น ๆ และระดับกิจกรรมของคนรวมถึงความหนาของ เสื้อผ้าที่สวมใส่

การศึกษาความสบายเชิงความร้อนในประเทศไทย จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่า สภาวะอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้คนรู้สึกสบาย ขึ้นกับตัวแปรหลายตัว ดังนั้น ASHRAE (1992) จึงได้กำหนดช่วงอุณหภูมิและความชื้นสบายระหว่าง 22-27 °C และ 25%- 60% ตามลำดับ สำหรับกิจกรรมเบา ๆ (60 W/m²) และสวมเสื้อผ้าธรรมดา (0.6 clo) และความเร็ว อากาศประมาณ 0.1 เมตรต่อวินาที ซึ่งสภาวะดังกล่าว เป็นสภาวะอากาศสำหรับในห้องปรับอากาศ อย่างไรก็ตามในประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้น สภาพภูมิอากาศอยู่นอกช่วงสบายที่ ASHRAE กำหนด และคนไทยอีกเป็นจำนวนมากที่ไม่คุ้นเคยกับห้องปรับอากาศ และได้มีงานวิจัยพบว่า ความรู้สึก สบาย นอกจากจะขึ้นกับปัจจัย 6 ประการที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ยังขึ้นอยู่กับความเคยชินต่อดินฟ้าอากาศ ความเคยชินต่อการปรับอากาศ การศึกษาประเทศ ดังนั้น โจเซฟและคณะ [Khedari *et.al*, 2000] จึงได้ ศึกษาเพื่อสร้างแผนภูมิความสบายสำหรับประเทศไทยในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ โดยให้นิสิต จำนวน 6 คน กรอกแบบสอบถามความรู้สึกสบายในบริเวณที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ ใช้ลมธรรมชาติ โดย ช่วงอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมประมาณ 27.5-35.4 °C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50- 78% และเปิดพัดลมตั้งโต๊ะที่ใช้กันทั่วไปตามบ้านเป้าหมายด้านหลัง และทำการปรับความเร็วของพัดลมที่ ระดับ 0.2-3 เมตรต่อวินาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุณหภูมิสบายที่ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมระดับต่างๆ (Khedari et.al, 2000)

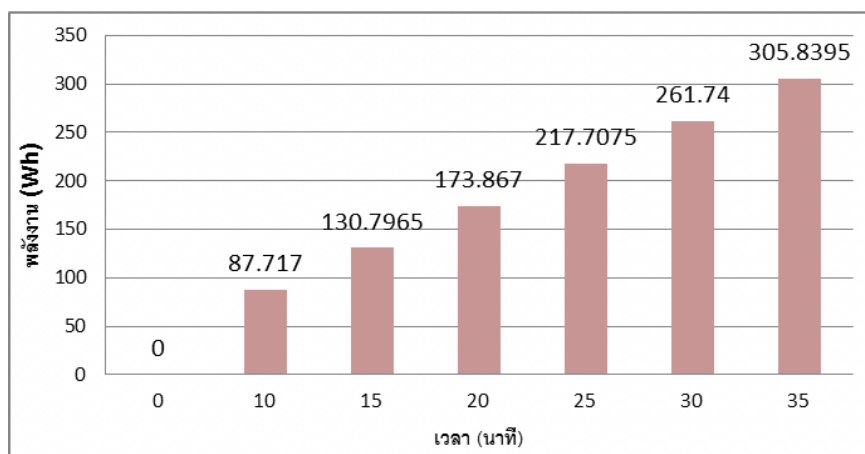
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิสบาย (°C)
50-60	0.2	28.01
	0.5	28.81
	1.0	30.56
	1.5	32.48
60-70	0.2	27.17
	0.5	28.30
	1.0	30.15
	1.5	31.46
70-80	0.2	27.20
	0.5	28.29
	1	30.27
	1.5	31.24
50-80	2	33.47
	3	35.53

จากตารางจะเห็นว่าอุณหภูมิสบายของคนไทยในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศสูงกว่าช่วงที่ ASHRAE กำหนด โดยอยู่ระหว่าง 27-35 °C ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าคนไทยคุ้นเคยกับสภาพอากาศร้อน และสามารถทนอุณหภูมิได้ค่อนข้างสูง แม้ว่าที่ความเร็วลมเพียง 0.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิที่รู้สึกสบายสามารถขึ้นไปถึง 28 °C และเมื่อเปิดพัดลมขึ้นไปถึง 3 เมตรต่อวินาที จะช่วยให้คนไทยรู้สึกสบายได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 35 °C ดังที่เราจะเห็นได้จากบ้านเรือนทั่วไปที่เปิดพัดลม โดยไม่มีเครื่องปรับอากาศก็รู้สึกเย็นสบายได้ นอกจากนั้น แย้มไตรพัฒน์ และคณะ [Yamtraipat *et al*, 2005] ได้ทำการศึกษาหามาตรฐาน สภาวะสบายสำหรับห้องปรับอากาศในประเทศไทย โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นอากาศ ภายในอาคาร และให้คนในอาคาร สำนักงานทั่วประเทศ กรอกแบบสอบถามความรู้สึกสบาย และให้ ข้อมูลทางด้านเพศ การศึกษา และการใช้เครื่องปรับอากาศ ในบ้านพัก พบว่า ความเร็วลมในอาคารปรับ อากาศทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.2-0.25 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิภายในอาคารปรับอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 20-27 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 40-70% และจากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่คนส่วนใหญ่รู้สึกสบาย พบว่าอยู่ที่ประมาณ 26 °C และพบว่า คนที่มีเครื่องปรับอากาศที่บ้านและเปิดใช้เป็นประจำจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 25.4 °C ซึ่งต่ำกว่า คนที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศที่บ้านซึ่งรู้สึกสบายที่ 26.3 °C อยู่ 1 °C นอกจากนั้น ยังพบอีกว่า ผู้หญิงจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 26.2 °C ซึ่งสูงกว่าเพศชายที่รู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 25.7 °C และจากการวิเคราะห์ ผลของการศึกษาต่ออุณหภูมิความสบาย พบว่า คนที่ เรียนระดับสูงกว่าปริญญาตรีจะรู้สึกสบายที่ อุณหภูมิ 25.3 °C ซึ่งต่ำกว่าคนที่เรียนระดับที่ต่ำกว่าอยู่ถึง 0.8 °C จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่า กรณีมี

การปรับอากาศที่ความเร็วลมต่ำ ๆ ประมาณ 0.2 เมตรต่อ วินาที คนไทยรู้สึกสบายที่ 26 °C ขณะที่กรณี ไม่มีการปรับอากาศและความเร็วลมเดียวกัน คนไทยกลับ รู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 28 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิ ที่กำหนดโดย ASHRAE (1992) และสูงกว่าอุณหภูมิที่คนไทยส่วนใหญ่จะปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ ไว้ที่ 25 °C อรรถจริยกุล [อรรถจริยกุล, 2007] จึงศึกษาเพื่อเสนอเทคนิคในการใช้พัดลมขนาดเล็กร่วมกับ เครื่องปรับอากาศสำหรับประเทศไทยและพบว่า สามารถปรับอุณหภูมิของอากาศภายในห้องปรับอากาศ ได้สูงถึง 28 °C โดยเปิดพัดลมเล็กช่วยที่ระดับ ความเร็วลมตั้งแต่ 0.5-2.0 เมตร/วินาที ตามความชอบ ของแต่ละคน ซึ่งสามารถทำให้คนในห้องปรับอากาศรู้สึกเย็นสบายได้ ดังนั้น ในอาคาร สำนักงาน บ้านเรือนที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ หากมีการนำพัดลมมาเปิดเพื่อช่วยเพิ่มการไหลเวียนของลมใน ระดับที่ไม่ทำให้คนรำคาญประมาณ 1 เมตรต่อวินาที [ASHRAE, 1992] หรือมากกว่านั้นตามความชอบ จะช่วยให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิปรับตั้งของเครื่องปรับอากาศได้ถึง ประมาณ 3 °C เป็น 28 °C ได้ โดยใน การปรับอุณหภูมิเพิ่มทุก 1 °C จะช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ถึง 6.14% [Kongkiatumpai, 1999] ดังนั้น หากปรับตั้งอุณหภูมิปรับอากาศเพิ่มประมาณ 3 °C จะช่วยให้ ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 18% นอกจากการปรับเพิ่มอุณหภูมิการปรับอากาศและใช้พัดลมช่วย แล้ว หากกรณีให้พนักงานที่ทำงานใน อาคารสำนักงาน หรือตามบ้านเรือน สวมใส่เสื้อผ้าที่บางลง ซึ่งมีค่าฉนวนความร้อนที่น้อยลงก็จะสามารถ ช่วยให้คนรู้สึกเย็นสบายได้อีกทางหนึ่ง โดยไม่จำเป็นต้องปรับอุณหภูมิปรับอากาศให้ต่ำซึ่งเป็นการ สิ้นเปลืองพลังงาน

2) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดทำงานของเครื่องปรับอากาศ [อาจริ ศุภสุริกุล. 2557] คือ ผลกระทบในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศเมื่อเครื่องปรับอากาศหยุดทำงานในระยะสั้น ๆ โดยการปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาต่างกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า จำนวนนาฬิกาที่ปิด เครื่องปรับอากาศแปรผันโดยตรงกับผลประหยัดพลังงานที่ได้รับ แต่มีผลกระทบต่อการประหยัดพลังงาน น้อยมาก เนื่องจากมีความร้อนสะสมในบริเวณห้องในช่วงที่เครื่องปรับอากาศหยุดทำงาน การศึกษา ระยะเวลาการปิดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลกระทบในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศเมื่อเครื่องปรับอากาศมีการทำงานและหยุดทำงาน ในระยะสั้น และเพื่อศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เพื่อประหยัดพลังงาน ทำการทดลองโดยศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศจากสถานะการทำงาน จริง ทำการปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงสั้นเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน ผลการทดลองพบว่าการหยุดทำงาน เครื่องปรับอากาศในระยะสั้นส่งผลให้เมื่อเปิดเครื่องทำงานอีกครั้งจะมีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยที่สูงขึ้น พลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นจาก 527.07Wh เป็น 527.2Wh เมื่อมีการปิดเป็นเวลา 10 นาที เมื่อปิดเครื่องเป็น เวลา 20-35 นาที พลังงานที่ใช้มีค่าเฉลี่ยที่ 529Wh เนื่องจากในช่วยหยุดการทำงานนั้นเกิดความร้อน สะสมภายในบริเวณห้องทำให้อุณหภูมิห้องเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มของพลังงานนั้นมีค่าน้อยมาก

เมื่อเทียบกับผลประหยัดจากการปิดเครื่องปรับอากาศ อีกทั้งพบว่าจำนวนนาที่ที่ปิดเครื่องปรับอากาศ โดยตรงกับผลประหยัดได้ สรุปได้ว่าการปิดเครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลาสั้นส่งผลกระทบน้อยมากต่อการเพิ่มขึ้นของพลังงานจากภาวะปกติ การอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมที่สุด เมื่อผู้ใช้ออกจากห้องทุกครั้ง ควรปิดเครื่องปรับอากาศ การทำงานของเครื่องปรับอากาศทั่วไป เครื่องจะทำงานเต็มพิกัดในช่วงเริ่มเปิดทำงาน ในช่วงแรกที่ต้องทำความเย็นเต็มพิกัดเพื่อลดอุณหภูมิห้องลงให้ได้ตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ เมื่ออุณหภูมิห้องได้ตามค่าที่ตั้งไว้เครื่องปรับอากาศจะพยายามรักษาอุณหภูมิให้เท่ากับค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ โดยการตัดต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ [Todorovic, M. and Zivcovic, B., 2005] โดยการทำงานของคอมเพรสเซอร์นั้นจะถูกควบคุมด้วยเทอร์โมสแตทที่จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์ตัดหรือต่อการทำงาน และการตัดหรือต่อของคอมเพรสเซอร์เกิดการกระชากของไฟ และการเริ่มต้นการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละครั้งต้องใช้กระแสไฟฟ้าจำนวนมาก ในช่วงเวลาระหว่างวัน [McQuiston, FayeC., Parker, JeraldD., andSpitler, JeffreyD, 2000] หากผู้ใช้เครื่องปรับอากาศมีความจำเป็นที่จะต้องออกไปจากห้องและทำการปิดเครื่องปรับอากาศ เมื่อผู้ใช้กลับเข้ามาที่ห้องมีอีกครั้งและเริ่มจากการทำงานเครื่องปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์จะทำงานอย่างเต็มที่เพื่อทำอุณหภูมิห้องให้ได้ตามค่าที่ตั้งไว้ เครื่องปรับอากาศที่ใช้เป็นส่วนมากในประเทศไทยเป็นระบบที่ใช้ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์แบบคงที่ งานวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาถึงการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ [วีระพล โมนยะกุล; และคณะ. 2548] โดยการควบคุมอัตราความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์หรืออินเวอร์เตอร์ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานจากการกระชากไฟของคอมเพรสเซอร์ ยังไม่เป็นที่ปรากฏว่าการศึกษาเกี่ยวกับการหยุดทำงานระยะสั้นของเครื่องปรับอากาศสำหรับระบบที่ใช้ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์แบบคงที่มีผลต่อการใช้พลังงานอย่างไร [อาจรี ศุภสุริกุล, 2557] จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาการหยุดการทำงานของเครื่องปรับอากาศเป็นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อหาความเหมาะสมของระยะเวลาการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานสูงสุด



รูปที่ 2 พลังงานที่ประหยัดเมื่อเครื่องปรับอากาศมีการหยุดทำงานในระยะเวลาต่าง ๆ

รูปที่ 2 แสดงพลังงานที่ประหยัดเมื่อเครื่องปรับอากาศมีการหยุดทำงานในระยะเวลาต่าง ๆ โดยคำนวณจากการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 527.07Wh พบว่าการทำงานของเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 10 นาที ใช้พลังงานเท่ากับ 87.85Wh แต่พลังงานที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 10 นาทีนั้น มีค่าเท่ากับ 0.13Wh จึงพบว่าจะสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 87.72Wh เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานจากการกระชากไฟในช่วงต้นของการเดินเครื่องแล้ว เห็นได้ชัดเจนว่ามีความแตกต่างกันมากและเมื่อเครื่องปรับอากาศมีการหยุดการทำงานระยะสั้นเป็นเวลานานขึ้น ความแตกต่างของผลประหยัดจะมีความชัดเจนมากขึ้น การศึกษาระยะเวลาการปิดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานโดยทำการทดลองเปิดเครื่องปรับอากาศในสภาวะการทำงานจริง พบว่าการหยุดทำงานเครื่องปรับอากาศในระยะสั้นส่งผลให้เมื่อเปิดเครื่องทำงานอีกครั้งจะมีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยที่สูงขึ้น เนื่องจากในช่วงหยุดการทำงานนั้นเกิดความร้อนสะสมภายในบริเวณห้องทำให้อุณหภูมิห้องเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลประหยัดจากการปิดเครื่องปรับอากาศ จำนวนนาทีที่ปิดเครื่องแปรผันโดยตรงกับผลประหยัดที่ได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อออกจากห้องทุกครั้งควรที่จะปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อเป็นอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมที่สุด

3) การเพิ่มอุณหภูมิลมจ่ายออกในระบบปรับอากาศ [สัมฤทธิ์ บุญชู, ปัญญา ธีระวิทย์เลิศ, บุญมี บุญยะผลานันท์, 2553] คือ การทดลองเพิ่มอุณหภูมิด้านลมจ่ายออกของเครื่องปรับอากาศในระดับต่างๆ และวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิลมจ่ายออกในระบบปรับอากาศ ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง ในการศึกษาวิจัยเรื่อง ผลของการทดลองปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกในระบบปรับอากาศ ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การทดลองเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศที่มีการปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออก กับเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานปกติ และเพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติในการลดพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ โดยการรวบรวมข้อมูลในระบบปรับอากาศ ออกแบบวิธีการวิจัยและติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง ทำทดลองเดินเครื่องพร้อมกันทั้ง 2 เครื่อง บันทึกข้อมูลก่อนและหลังปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ และการศึกษาทดลองใช้เวลาในการทดลอง 24 วัน และการทดลองได้ทำการทดลองในช่วงเวลากลางคืนระหว่างเวลา 22.00 – 08.00 น. เนื่องจากเวลากลางวันมีอากาศแปรปรวนตลอด เช่น บางช่วงจะมีฝนตกและบางช่วงแดดออกทำให้อุณหภูมิภายนอกอาคารแตกต่างกันมาก ซึ่งจะมีผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ผลการวิจัยพบว่า กรณีทดลองปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกที่ 46 °F (7.77 °C) ทดลอง 4 วัน วันละ 11 ชั่วโมง เครื่องปรับอากาศ Ch.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 20.33 บาท/ห้อง และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 24.10 บาท/ห้อง เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ Ch.1 และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 3.57 บาท/ห้อง

กรณีทดลองปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกที่ 47 °F (8.33 °C) ทดลอง 4 วัน วันละ 11 ชั่วโมง เครื่องปรับอากาศ Ch.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 21.21 บาท/ห้อง และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 27.70 บาท/ห้อง เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ Ch.1 และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 6.49 บาท/ห้อง

กรณีทดลองปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกที่ 48 °F (8.88 °C) ทดลอง 4 วัน วันละ 11 ชั่วโมง เครื่องปรับอากาศ Ch.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 21.15 บาท/ห้อง และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 25.81 บาท/ห้อง เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ Ch.1 และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 4.66 บาท/ห้อง

กรณีทดลองปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกที่ 49 °F (9.44 °C) ทดลอง 4 วัน วันละ 11 ชั่วโมง เครื่องปรับอากาศ Ch.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 17.18 บาท/ห้อง และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 23.10 บาท/ห้อง เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ Ch.1 และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 5.92 บาท/ห้อง

กรณีทดลองปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกที่ 50 °F (10 °C) ทดลอง 4 วัน วันละ 11 ชั่วโมง เครื่องปรับอากาศ Ch.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 16 บาท/ห้อง และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 22.55 บาท/ห้อง เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ Ch.1 และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 6.55 บาท/ห้อง

กรณีทดลองปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกที่ 51 °F (10.55 °C) ทดลอง 4 วัน วันละ 11 ชั่วโมง เครื่องปรับอากาศ Ch.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 14 บาท/ห้อง และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 21.65 บาท/ห้อง เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ Ch.1 และเครื่องปรับอากาศ Ch.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 7.65 บาท/ห้อง

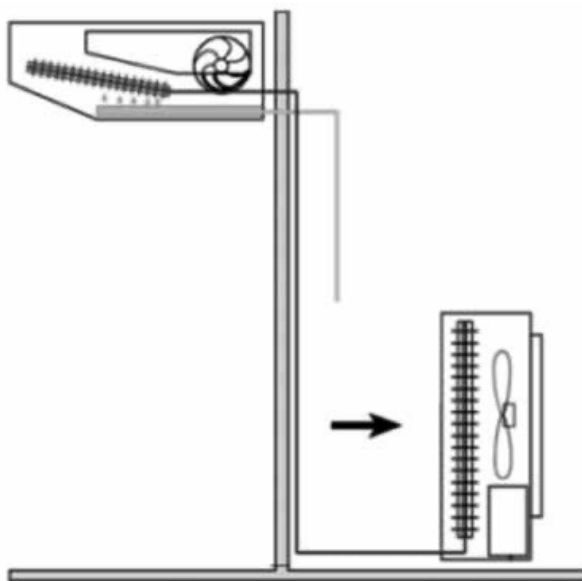
จากการทดลองพบว่า เมื่อปรับอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกระบบปรับอากาศให้ลดลงก็จะเกิดผลเสียต่อปริมาณการใช้พลังงานของระบบ กล่าวคือคอมเพรสเซอร์ (Compressor) จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออก ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ (Compressor) จะลดลงตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ [ประมวล จันทร์พงษ์ และคณะ, 2541] ได้ทำการทดลองปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายให้เหมาะสมกับการใช้งาน และจากการทดลองทำให้ทราบว่าหากปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นด้านจ่ายออกมากกว่า 48 °F(8.88 °C) จะมีผลต่อการลดความชื้นของอากาศภายในห้องปรับอากาศ เนื่องจากอุณหภูมิน้ำเย็นดังกล่าวใกล้กับจุดน้ำค้างของอุณหภูมิห้อง ทำให้เครื่องปรับอากาศไม่สามารถลดความชื้นของอากาศได้อย่างเหมาะสม ภายในห้อง

ปรับอากาศจะมีกลิ่นเหม็นอับ การลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศยังสามารถลดจากส่วนอื่นได้จากการศึกษาในด้านการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกรณีปรับเพิ่มอุณหภูมิ น้ำเย็นด้านจ่ายออก จะมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศและปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนการทำงานของเครื่องปรับอากาศในทุกด้าน

4) การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ [ธีรพงศ์ ธีรภัช และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, 2556] คือการเปรียบเทียบสมรรถนะและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนดั้งเดิมกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่เพิ่มอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระบายความร้อนของ Condenser โดยอุปกรณ์ลดอุณหภูมินั้นทำมาจากกระดาษเซลลูโลสและใช้น้ำจาก Evaporator ในการหล่อเย็น ผลการทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนยี่ห้อ FUJIBISHI แบบตั้งแขวน ขนาดการทำคามเย็น 12,000 BTU/hr ติดตั้งที่ห้องขนาด 13.4 ตารางเมตร เปิดใช้งาน 8 ชั่วโมง (08:00 -16:00 น.) พบว่าการติดตั้งชุดอุปกรณ์ลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ เครื่องปรับอากาศสามารถระบายความร้อนได้ดี ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 5.42 ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นมีค่าเท่ากับ 14.78 กำลังงานที่ใช้ของระบบมีค่าเท่ากับ 5.4483 kWh และการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจากเดิม 20.92 % การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ซึ่งทำมาจากกระดาษเซลลูโลสและใช้น้ำจากอีแวพอเรเตอร์ในการหล่อเย็น พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นกำลังงานที่ใช้ของระบบ และพลังงานไฟฟ้าจากการทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนยี่ห้อ FUJIBISHI แบบตั้งแขวน ขนาดการทำคามเย็น 12,000 Btu/hr ติดตั้งที่ห้องขนาด 13.4 ตารางเมตร เปิดใช้งาน 8 ชั่วโมง (08.00-16.00 น.) พบว่า การติดตั้งชุดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ เครื่องปรับอากาศสามารถระบายความร้อนดี ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบปรับอากาศได้เท่ากับ 5.42 และมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น 14.78 กำลังงานที่ใช้ระบบ 5.4483 (kW-hr) เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจากเดิม 20.92%

การทดลองเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนี้มีการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส พัดลมเบอร์ 3 และทดลองในช่วงเวลาดังแต่ 08.00 – 16.00 น. รวม 8 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

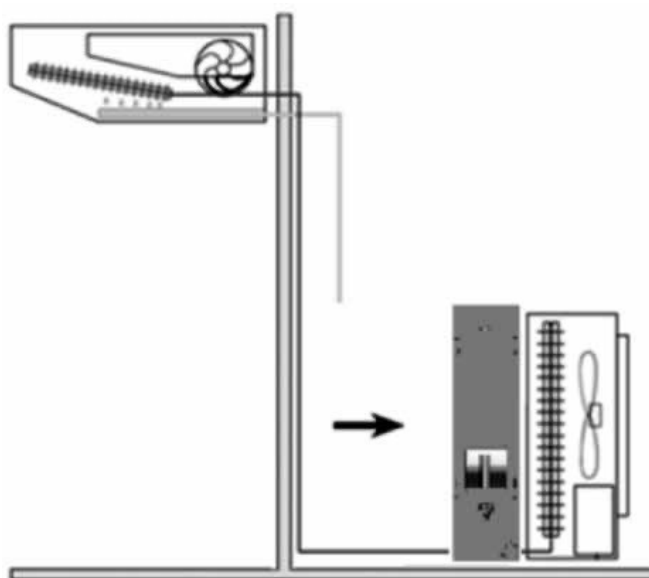
1. กรณีเครื่องปรับอากาศปกติแบบดั้งเดิมที่ไม่มีชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ดังที่แสดงในรูปที่ 3



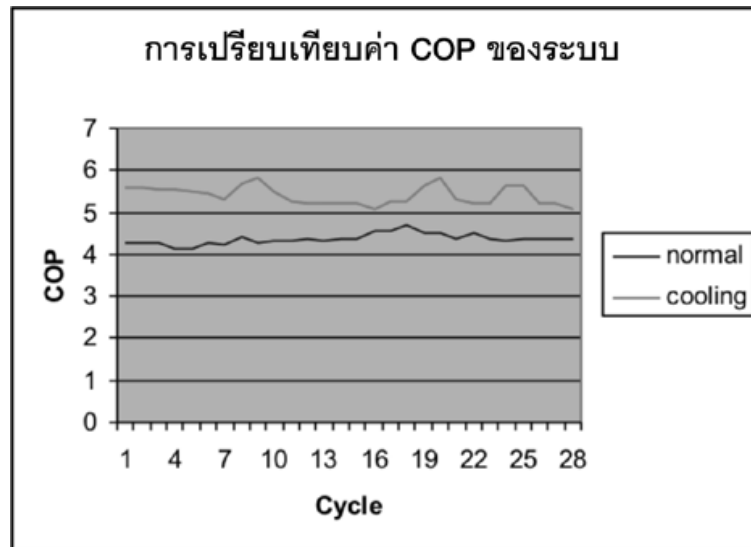
รูปที่ 3 ทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนปกติ

2. ติดตั้งชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ให้ทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศดังแสดงในรูป

ที่ 4

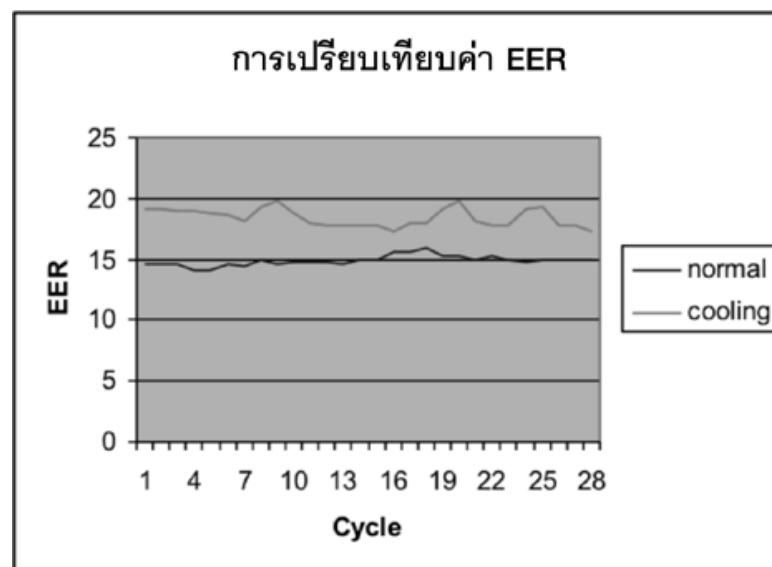


รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์



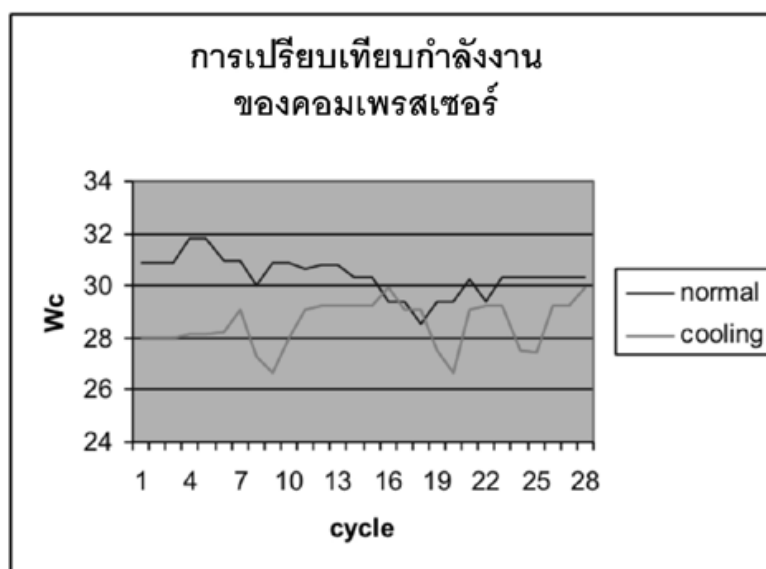
รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่า COP

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่า COP ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีค่า COP เฉลี่ยเท่ากับ 5.42 และการใช้เครื่องปรับอากาศปกติมีค่า COP เฉลี่ยเท่ากับ 4.37 การติดตั้งการติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ทำให้มีค่า COP เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.05 คิดเป็น 24.48%



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่า EER

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่า EER จะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีค่า EER เฉลี่ยเท่ากับ 14.78 (ระดับเบอร์ 5) และการใช้เครื่องปรับอากาศปกติมีค่า EER เฉลี่ยเท่ากับ 11.92 (ระดับเบอร์ 5) การติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ทำให้มีค่า EER เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.86 คิดเป็น 24%



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงาน (kW-hr) ที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในระยะเวลา 8 ชม.

จากรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย โดยจะคิดตามเวลาการทำงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย โดยจะคิดตามเวลาการทำงานที่ใช้จริงจากจังหวะการเดิน-หยุด (Cycle) ของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีค่ากำลังงานเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 3.80 kW-hr ส่วนการเดินเครื่องปกติค่ากำลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 5.24 kW-hr จากการติดตั้งชุดลดความร้อนที่คอนเดนเซอร์ค่ากำลังงานเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ลดลงเท่ากับ 1.44 kW-hr คิดเป็น 27.48% จากผลทดลองเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่า ในการทดลองกรณีติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิและความดันในระบบไม่สูงมากนัก จึงทำให้ความสามารถในการทำความเย็น (COP) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.05 คิดเป็น 24.48% และประสิทธิภาพการทำความเย็น EER เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.86 คิดเป็น 24% (ระดับเบอร์ 5) กำลังงานที่ใช้ของระบบน้อยลงเท่ากับ 1.44 kW-hr คิดเป็น 27.48% การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 20.92% ค่าที่ได้เป็นค่าสมรรถนะดีมากและสูงกว่าปกติ เนื่องจากมีการช่วยระบายความร้อนที่ดีให้แก่สารทำความเย็นที่ คอนเดนเซอร์ เป็นผลให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ไม่หนักมากการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะลดลง

5) การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้ลมเย็นจากพัดลมระบายอากาศ [นิกร เนื่องอุตม์ และคณะ, 2559] ในงานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยการใช้ประโยชน์จากลมของพัดลมระบายอากาศที่ออกจากห้องปรับอากาศมาช่วยระบายความร้อนที่ Condenser การทดลองทำโดยจำลองห้องทดลอง 2 ห้องที่มีขนาด 120x120x200 เซนติเมตร ห้องแรกติดตั้งชุดทำระเหยและห้องที่สองติดตั้งชุดควบแน่น จากนั้นติดตั้งพัดลมระบายอากาศบริเวณส่วนล่างของห้องปรับอากาศเพื่อส่งลมเย็นมาช่วยระบายความร้อนให้กับเครื่องควบแน่น แล้วทำการทดสอบและนำผลการทดสอบระหว่างการ ปิด-เปิด พัดลมระบายอากาศมาเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานและปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง จากการทดสอบ พบว่าหลังจากการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศด้วยวิธีที่นำเสนอโดยสังเกตจากการทดสอบที่สภาวะโหลดต่าง ๆ คือร้อยละ 0 ร้อยละ 30 ร้อยละ 60 และร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิโดยรอบตัวควบแน่น 30°C 40°C และ 50°C พบว่า ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้นระหว่างร้อยละ 2.94 ถึงร้อยละ 5.92 และปริมาณไฟฟ้ามีปริมาณลดลงอยู่ระหว่างร้อยละ 4.56 ถึงร้อยละ 12.5 จากการพิจารณา ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานที่เพิ่มขึ้นและค่าไฟฟ้าลดลง เป็นที่สิ่งที่ยืนยันถึงความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศด้วยใช้ลมจากพัดลมระบายอากาศในห้องปรับอากาศมาช่วยระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น จึงสามารถกล่าวได้ว่า การลดอุณหภูมิที่เครื่องควบแน่นจะส่งผลทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้นนั่นเอง

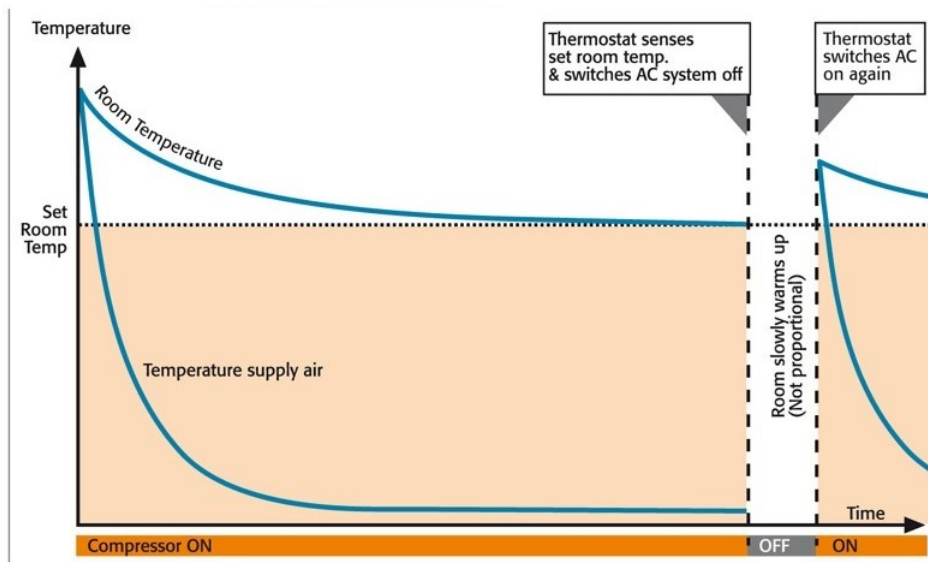
2.3 สรุป

จากงานวิจัยที่กล่าวไว้ข้างต้นทั้ง 5 งานวิจัยนั้นต่างก็มีรูปแบบและวิธีการที่แตกต่างกัน มีการใช้ปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาช่วยลดพลังงาน เช่น การใช้พัดลมช่วยอุณหภูมิ การปรับใช้เครื่องแต่งกายให้บางขึ้น การควบคุมเวลาเปิด-ปิดของเครื่องปรับอากาศ การเพิ่มอุณหภูมิลมจ่ายออก และการลดอุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์ งานวิจัยนี้เป็นการเสนอทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพและการอนุรักษ์พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยแนวคิดของงานวิจัยนี้คือการหารูปแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงาน และนำมาพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเพื่อประหยัดพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนด้วยการควบคุมความเย็นสะสมของลมจ่ายออก โดยระบบสมองกลฝังตัวที่นำเสนอประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และรีเลย์ควบคุมคอมเพรสเซอร์ ซึ่งการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์นั้น จะมีอัลกอริทึมในการตัดสินใจเปิดคอมเพรสเซอร์ โดยการใช้ค่าความเย็นสะสมที่ลมจ่ายออกของเครื่องปรับอากาศเป็นตัวชี้วัดในการควบคุม หากความเย็นสะสมที่ Evaporator ถึงจุดอิมตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน จากนั้นความเย็นสะสมอิมตัวจะถูกจ่ายออกเพื่อลดอุณหภูมิห้อง ดังนั้นการลดเวลาทำงานของคอมเพรสเซอร์ จึงส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 แบบแผนการวิจัย

ระบบเครื่องปรับอากาศในปัจจุบันจะเป็นการทำงานแบบตั้งค่าอุณหภูมิคงที่ (Set point) กล่าวคือคอมเพรสเซอร์จะหยุดทำงานก็ต่อเมื่ออุณหภูมิกลับ (Return air) หรืออุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิถึงจุดที่ตั้งค่าไว้ โดยไม่มีการตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิลมจ่ายออก (Supply air) ให้มีความเหมาะสม จึงทำให้อุณหภูมิลมจ่ายออกมีอุณหภูมิต่ำเกินความจำเป็นซึ่งเป็นสาเหตุของการสิ้นเปลืองพลังงาน

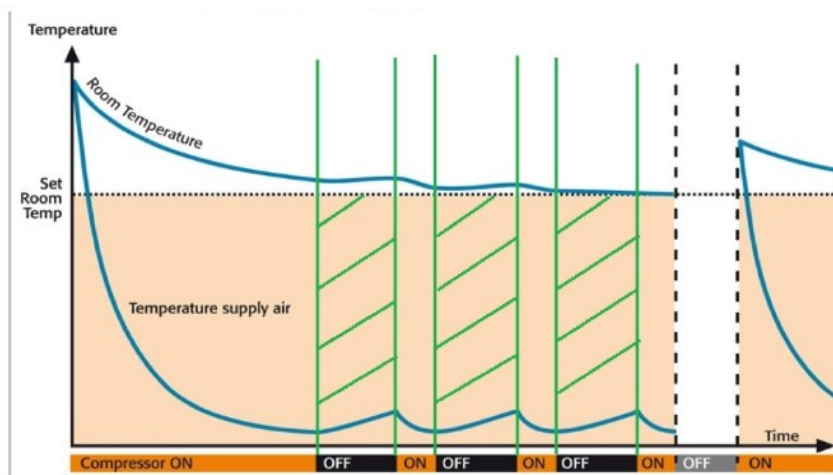


รูปที่ 8 กราฟแสดงอุณหภูมิและการทำงานของคอมเพรสเซอร์

รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า Thermostat จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิห้องถึงจุดที่ตั้งค่าไว้ (Set room Temp) ซึ่งในกราฟแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิลมจ่ายออก (Supply Air) มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องมาก และมีค่าคงที่เป็นระยะเวลานาน หรือเรียกว่ามีอุณหภูมิอึดตัว

กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ คือ การใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยการตรวจสอบหาจุดอึดตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออก และควบคุมให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิลมจ่ายออกถึงจุดอึดตัว จึงมีผลทำให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของ

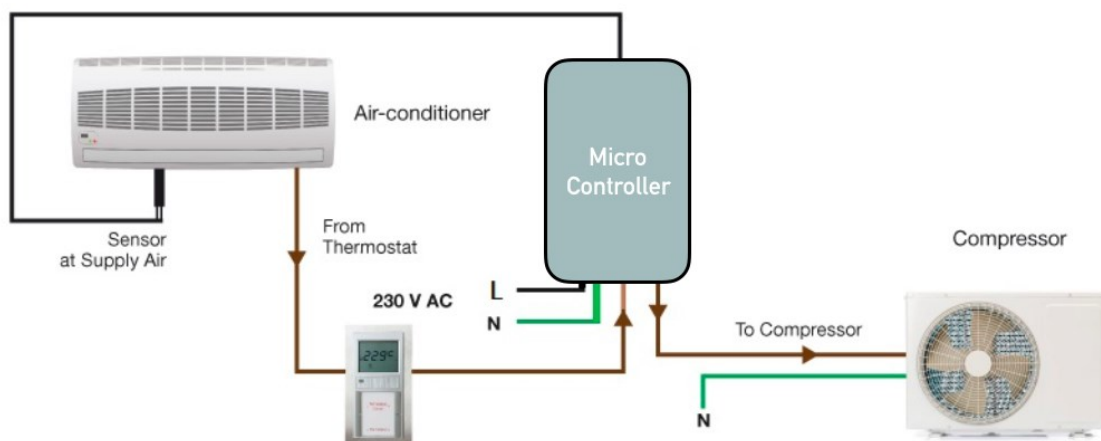
คอมเพรสเซอร์กับอุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 8 ได้ถูกอธิบายแล้วในตอนต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานที่สูญเสียไปคือช่วงเวลาที่ยคอมเพรสเซอร์ทำงาน หลักการของงานวิจัยนี้คือการลดช่วงเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้น้อยลงเพื่อประหยัดพลังงานโดยส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิห้องน้อยที่สุด รูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิและการทำงานของคอมเพรสเซอร์หลังประยุกต์ใช้ทฤษฎีของงานวิจัย จากรูปที่ 8 อุณหภูมิลมจ่ายออก (Supply Air Temperature) จะมีค่าคงที่หรือลดลงน้อยมาก ซึ่งสภาวะนี้เกิดขึ้นจากส่วนทำความเย็น (Evaporator) มีความเย็นสะสมจนถึงจุดอิ่มตัวและจะเห็นได้ว่าในช่วงนี้เป็นช่วงที่ยคอมเพรสเซอร์ยังคงทำงานอยู่ตลอดเวลาจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน แนวคิดของงานวิจัยนี้คือการนำความเย็นที่สะสมอยู่ในส่วนทำความเย็นมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่าที่สุดและลดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงกราฟอุณหภูมิลมจ่ายออกในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าหากควบคุมให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิลมจ่ายออกถึงจุดอิ่มตัวแล้วนำค่าความเย็นสะสมที่จุดทำความเย็นไปลดอุณหภูมิห้องโดยคอมเพรสเซอร์ไม่ต้องทำงาน ผลก็คือ คอมเพรสเซอร์จะทำงานน้อยลงเมื่อเทียบกับกราฟที่แสดงการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบปกติ ดังนั้นเมื่อคอมเพรสเซอร์มีการทำงานน้อยลงจึงทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น



รูปที่ 9 กราฟแสดงอุณหภูมิและการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยประเภทการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ที่เป็นการศึกษาค้นคว้าหารูปแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอิ่มตัวลมจ่ายออกที่เหมาะสมกับอุณหภูมิห้องที่ต้องการ โดยการพัฒนารูปแบบจำลองความสัมพันธ์และประดิษฐ์อุปกรณ์ต้นแบบ เพื่ออนุรักษ์พลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) ที่ใช้รูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิ่มตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานมาช่วยควบคุมการทำงาน

คอมเพรสเซอร์ดังรูปที่ 10 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะถูกติดตั้งที่ระบบทำความเย็น (Evaporator) และ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกติดตั้งแบบอนุกรมกับชุดควบคุมเดิมของเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 10 การติดตั้งไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องปรับอากาศ

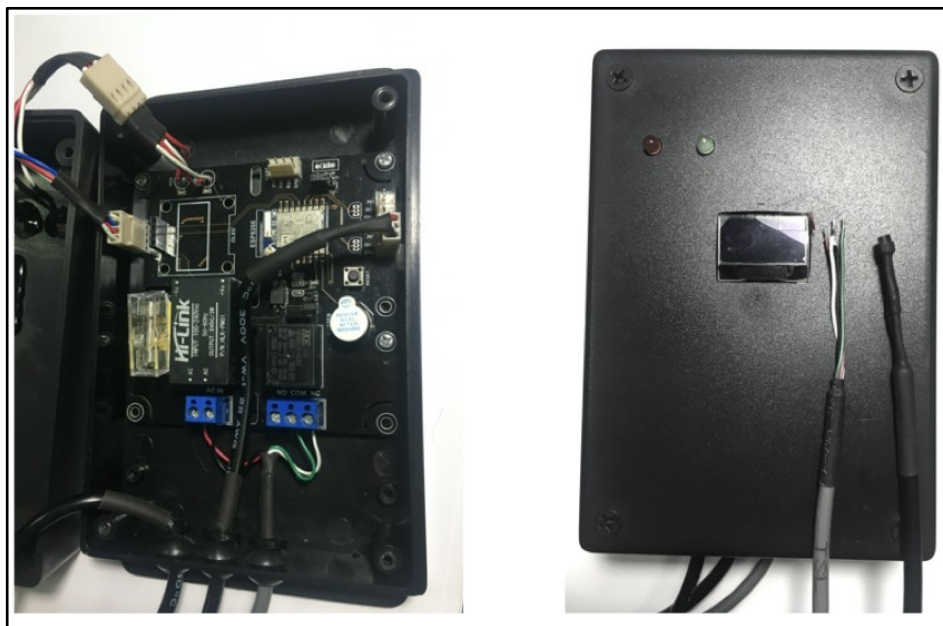
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ระบบสมองกลฝังตัวที่พัฒนาเพื่อควบคุมความเย็นสะสมของลมจ่ายออกจะมีขั้นตอนการพัฒนาที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ

- 1) การพัฒนาฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัว
- 2) การพัฒนารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิต์อุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงาน

พลังงาน

- 3) การออกแบบขั้นตอนวิธีและซอฟต์แวร์ควบคุม
- 4) การติดตั้งชุดอุปกรณ์วิจัย



รูปที่ 11 ฮาร์ดแวร์ของระบบมองกล้องฝังตัวที่นำเสนอ

3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาฮาร์ดแวร์ของระบบมองกล้องฝังตัว

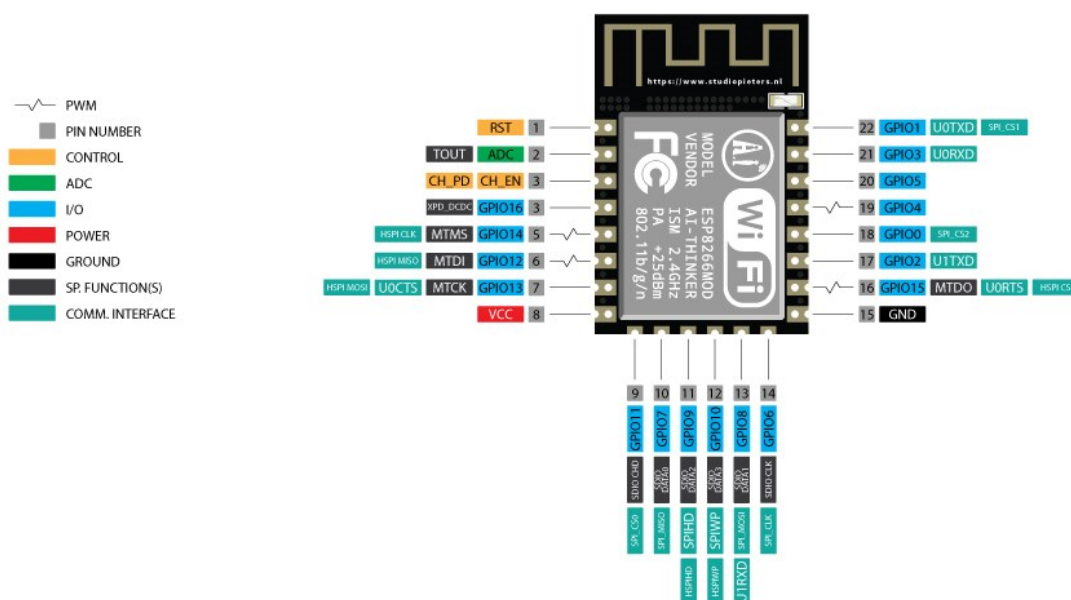
รูปที่ 11 แสดงฮาร์ดแวร์ของระบบมองกล้องฝังตัวที่ออกแบบ จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นสมองของระบบ ทำการตัดสินใจและควบคุมให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน ซึ่ง ESP8266 ไมโครคอนโทรลเลอร์จากบริษัท Espressif System [Espressif System] จะถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ESP8266 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี Full TCP/IP Stack จึงทำให้ควบคุมอุปกรณ์หรืออ่านค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ผ่านสัญญาณ WiFi ได้ ESP8266 ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.0-3.6 V และใช้กระแสโดยเฉลี่ย 80mA มีพื้นที่เขียนโปรแกรมขนาด 4 MB มี Deep Sleep โหมดรองรับการทำงานแบบประหยัดพลังงาน สามารถอ่านค่าจากอุปกรณ์ analog ได้ด้วยวงจร analog to digital converter ภายในด้วยขนาดข้อมูล 10 บิต ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส โดยโครงสร้างหลักจะมีลักษณะตามที่แสดงในรูป 12 ดังนี้

- VCC เป็นขาสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงเพื่อให้โมดูลทำงานได้ ซึ่งแรงดันที่ใช้งานได้คือ 3.3 - 3.6V
- GND ขากราวด์ ต่อกับไฟ 0 V เพื่อให้โมดูลทำงานครบวงจร
- Reset ขารีเซต ต่อเข้าไฟ VCC ในสถานะปกติ เมื่อต้องการรีเซตให้ต่อเข้ากับ GND

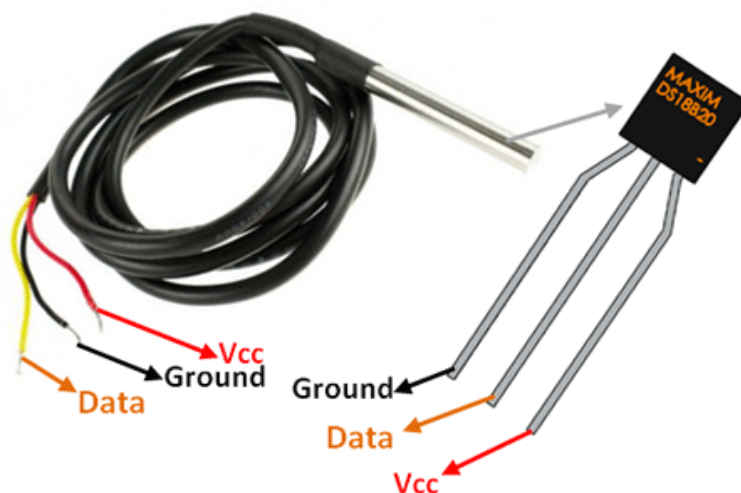
- CH_PD (หรือ EN) เป็นขาที่ต้องต่อเข้าไฟ VCC เพื่อให้โมดูลสามารถทำงานได้
- ADC เป็นขานาฬิกาอินพุต รับแรงดันได้สูงสุดที่ 1V ขนาด 10 บิต การนำไปใช้งานกับแรงดันที่สูงกว่าต้องใช้วงจรแบ่งแรงดันเข้าช่วย
- GPIO เป็นขาดิจิตอลอินพุต / เอาต์พุต ทำงานที่แรงดัน 3.3V ใช้รับเข้าหรือส่งออกสัญญาณดิจิตอล
- GPIO_15 เป็นขาที่ต้องต่อลง GND เท่านั้น เพื่อให้โมดูลทำงานได้
- GPIO_0 เป็นขาสำหรับการเลือกโหมดทำงาน หากนำขานี้ลง GND จะเข้าโหมดโปรแกรม หากลอยไว้ หรือนำเข้าไฟ VCC จะเข้าโหมดการทำงานปกติ



รูปที่ 12 ESP8266 [ที่มา www.studiopieters.nl]

2. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20

DS18B20 [Maxim Integrated] เป็นไอซีดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ของ Dallas Semiconductor ใช้วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ $-67\text{ }^{\circ}\text{F}$ ถึง $+257\text{ }^{\circ}\text{F}$ ที่ความละเอียด 9-12 บิต และมีความแม่นยำอยู่ที่ $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในช่วง $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในกรณีที่เป็นตัวถังแบบ TO-92 นั้นจะมีโครงสร้าง และขาดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 [ที่มา www.mind-tek.net]

การสื่อสารและควบคุม DS18B20 นั้นสามารถทำได้โดยใช้บัสข้อมูลแบบ 1-wire ของ Dallas Semiconductor ซึ่งใช้สายสัญญาณเพียงแค่เส้นเดียวเท่านั้น ภายใน DS18B20 แต่ละตัวมีไคด์ประจำตัวขนาด 64 บิต ทำให้สามารถใช้งาน DS18B20 หลายตัวทำงานบนบัสแบบ 1 wire พร้อมกันได้ นอกจากนี้ DS18B20 ยังสามารถทำงานในโหมดพาราสิติก (Parasite Power Mode) ซึ่งเป็นการทำงานโดยไม่ใช้ไฟเลี้ยง แต่ใช้พลังงานจากสายสัญญาณ 1-wire ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับการวัดอุณหภูมิระยะไกล หรือในการใช้งานในที่ ๆ มีเนื้อที่จำกัด ในงานวิจัยนี้ได้ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ที่ตำแหน่งลมจ่ายออกของเครื่องปรับอากาศ

3. รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ คืออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ให้กับวงจร แต่มันมีความสามารถต่างจากสวิตช์ทั่วไปคือ ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวสั่งการ แทนที่จะใช้มือกดเหมือนปุ่มหรือสวิตช์อื่นๆ ภายในรีเลย์นั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญๆ 4 ส่วนดังนี้

1) ขดลวด (Coil) เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานของรีเลย์ให้เปิด (Open) เมื่อวงจรไม่มีกระแสไหลผ่าน หรือ ปิด (Closed) เมื่อวงจรมีกระแสไหลผ่าน

2) ขา com (common) ขา com หรือ ขา c เป็นสายสัญญาณที่ใช้ในการต่อเข้ากับสายสัญญาณข้างหนึ่งของวงจรภายนอก

3) ขา NO (Nomal Open) ขา NO เป็นสายสัญญาณที่ต่อเข้ากับสายสัญญาณ com ในขณะที่ยังไม่มีกระแสไฟให้รีเลย์ โดยที่ ขา NO จะไปเชื่อมกับสายสัญญาณอีกข้างหนึ่งของวงจรภายนอก

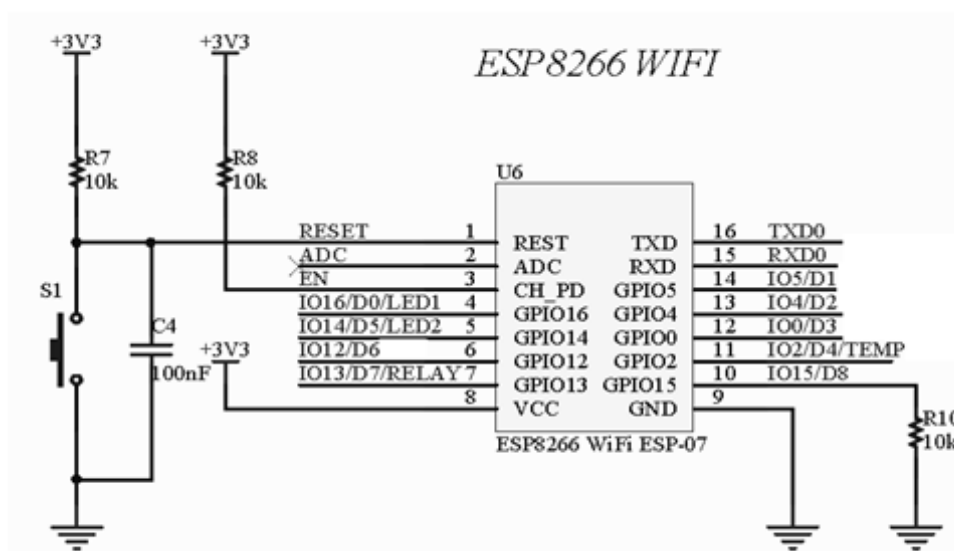
4.ขา NC (Nomal Close) ขา NC เป็นสายสัญญาณที่เชื่อมกับสายสัญญาณ com ในขณะที่มีการจ่ายไฟให้รีเลย์แล้ว โดยที่ ขา NC จะไปเชื่อมกับสายสัญญาณอีกข้างหนึ่งของวงจรภายนอก

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้รีเลย์ของ HKE ดังรูปที่ 14 เบอร์ HRS4H-S-Dc12V [Mantech Electronics] เพื่อควบคุมให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน โดยต่อวงจรแบบปกติปิด (Normally Close) และหากต้องการควบคุมให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานก็สามารถทำได้โดยการจ่ายไฟให้กับขดลวดของรีเลย์



รูปที่ 14 รีเลย์ HRS4H-S-Dc12V [ที่มา www.es.co.th]

การออกแบบวงจรเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้ง 3 เข้าด้วยกันได้ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 15 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ที่ GPIO2 เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิมาจ่ายออก ส่วนรีเลย์ที่ทำหน้าที่ควบคุมคอมเพรสเซอร์ถูกเชื่อมต่อที่ GPIO13 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ขา Reset ถูกต่อเข้ากับ สวิตช์ S1 เพื่อทำหน้าที่รีเซ็ตอุปกรณ์ ส่วนขา VCC และ GND ถูกต่อเข้ากับไฟเลี้ยง 3 โวลต์ และไฟ 0 โวลต์ ตามลำดับ



รูปที่ 15 วงจรระบบสมองกลฝังตัว

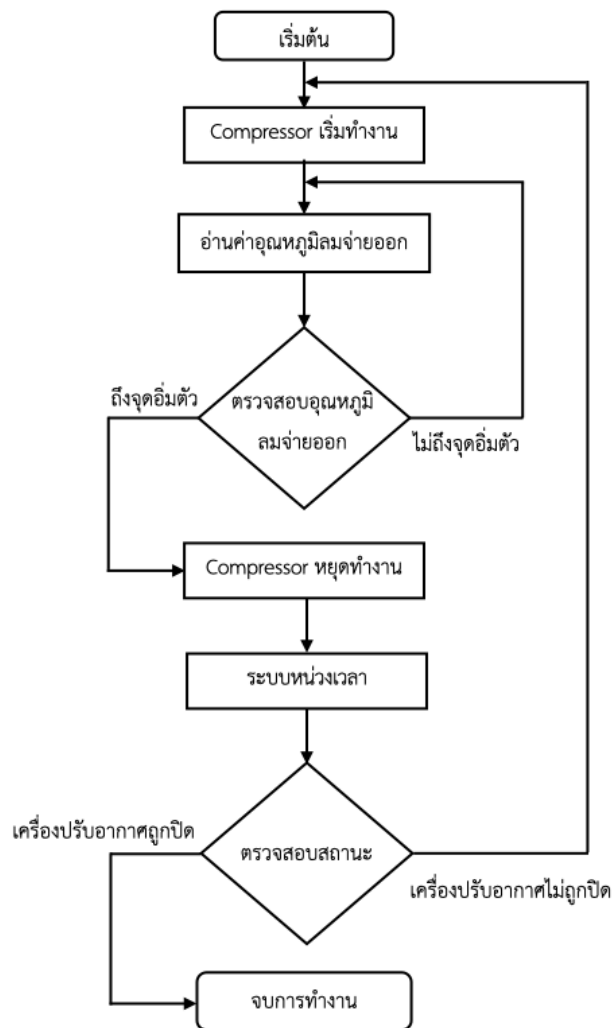
3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนารูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิตัวอุณหภูมิมาจ่ายออกกับการประหยัดพลังงาน

ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัวที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ไปติดตั้งที่เครื่องปรับอากาศ ซึ่งการติดตั้งในขั้นตอนนี้จะเป็นเพียงการติดตั้งเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิมาจ่ายออกในขณะที่เครื่องปรับอากาศทำงาน การบันทึกค่าดังกล่าวเป็นการเก็บข้อมูลตัวอย่างการทดลองเพื่อนำมาหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิตัวอุณหภูมิมาจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน หลังจากนั้นข้อมูลตัวอย่างการทดลองและรูปแบบความสัมพันธ์จะถูกนำไปพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ควบคุมของระบบสมองกลฝังตัวในขั้นตอนถัดไป

3.2.3 ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบขั้นตอนวิธีและซอฟต์แวร์ควบคุม (Algorithm & Software)

รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิตัวอุณหภูมิมาจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานจากขั้นตอนที่ 2 ได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ควบคุมในขั้นตอนนี้ โดยซอฟต์แวร์ควบคุมนี้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษาซีโดยชุดพัฒนาซอฟต์แวร์ของ Arduino [Arduino] ซึ่งซอฟต์แวร์ควบคุมนี้มีขั้นตอนและวิธีการทำงานดังรูปที่ 16 เมื่อเครื่องปรับอากาศเริ่มทำงานเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะทำการอ่านค่าอุณหภูมิมาจ่ายออกของเครื่องปรับอากาศและส่งค่าอุณหภูมิตัวได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

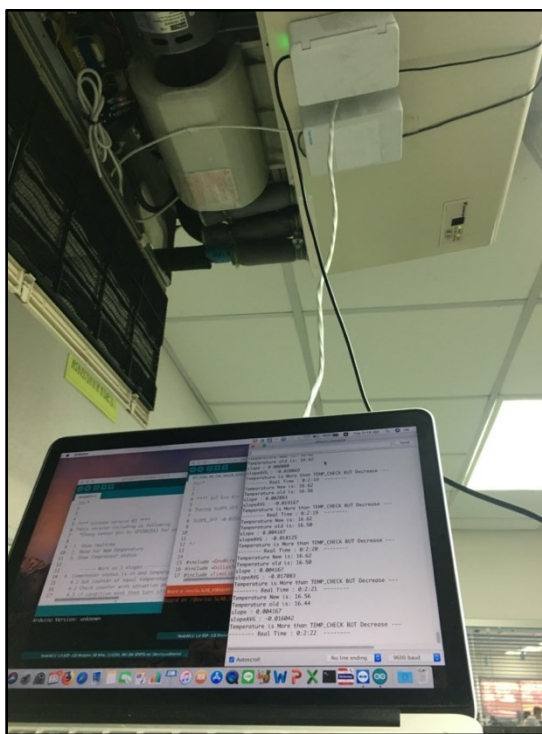
เพื่อตรวจสอบว่ามีความเย็นสะสมถึงจุดอิ่มตัวแล้วหรือไม่ หากอุณหภูมิลมจ่ายออกขณะนั้นยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะวนทำซ้ำในขั้นตอนนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าอุณหภูมิลมจ่ายออกจะถึงจุดอิ่มตัว จากนั้นจึงจ่ายไฟเลี้ยงไปยังรีเลย์เพื่อควบคุมให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน ซึ่งการหาจุดอิ่มตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออกนั้นสามารถวิเคราะห์จากค่าของอุณหภูมิเทียบกับเวลา หากอุณหภูมิมียอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือมีค่าคงที่จะหมายความว่าอุณหภูมิลมจ่ายออกขณะนั้นมีความเย็นสะสมจนถึงจุดอิ่มตัว (รายละเอียดการหาจุดอิ่มตัวจะถูกอธิบายในส่วนถัดไป) และหลังจากคอมเพรสเซอร์หยุดทำงานแล้ว เครื่องปรับอากาศจะหน่วงเวลาให้คอมเพรสเซอร์มีระยะเวลาในการพักก่อนเริ่มทำงานในวงรอบถัดไป ซึ่งช่วงการหน่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับสเปกของคอมเพรสเซอร์นั้น ๆ และหากเครื่องปรับอากาศคอมเพรสเซอร์จะเข้าสู่วงรอบการทำงานเพื่อทำความเย็นต่อไป



รูปที่ 16 ขั้นตอนวิธีของซอฟต์แวร์ควบคุม

3.2.4 ขั้นตอนที่ 4 การติดตั้งและทดสอบชุดอุปกรณ์วิจัย

หลังจากการพัฒนา ระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้รูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิ่มตัว อุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานแล้ว ในขั้นตอนนี้จะเป็นการติดตั้งระบบสมองกลฝังตัว เข้ากับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนดังรูปที่ 17 ซึ่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะถูกติดตั้งหน้าระบบทำความเย็น (Evaporator) เพื่อวัดอุณหภูมิของลมจ่ายออก ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกต่ออนุกรมเข้ากับชุดควบคุมเดิมของเครื่องปรับอากาศเพื่อเป็นการทำงานร่วมกันกับการควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบดั้งเดิมส่วนรีเลย์จะถูกติดตั้งไว้ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ กับคอมเพรสเซอร์ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้คอมเพรสเซอร์ทำงานและหยุดทำงานตามรูปแบบจำลองความสัมพันธ์



รูปที่ 17 การติดตั้งอุปกรณ์วิจัยกับเครื่องปรับอากาศ

บทที่ 4

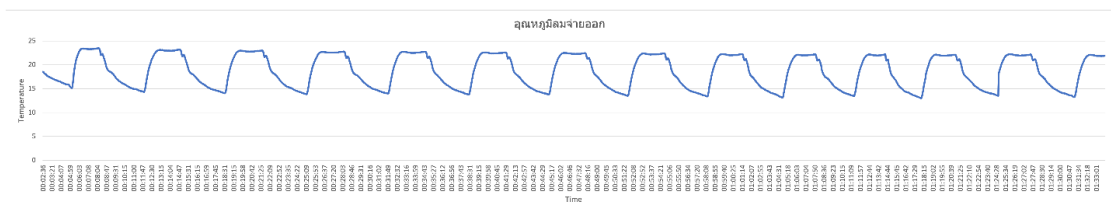
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย แบ่งเป็น 2 ข้อ ดังนี้

1. การพัฒนารูปแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
2. การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

4.1 ผลการพัฒนารูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

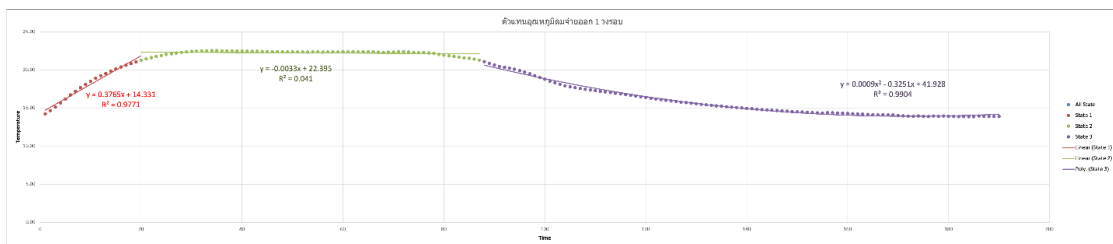
ผลการพัฒนารูปแบบจำลองนี้เป็นการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นแล้วนำไปติดตั้งที่เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ตรวจสอบอุณหภูมิลมจ่ายออก และกำหนดให้มีการตั้งค่าอุณหภูมิห้อง (Set Point) ที่ 25 องศาเซลเซียส มีการวัดและบันทึกอุณหภูมิลมจ่ายออกทุก 2 วินาที เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที ดังที่แสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 กราฟแสดงอุณหภูมิลมจ่ายออก

รูปที่ 18 แสดงผลให้เห็นวงรอบของอุณหภูมิลมจ่ายออกก่อนการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีและซอฟต์แวร์ควบคุม (Algorithm) ของงานวิจัยที่นำเสนอ จะเห็นว่าในเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ประกอบไปด้วยวงรอบของอุณหภูมิลมจ่ายออก 13 วงรอบ ซึ่งแต่ละวงรอบจะมีลักษณะของพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน และเมื่อเวลาผ่านไปค่าอุณหภูมิลมจ่ายออกของแต่ละวงรอบจะมีแนวโน้มที่ลดลง กล่าวคือ ค่าอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวงรอบจะค่อยๆ ลดลงจาก 23.5 จนถึง 22.19 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดของวงรอบ จะค่อยๆ ลดลงจาก 14.06 จนถึง

13.25 องศาเซลเซียส ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีการสะสมความเย็นเกิดขึ้นจริงที่ส่วนทำความเย็น (Evaporator) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และเป็นไปตามข้อสมมุติฐานตั้งต้นของงานวิจัย



รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิลมจ่ายออกตามช่วงเวลา 1 วนรอบ

รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิลมจ่ายออกตามช่วงเวลา 1 วนรอบ ที่ได้จากการนำข้อมูลของกราฟในรูปที่ 18 ทั้งหมด 13 วนรอบ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาพิจารณาเป็นตัวแทนของอุณหภูมิลมจ่ายออก 1 วนรอบ ซึ่งในแต่ละ 1 วนรอบนั้น จะถูกแบ่งพิจารณาเป็น 3 ช่วง (state) ดังนี้

1. ช่วงคอมเพรสเซอร์เริ่มต้นหยุดทำงาน ในช่วงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำความเย็นจนลมจ่ายออกถึงจุดอุณหภูมิต่ำสุดของแต่ละวนรอบ และอุณหภูมิห้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (setpoint) ในการทดสอบนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ 1 นี้ ค่าอุณหภูมิลมจ่ายออกจะค่อยๆ สูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องที่ตั้งไว้ และเมื่อนำกราฟในช่วงนี้มาสร้างเป็นสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) หรือโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมจ่ายออก (Y) กับเวลา (X) จะมีค่าดังสมการที่ 1 คือ

$$y = 0.3765x + 14.331 \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยสมการที่ 1 มีความสมรูปกับข้อมูล (R-Squared) เท่ากับ 97.71%

2. ช่วงก่อนคอมเพรสเซอร์เริ่มต้นทำงาน ในช่วงนี้จะเกิดขึ้นหลังจากคอมเพรสเซอร์หยุดทำงานแล้วอุณหภูมิลมจ่ายออกค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิห้องที่ตั้งไว้ (ช่วงที่ 1) ค่าอุณหภูมิลมจ่ายออกในช่วงนี้จะมีค่าค่อนข้างคงที่และมีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิห้องที่ตั้งไว้ (25

°C) เมื่อนำกราฟในช่วงนี้มาสร้างเป็นสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) หรือโมเดลสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมจ่ายออก (Y) กับเวลา (X) จะมีค่าดังสมการที่ 2 คือ

$$y = -0.0033x + 22.395 \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยสมการที่ 2 มีค่าความสมรूपกับข้อมูล (R-Squared) เท่ากับ 4.1%

3. ช่วงคอมเพรสเซอร์ทำงาน ในช่วงนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิห้องมีค่าสูงขึ้นจนเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิห้องที่ตั้งไว้จนคอมเพรสเซอร์ถูกสั่งให้ทำงาน และเมื่อคอมเพรสเซอร์เริ่มทำงานอุณหภูมิลมจ่ายออกจะค่อยๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนกว่าคอมเพรสเซอร์จะหยุดทำงานและวนเข้าสู่ช่วงที่ 1 อีกครั้ง เมื่อนำกราฟในช่วงนี้มาสร้างเป็นสมการถดถอยพหุนาม (Polynomial regression) หรือโมเดลสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมจ่ายออก (Y) กับเวลา (X) จะมีค่าดังสมการที่ 3 คือ

$$y = 0.0009x^2 - 0.3251x + 41.928 \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดยสมการที่ 3 มีค่าความสมรूपกับข้อมูล (R-Squared) เท่ากับ 99.04%

ผลการพิจารณาทั้ง 3 ช่วงของวงรอบอุณหภูมิลมจ่ายออกนั้น ช่วงที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานก็คือ ช่วงที่ 3 หรือก็คือช่วงที่คอมเพรสเซอร์ทำงานนั่นเอง ดังนั้นหากนำช่วงที่ 3 มาพิจารณาและแบ่งเป็น 3 ช่วงย่อยตามลักษณะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ดังนี้

- 3.1 ช่วงทำความเย็น
- 3.2 ช่วงอุณหภูมิอิ่มตัว
- 3.3 ช่วงหลังอุณหภูมิอิ่มตัว (ช่วงสิ้นเปลืองพลังงาน)

หากนำกราฟช่วงที่ 3 มาพิจารณาในรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น โดยทำการแบ่งเป็นช่วงเวลาเท่าๆ กัน ช่วงละ 20 หน่วยเวลา หรือ 40 วินาที (ตามเวลาจริง) และสร้างเป็นสมการถดถอยเชิงเส้น แสดงในรูปที่ 20 ซึ่งประกอบด้วย 5 สมการ ตามลำดับของช่วงเวลาดังต่อไปนี้

ช่วงเวลาที่ t0 ถึง t20

$$y = -0.1939x + 21.315 \quad \text{สมการที่ 4}$$

โดยสมการที่ 4 มีค่าความสมรूपกับข้อมูล (R-Squared) เท่ากับ 99.35%

ช่วงเวลาที่ t21 ถึง t40

$$y = -0.0898x + 19.345$$

สมการที่ 5

โดยสมการที่ 5 มีค่าความสมรूपกับข้อมูล (R-Squared) เท่ากับ 99.93%

ช่วงเวลาที่ t41 ถึง t60

$$y = -0.0567x + 17.969$$

สมการที่ 6

โดยสมการที่ 6 มีค่าความสมรूपกับข้อมูล (R-Squared) เท่ากับ 99.33%

ช่วงเวลาที่ t61 ถึง t80

$$y = -0.0238x + 15.999$$

สมการที่ 7

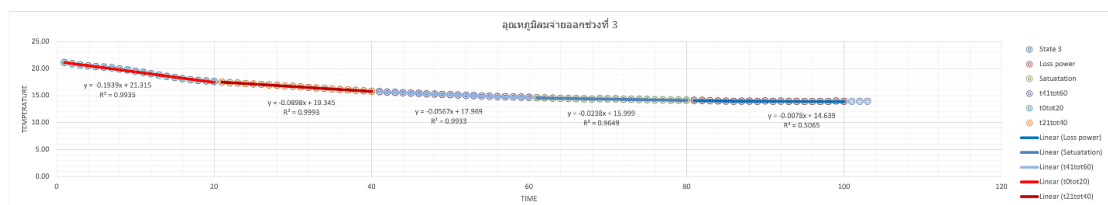
โดยสมการที่ 7 มีค่าความสมรूपกับข้อมูล (R-Squared) เท่ากับ 96.49%

ช่วงเวลาที่ t81 ถึง t100

$$y = -0.078x + 14.639$$

สมการที่ 8

โดยสมการที่ 7 มีค่าความสมรूपกับข้อมูล (R-Squared) เท่ากับ 50.65%



รูปที่ 20 กราฟช่วงที่ 3 ของอุณหภูมิลมจ่ายออก

ดังนั้นหากพิจารณาจากค่าความชันของสมการถดถอยเชิงเส้น และนำมาจัดกลุ่มตามลักษณะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 3 ช่วงย่อย ข้างต้นจะได้ดังนี้

- ช่วงที่ 3.1 ช่วงทำความเย็น คือ ช่วงที่มีค่าความชันน้อยกว่า -0.0238 หรือคือช่วงเวลาตั้งแต่ t0 ถึง t60

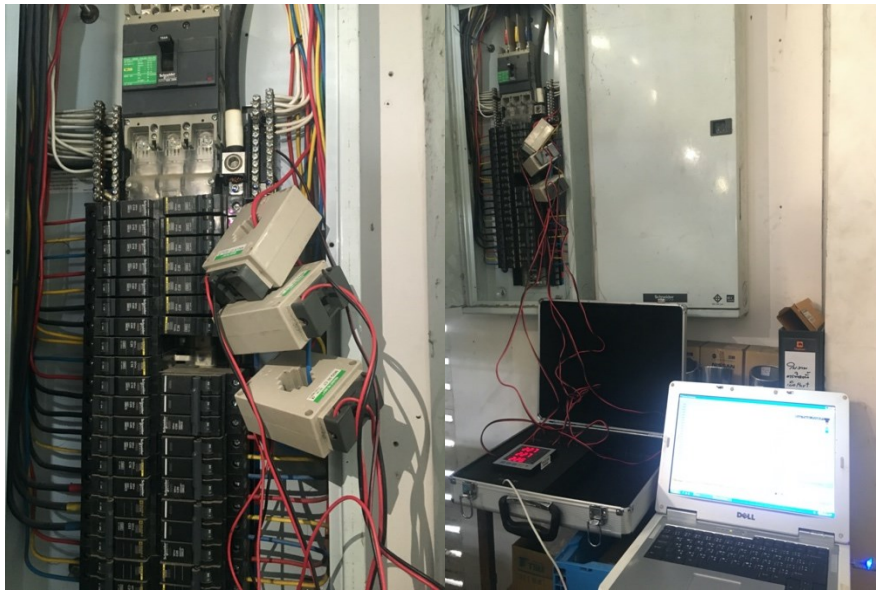
- ช่วงที่ 3.2 ช่วงอุณหภูมิอิ่มตัว คือ ช่วงที่มีค่าความชันเท่ากับ -0.0238 หรือคือช่วงเวลาตั้งแต่ t61 ถึง t80

- ช่วงที่ 3.3 ช่วงอุณหภูมิอิ่มตัว คือ ช่วงที่มีค่าความชื้นเท่ากับ -0.0078 หรือคือ ช่วงเวลาตั้งแต่ t_{81} เป็นต้นไป

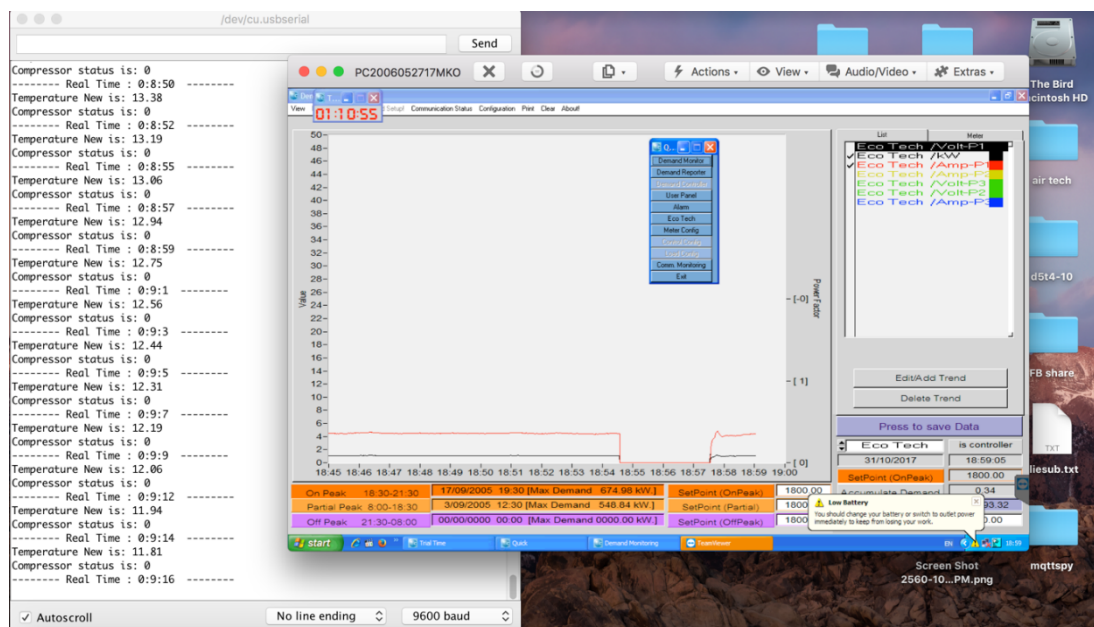
ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น คือ การแบ่งช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้มีค่าสมรूपกับข้อมูลที่เข้าใกล้ 100% ในทุกสมการ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าสมรूपกับข้อมูลของสมการถดถอยเชิงเส้นที่ 4 ถึง 8 มีค่าเท่ากับ 99.35%, 99.93%, 99.33%, 96.49% และ 50.65% ตามลำดับ ซึ่งในช่วงทำความเข้าใจ t_0 ถึง t_{60} และช่วงอุณหภูมิอิ่มตัว t_{61} ถึง t_{80} มีค่าสมรूपกับข้อมูลมากกว่า 99% และ 96% ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นข้างต้น โดยการใช้ช่วงเวลาเป็น 20 หน่วยเวลาหรือ 40 วินาทีเป็นค่าที่เหมาะสม ส่วนช่วงหลังอุณหภูมิอิ่มตัว (ช่วงสิ้นเปลืองพลังงาน) นั้นมีค่าสมรूपกับข้อมูลเพียง 50.65% เนื่องจากการแกว่งตัวของอุณหภูมิจ่ายออกที่เกิดขึ้นหลังสภาวะอุณหภูมิอิ่มตัว ดังนั้นหากควบคุมให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานก่อนที่อุณหภูมิจะเข้าถึงช่วงสิ้นเปลืองพลังงาน ก็จะทำให้เครื่องปรับอากาศประหยัดพลังงานได้จริงตามสมมติฐาน โดยการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นที่ 7 และกำหนดช่วงเวลาเป็น 20 หน่วยเวลา หรือ 40 วินาที หาค่าของช่วงอุณหภูมิอิ่มตัวได้ ซึ่งรูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิ่มตัวอุณหภูมิจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนข้างต้นได้ถูกนำไปพัฒนาเป็น Algorithm ในซอฟต์แวร์ระบบสมองกลฝังตัวของงานวิจัยที่นำเสนอนี้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

4.2 ผลการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

การวัดผลของงานวิจัยทำโดยติดตั้งอุปกรณ์วิจัยที่ห้องทดลองจำนวน 2 ห้อง โดยห้องที่ 1 มีขนาด 6×8 เมตร ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 56,000 BTU จำนวน 2 เครื่อง คือเครื่องปรับอากาศหมายเลข 101 และ 102 ส่วนห้องที่ 2 มีขนาด 5×6 เมตร ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 56,000 BTU จำนวน 1 เครื่อง คือเครื่องปรับอากาศหมายเลข 201 การติดตั้งอุปกรณ์วัดผลในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการวัดผลค่าพลังงานจาก AC Current Transformer (CT) for Clamp Meter ต่อเข้ากับ Power Meter แล้วต่อพ่วงเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลค่าพลังงาน ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 การติดตั้งอุปกรณ์วัดผล

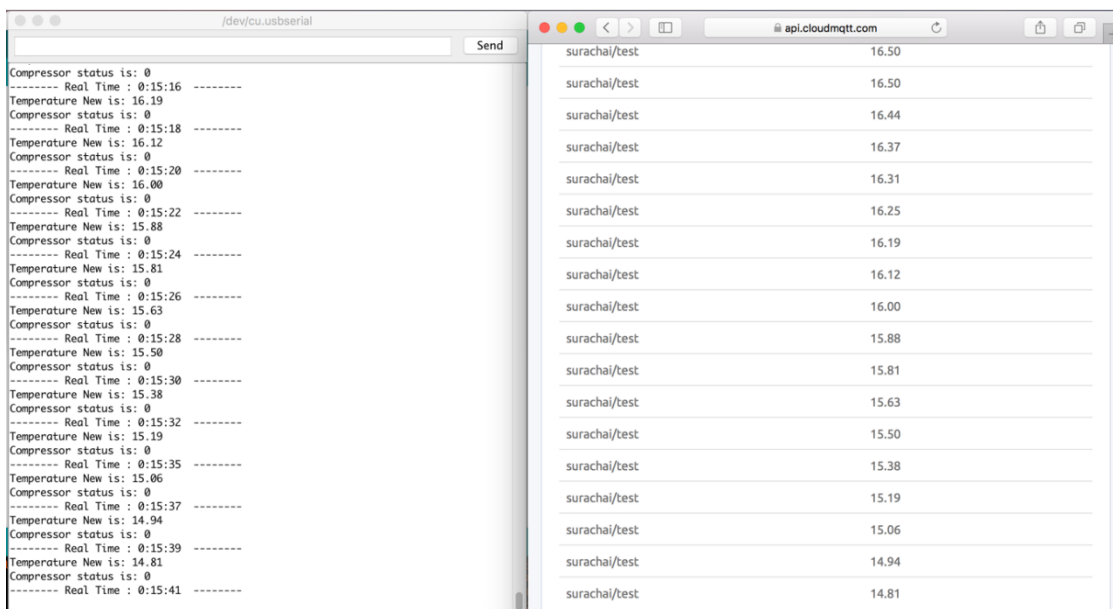


รูปที่ 22 ซอฟต์แวร์บันทึกผล (SCADA)

การวัดผลค่าพลังงานทำได้โดยบันทึกระยะเวลาการทำงาน หยุดทำงาน และค่าพลังงานของคอมเพรสเซอร์ด้วย SCADA Software ค่าพลังงานที่อ่านได้จาก Power Meter ได้ถูกบันทึกและ

แสดงผลเป็นกราฟ 2 เส้น คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (Amp) และค่าพลังงาน (kW) ดังรูปที่ 22 แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนการติดตั้งและหลังการติดตั้งอุปกรณ์วิจัย

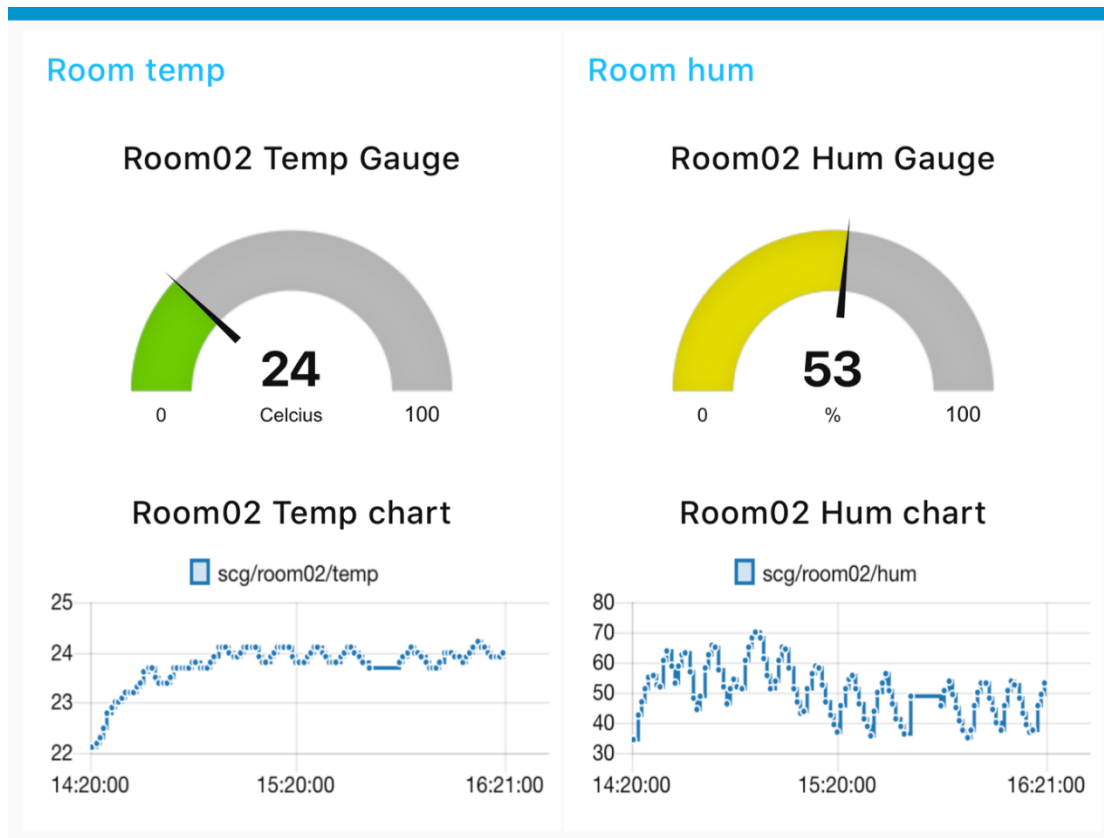
นอกจากการบันทึกผลค่าพลังงานแล้ว การทดลองยังบันทึกผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบปรับอากาศด้วย เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นในอากาศของห้องที่ใช้ทำการวิจัย และค่าอุณหภูมีย้อนกลับ (Return Air) ที่เครื่องปรับอากาศอีกด้วย การบันทึกผลดังกล่าวทำได้โดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22) เพื่อวัดสภาพอากาศในห้องทดลองและใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20) ตรวจจับอุณหภูมิลมจ่ายออกที่เครื่องปรับอากาศ โดยเซ็นเซอร์ดังกล่าวจะถูกต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ผ่านโปรโตคอล MQTT เพื่อบันทึกผลบนคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 23



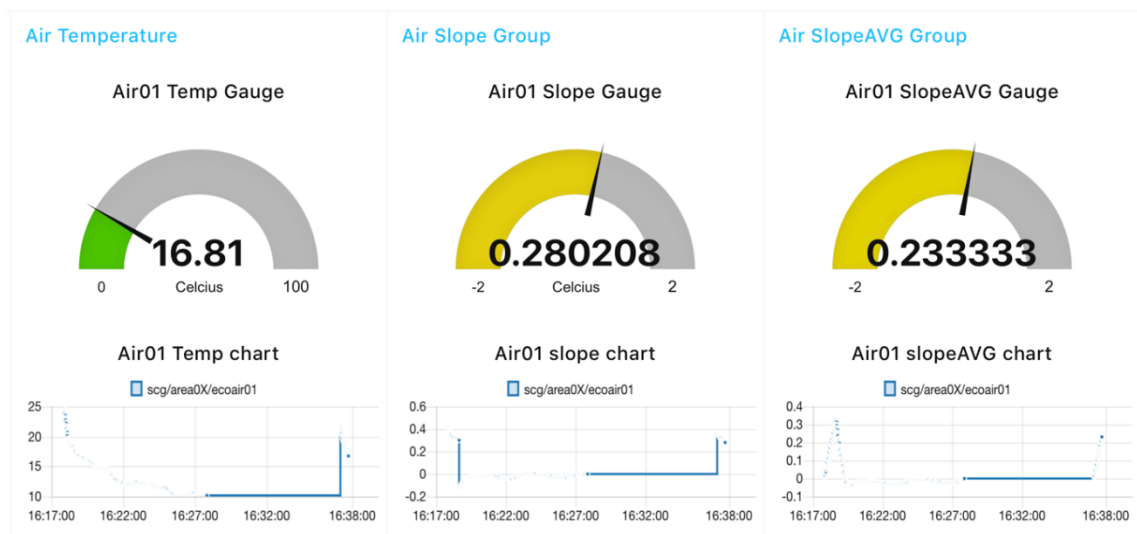
รูปที่ 23 การบันทึกผลผ่านโปรโตคอล MQTT

ค่าอุณหภูมิและความชื้นของห้องทดลองจะถูกบันทึกและแสดงผลเป็นเกจ (gauge) และกราฟ ดังรูปที่ 24 ซึ่งจะเห็นว่าเวลา 14.20 น. ถึง เวลา 15.20 น. ค่าอุณหภูมิห้องจะเพิ่มขึ้นจาก 22 องศาเซลเซียส เป็น 24 องศาเซลเซียส และมีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 50% ในช่วงเวลา 15.20 น. ถึงเวลา 16.21 น. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส และมีค่าความชื้นเฉลี่ยประมาณ 45% ดังที่แสดงในรูปที่ 24 ส่วนค่าอุณหภูมิลมจ่ายออกที่เครื่องปรับอากาศจะมีค่าเป็น 25 องศา

เซลเซียส และลดลงจนถึง 10 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 16.17 น. จนถึงเวลา 16.27 น. ดังที่แสดง
 ในรูปที่ 25



รูปที่ 24 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นห้องทดลอง



รูปที่ 25 กราฟแสดงอุณหภูมิลมจ่ายออกเครื่องปรับอากาศ

จากรูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนตามสมการที่ 7 ข้างต้นได้ถูกนำมาพัฒนาเป็น Algorithm ของระบบสมองกลฝังตัวของอุปกรณ์วิจัย การตรวจสอบสถานะความอิมตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออกสามารถทำได้โดยการหาค่าความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลมจ่ายออกเดิม กับอุณหภูมิของลมจ่ายออกใหม่ (Δ temperature) เทียบกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (Δ time) ตามสมการที่ 9 ซึ่งในการทดลองได้กำหนดให้ Δ time หนึ่งหน่วยเวลามีค่าเท่ากับ 2 วินาที

$$Slope_t = \frac{\Delta temperature}{\Delta time} \quad \text{สมการที่ 9}$$

ดังนั้น หากพิจารณาจากค่าความชัน (Slope_t) ที่ได้ตามรูปที่ 20 ค่าสถานะความอิมตัวของลมจ่ายออกก็คือ ค่าความชันที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยอย่างต่อเนื่อง ตามรูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (สมการที่ 7)

ซึ่งมีค่าความชัน เท่ากับ -0.0238 และในการพัฒนาชุดโปรแกรมสมองกลฝังตัวของงานวิจัยนี้ ยังได้นำหลักการหาค่าเฉลี่ยสะสมของความชัน ใช้ร่วมกับโดยกำหนดให้ระยะเวลาของค่าความชัน

เฉลี่ยสะสมมีค่าเป็น 20 หน่วยเวลา ตามหลักเกณฑ์ของรูปแบบจำลองในสมการที่ 7 ซึ่งสามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการได้ดังสมการที่ 10

$$\overline{Slope} = \frac{\sum_{t=m}^n Slope\ t}{n-m} \quad \text{สมการที่ 10}$$

โดยกำหนดให้ n-m มีค่าเท่ากับ 20

ดังนั้นเมื่อค่าความชันเฉลี่ยสะสม (*Slope*) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง -0.0238 และมีช่วงเวลาเท่ากับ 20 หน่วยเวลา ระบบสมองกลฝังตัวของงานวิจัยจะสั่งการให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานเพื่อกำจัดการเกิดสถานะสิ้นเปลืองพลังงานหลังถึงจุดอุณหภูมิอิมิต์ของลมจ่ายออก

จากการทดลองพบว่า สภาวะความอิมิต์ตัวของลมจ่ายออกจะขึ้นอยู่กับขนาดห้อง ขนาดเครื่องปรับอากาศ และอุณหภูมิห้องที่กำหนด (Setpoint) ซึ่งในการทดลองจะทำการกำหนดเป็นอุณหภูมิห้องที่มีการใช้งานบ่อยและเหมาะสมต่อการประหยัดพลังงาน เป็น 2 อุณหภูมิ คือ 24 และ 25 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่ได้คือ ค่าสภาวะอิมิต์ตัวของลมจ่ายออกที่อุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียส มีค่า 9.3 องศาเซลเซียส และสภาวะอิมิต์ตัวของลมจ่ายออกที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส มีค่า 10.2 องศาเซลเซียส ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะอิมิต์ตัวของลมจ่ายออก

อุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส)	สภาวะอิมิต์ตัวของลมจ่ายออก (องศาเซลเซียส)
24	9.3
25	10.2

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์วิจัยเครื่องปรับอากาศหมายเลข 101 มีรอบการทำงาน ดังนี้คือ คอมเพรสเซอร์จะทำงานเวลา 4 นาที และหยุดทำงานเป็นเวลา 11 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมงจะทำงานทั้งหมด 4 ครั้ง หรือกล่าวได้ว่ามีระยะเวลาทำงานเป็นเวลา 16 นาทีต่อชั่วโมง เครื่องปรับอากาศหมายเลข 102 มีรอบการทำงาน ดังนี้คือ คอมเพรสเซอร์จะทำงานเวลา 5.5 นาที และหยุดงานเป็นเวลา 9.5 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมงจะทำงานทั้งหมด 4 ครั้ง หรือกล่าวได้ว่ามีระยะเวลา

ทำงานเป็นเวลา 22 นาทีต่อชั่วโมง และเครื่องปรับอากาศหมายเลข 201 มีรอบการทำงาน ดังนี้คือ คอมเพรสเซอร์จะทำงานเวลา 5 นาที และหยุดทำงานเป็นเวลา 3.5 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมงจะทำงานทั้งหมด 7 ครั้ง หรือกล่าวได้ว่ามีระยะเวลาทำงานเป็นเวลา 35 นาทีต่อชั่วโมง หลังการติดตั้งอุปกรณ์วิจัยมีผล คือ เครื่องปรับอากาศหมายเลข 101 มีรอบการทำงานดังนี้ คือ คอมเพรสเซอร์จะทำงานเป็นเวลา 3.5 นาที และหยุดทำงานเป็นเวลา 14 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมงจะทำงานทั้งหมด 3 ครั้ง หรือกล่าวได้ว่า มีระยะเวลาทำงานเป็นเวลา 10.5 นาทีต่อชั่วโมง เครื่องปรับอากาศหมายเลข 102 มีรอบการทำงานดังนี้ คือ คอมเพรสเซอร์จะทำงานเป็นเวลา 3 นาที และหยุดทำงานเป็นเวลา 9 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมงจะทำงานทั้งหมด 5 ครั้ง หรือกล่าวได้ว่ามีระยะเวลาทำงานเป็นเวลา 15 นาทีต่อชั่วโมง และเครื่องปรับอากาศหมายเลข 201 มีรอบการทำงานดังนี้ คือ คอมเพรสเซอร์จะทำงานเป็นเวลา 3 นาที และหยุดทำงานเป็นเวลา 3 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมงจะทำงานทั้งหมด 10 ครั้ง หรือกล่าวได้ว่ามีระยะเวลาทำงานเป็นเวลา 30 นาทีต่อชั่วโมง

ตารางที่ 3 รอบการทำงานคอมเพรสเซอร์

ห้อง	หมายเลข เครื่องปรับอากาศ	ก่อนติดตั้งอุปกรณ์วิจัย				หลังติดตั้งอุปกรณ์วิจัย			
		ON/ ทำงาน (นาที)	OFF/ หยุดทำงาน (นาที)	ทำงาน (ครั้ง/ชม.)	ทำงาน (นาที/ชม.)	ON/ ทำงาน (นาที)	OFF/ หยุดทำงาน (นาที)	ทำงาน (ครั้ง/ชม.)	ทำงาน (นาที/ชม.)
1	AIR 101	4	11	4	16	3.5	14	3	10.5
	AIR 102	5.5	9.5	4	22	3	9	5	15
2	AIR 201	5	3.5	7	35	3	3	10	30

ตารางที่ 4 ผลการประหยัดพลังงาน

ห้อง	หมายเลข เครื่องปรับอากาศ	ก่อนติดตั้งอุปกรณ์วิจัย				หลังติดตั้งอุปกรณ์วิจัย				ผลความประหยัด		
		อุณหภูมิ ห้องเฉลี่ย (°C)	ทำงาน (นาที/ ชม.)	พลังงาน (kWh)	พลังงาน (kWh/ปี)	อุณหภูมิ ห้องเฉลี่ย (°C)	ทำงาน (นาที/ ชม.)	พลังงาน (kWh)	พลังงาน (kWh/ ปี)	พลังงาน (kWh/ปี)	มูลค่า (บาท/ปี)	ร้อยละ
1	AIR 101	25	16	4.37	38,310.40	25.4	10.5	2.87	25,141	13,169.20	39,507.60	34.38
	AIR 102	25	22	6.01	52,676.80	25.4	15	4.1	35,916	16,760.80	50,282.40	31.82
2	AIR 103	25.3	35	9.57	83,804.00	25.8	30	8.2	71,832	11,972.00	35,916.00	14.29
AVERAGE										13,967.33	41,902.00	26.83

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า หลังการติดตั้งอุปกรณ์วิจัย เครื่องปรับอากาศหมายเลข 101 102 และ 201 จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 34.38 % 31.82 % และ 14.29 % ตามลำดับ โดยมี

อุณหภูมิห้องที่ 1 และห้องที่ 2 สูงขึ้น 0.4°C และ 0.8°C ทั้งนี้หากเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 เครื่อง มีการเปิดใช้งาน 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 1 ปี และหากเครื่องปรับอากาศขนาด 56,000 BTU ทำงาน 100% ตลอด 1 ชั่วโมง มีค่าพลังงานเท่ากับ 16.40 kWh [7-8] โดยมีอัตราค่าไฟเท่ากับ 3 บาทต่อหน่วย (kWh) [9] อุปกรณ์วิจัยที่นำเสนอจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 13,169.20 kWh/ปี 16,760.80 kWh/ปี และ 11,972.00 kWh/ปี หรือคิดเป็นมูลค่า 39,507 บาทต่อปี 50,282 บาทต่อปี และ 35,916 บาทต่อปี ในเครื่องปรับอากาศหมายเลข 101 102 และ 201 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีกระบวนการเป็นขั้นตอนย่อย 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบแนวคิดทางทฤษฎีด้านการลดพลังงานเครื่องปรับอากาศตามข้อสมมุติฐานการวิจัย
2. การพัฒนารูปแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนตามขอบเขตของงานวิจัยเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1
3. การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบสมองกลฝังตัวที่เป็นไปตามแนวคิดทางด้านทฤษฎีและรูปแบบจำลองที่ออกแบบไว้
4. การพัฒนาฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัว ต้นแบบอุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนตามขอบเขตของงานวิจัยเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2
5. การติดตั้งและทดสอบ
6. การบันทึกและสรุปผลการทดลอง

จากขั้นตอนดังกล่าวจำเป็นต้องใช้องค์ความรู้มาประกอบกันหลายด้าน กล่าวคือ ด้านการควบคุมพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์บนอุปกรณ์ที่เป็นระบบสมองกลฝังตัว ด้านฮาร์ดแวร์ที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ทั้งนี้ในงานวิจัยยังได้มีกระบวนการติดตั้งและทดสอบกับเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในสภาพการใช้งานจริง อีกทั้งยังมีการทดสอบปรับแก้ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบระหว่างการออกแบบและการทดลองอย่างสอดคล้อง

นอกจากการพัฒนารูปแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างจุดอิมิตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานและการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัวเพื่อประหยัดพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแล้วนั้น จากกระบวนการวิจัยและผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์วิจัยที่ออกแบบนั้น สามารถใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ทุกตราสินค้า โดยการต่ออุปกรณ์วิจัยเข้ากับระบบเครื่องปรับอากาศดั้งเดิมแบบอนุกรม

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปแบบจำลองและอุปกรณ์ของงานวิจัยนั้นสามารถประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ โดยใช้ซอฟต์แวร์ระบบสมองกลฝังตัวที่พัฒนาจากรูปแบบจำลองเพื่อตรวจจับสถานะอิมิตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออก ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับขนาดห้อง ขนาดของเครื่องปรับอากาศและอุณหภูมิห้องที่ต้องการ ผลการทดลองแสดงให้เห็น

เห็นว่า สภาวะอิมตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออกมีค่าเป็น 9.3 และ 10.2 องศาเซลเซียส บนสภาวะประหยัดพลังงานที่ห้องทดลองขนาด 5x6 เมตร เครื่องปรับอากาศขนาด 56,000 BTU อุณหภูมิห้องมีค่าเป็น 24 และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ นอกจากนั้นซอฟต์แวร์ระบบสมองกลฝังตัวที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ยังสามารถตรวจจับสภาวะอิมตัวของอุณหภูมิลมจ่ายออกกับทุกอุณหภูมิห้องที่ต้องการประหยัดพลังงานได้อีกด้วย ผลงานวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ในด้านต่าง ๆ ได้ ดังนี้

- 1) การใช้ประโยชน์ในเชิงสาธารณะ เพื่อลดพลังงานและประหยัดค่าใช้จ่าย
- 2) การใช้ประโยชน์ในเชิงนโยบาย เพื่อช่วยอนุรักษ์พลังงาน และอนุรักษ์ธรรมชาติ
- 3) การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ โดยนำผลงานวิจัย ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์นวัตกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน

5.2 อภิปรายผล

นอกจากวิธีการต่าง ๆ ที่อยู่ในการทบทวนวรรณกรรมแล้วนั้น งานวิจัยที่นำเสนอนี้เป็นอีกทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพและการอนุรักษ์พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งแนวคิดของงานวิจัยนี้คือการพัฒนากระบวนสมองกลฝังตัวที่ประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศด้วยอัลกอริทึม ซึ่งมาจากรูปแบบจำลองความสัมพันธ์จุดอิมตัวอุณหภูมิลมจ่ายออกกับการประหยัดพลังงานที่ทำหน้าที่คำนวณหาค่าความเย็นสะสมที่ Evaporator จากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เมื่อค่าความเย็นสะสมมีความเหมาะสม จนถึงจุดอิมตัวคอมเพรสเซอร์จะถูกสั่งให้หยุดพัก ก่อนเข้าสู่ช่วงสิ้นเปลืองพลังงานและนำความเย็นสะสมที่ค้างอยู่ไปจ่ายออกเพื่อลดอุณหภูมิห้องลง จึงทำให้ช่วยลดพลังงานของเครื่องปรับอากาศได้มากขึ้น การทดสอบกับเครื่องปรับอากาศขนาด 56,000 BTU จำนวน 3 เครื่อง ที่ติดตั้งในห้องทดลองจำนวน 2 ห้อง โดยเครื่องที่ 1 และ 2 ติดตั้งในห้องที่ 1 ขนาด 6x8 เมตร ส่วนเครื่องที่ 3 ติดตั้งในห้องที่ 2 ขนาด 5x6 เมตร พบว่า หลังการติดตั้งอุปกรณ์วิจัย อุปกรณ์วิจัยทำให้เครื่องปรับอากาศประหยัดพลังงานลง เฉลี่ย 26.83% คิดเป็นค่าพลังงานงานเฉลี่ย 13,967.33 kWh/ปี และคิดเป็นมูลค่าเฉลี่ย 41,902 บาทต่อปี แสดงให้เห็นว่ารูปแบบจำลองและระบบสมองกลฝังตัวที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถทำให้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประหยัดพลังงานได้จริงตามข้อสมมุติฐานตั้งต้นของงานวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยด้านระบบปรับอากาศนั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่หลายปัจจัยด้วยกันคือ ขนาดของห้อง ขนาดของเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิภายนอก ตำแหน่งที่ตั้งของห้อง ตำแหน่งที่ตั้งของชุดระบายความร้อน อุณหภูมิห้องที่กำหนด ช่วงเวลาวัดอุณหภูมิและบันทึกผลการทดลอง จำนวนผู้อาศัยใน

ห้อง ลักษณะกิจกรรมที่ทำในห้อง จำนวนครั้งของการเปิดประตูเข้า-ออก และอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มีผลต่ออุณหภูมิ เป็นต้น ดังนั้นในการระบวนการวิจัย การบันทึกผลการวิจัย การวิเคราะห์และประมวลผลวิจัย จึงควรระบุปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้ชัดเจน เพื่อให้ผลการวิจัยสามารถนำไปสู่การปฏิบัติและใช้งานได้จริง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2558. “อัตราค่าไฟฟ้า.” สืบค้นเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2564, จาก <http://pea.co.th>
- ธีรพงศ์ธีรรัช และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ. 2556. “การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์.” **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย** ปีที่ 7, ฉบับที่ 2: 57-64.
- นิกร เนื่องอุดม, ปิยากร จันทะนะ, สมนึก เครือสอน และ ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์. 2559. “การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้ลมเย็นจากพัดลมระบายอากาศ.” **วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร** ปีที่ 10, ฉบับที่ 1: 15 -23.
- สุรัตน์ อดัตถจริยกุล. 2550. “ความรู้สึกรบายเชิงความร้อนสำหรับการปรับ อากาศในประเทศไทย.” **วิศวกรรมสารมข.** ปีที่ 34 ฉบับที่ 2: 141-150
- อาจารย์ ศุภสุธิกุล. 2557. “การศึกษาระยะเวลาการปิดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.” **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)** ปีที่ 6 ฉบับที่ 12: 91-98.
- Apache. “Apache HTTP Server Project.” Retrieved August 31, 2018, from <https://httpd.apache.org/docs>
- Arduino. “Arduino Language Reference.” Retrieved August 31, 2018, from <https://www.arduino.cc/reference/e>
- “Convert Btu/hour [I.T.] to watt.” Retrieved August 31, 2018, from <https://www.convertunits.com/from/Btu+per+hour/to/watt>.
- Daikin Industries LTD., 2018. “Daikin ceiling suspended type 13,000 - 56,000 BTU/h.” specification
- Espressif Systems. 2018. “ESP8266,” Datasheet, Version 5.8.
- G.P. Maheshwari, F. Al-Ragom, R.K. Suri. 2001. “Energy-saving potential of an indirect evaporative cooler.” **Applied Energy, Elsevier,** Volume 69, Issue 1: 69-76.

- Kamel Ghali. 2008. "Energy savings potential of a hybrid desiccant dehumidification air conditioning system in Beirut." **Conversion and Management, Elsevier**, Volume 49, Issue 11: 3387-3390.
- Mantech Electronics, "HRS4H-S Relay," Datasheet, 2018.
- MQTT. "Internet of Things" connectivity protocol." Retrieved August 31, 2018, from <http://mqtt.org>
- Node-Red. "Flow-based programming for the Internet of Things." Retrieved August 31, 2018, from <https://nodered.org>
- Raspberry PI. "Raspberry Hardware." Retrieved August 31, 2018, from <https://www.raspberrypi.org/documentation>
- Raspbian. "Raspbian Documentation." Retrieved August 31, 2018, from <https://www.raspbian.org/RaspbianDocumentation>
- Shahram Delfani, Jafar Esmaeelian, Hadi Pasdarshahri and Maryam Karami. 2010. "Energy saving potential of an indirect evaporative cooler as a pre-cooling unit for mechanical cooling systems in Iran." **Energy and Buildings, Elsevier**, Volume 42, Issue 11: 2169-2176.
- Thomas Liu. "Digital-output relative humidity & temperature sensor/module (DHT22)." Aosong Electronics Co.,Ltd,.
- Maxim Integrated. 2008. "DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer." Revision Date 042208.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แพลตฟอร์มระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System Platform)

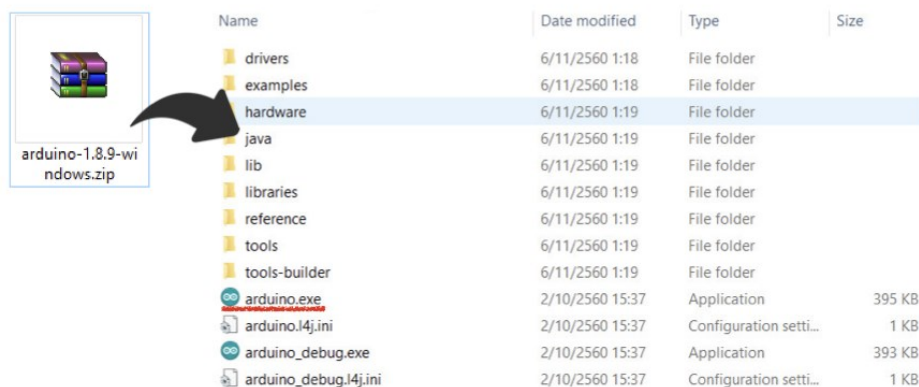
แพลตฟอร์มระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System Platform)

Arduino เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวของงานวิจัยนี้ Arduino คือ โอเพนซอร์อิเล็กทรอนิกส์แพลตฟอร์ม ที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ซึ่งการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์นำเข้าข้อมูล รวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถทำได้โดยใช้ Arduino Software (IDE) ในภาคผนวกนี้จะอธิบายวิธีการใช้งานดังหัวข้อต่อไปนี้

- การติดตั้ง Arduino IDE เพื่อใช้งานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266)
- สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266)
- โครงสร้างภาษาซีสำหรับ Arduino

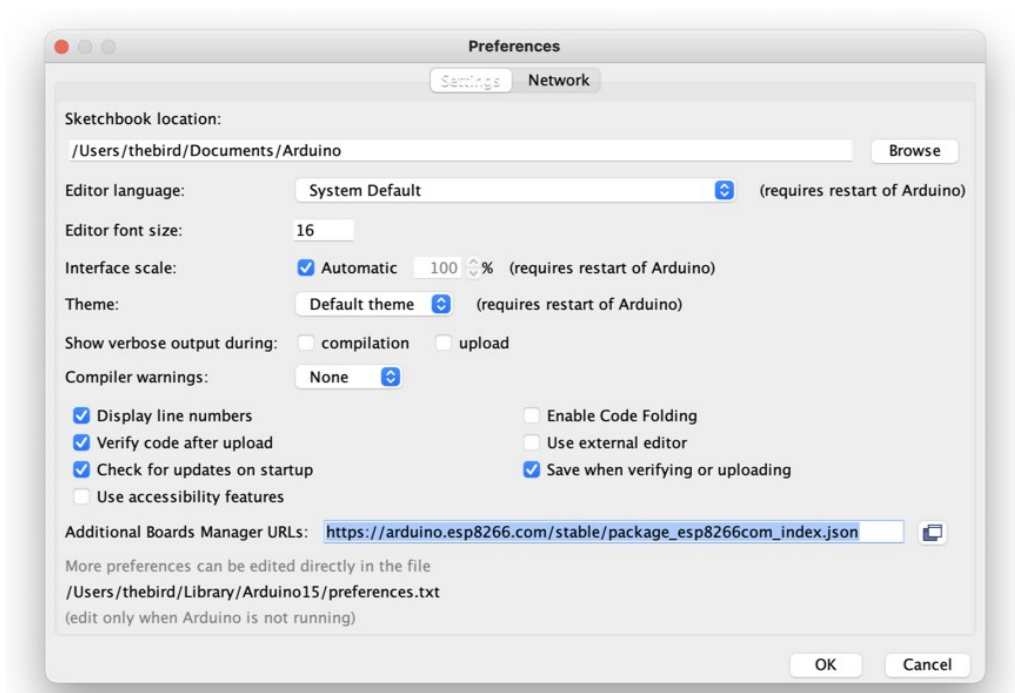
การติดตั้ง Arduino IDE เพื่อใช้งานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ดาวน์โหลดโปรแกรม Arduino IDE จากลิงค์ <https://www.arduino.cc/en/main/software> ทำการติดตั้งโดยการ unzip และเปิดใช้งานโปรแกรมด้วยไฟล์ `arduino.exe` ดังรูปที่ 1 (การใช้งานโปรแกรม Arduino IDE)



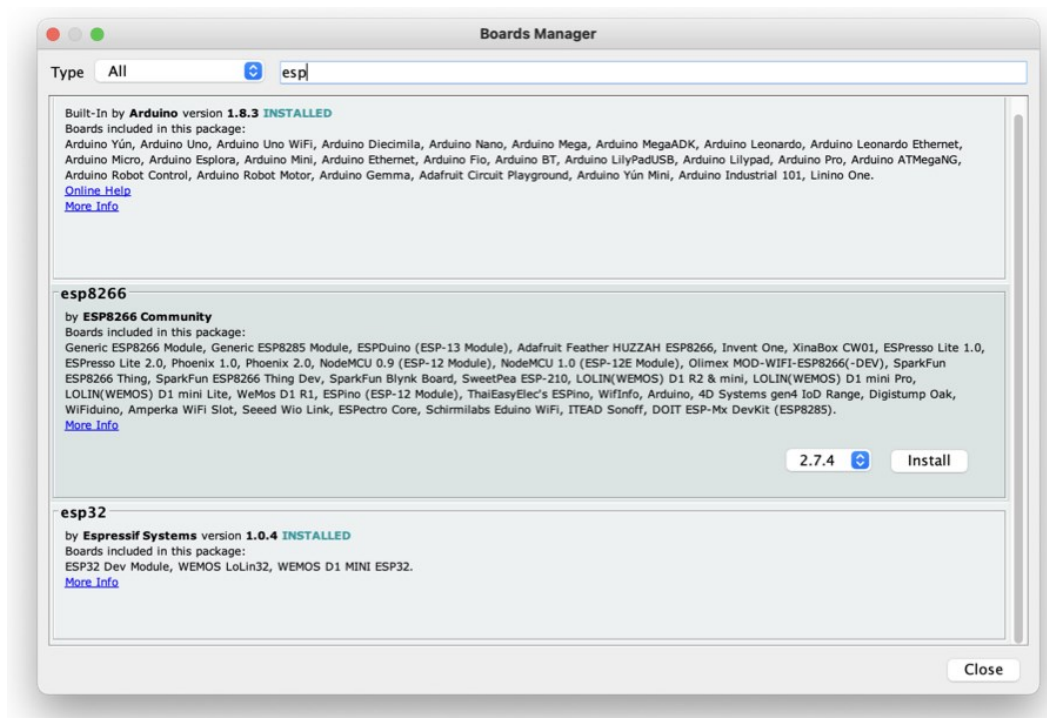
รูปที่ 1 การใช้งานโปรแกรม Arduino IDE

การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) ลงบน Arduino IDE โดยการระบุ URL https://www.arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json ที่ช่อง Additional Boards Manager URLs จากเมนู Preferences ดังรูปที่ 2 (การระบุ URL ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์)



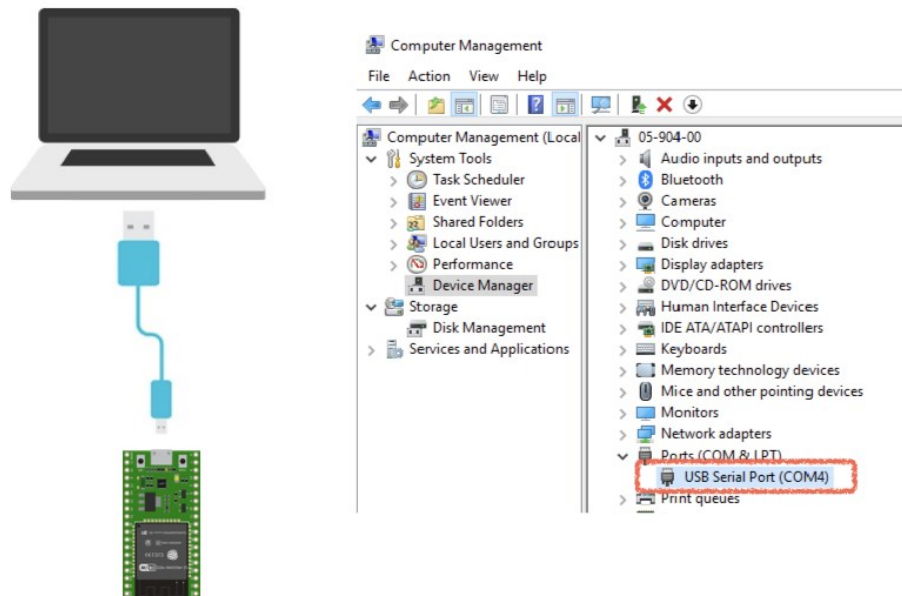
รูปที่ 2 การระบุ URL ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

หลังจากนั้นโปรแกรม Arduino IDE จะสามารถติดตั้งชุดโปรแกรมย่อยที่สามารถพัฒนาโปรแกรมร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP8266) ได้ ซึ่งการติดตั้งทำได้โดยผ่านเมนู Boards Manager ดังแสดงในรูปที่ 3 (การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์)



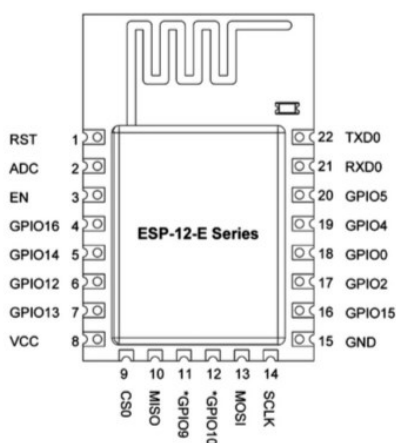
รูปที่ 3 การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านพอร์ต USB ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถทำได้โดยการติดตั้ง Virtual com port Driver ของชิปที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบ USB to UART ที่อยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นชิปของ Future Technology Devices International Limited (FTDI) โดยสามารถติดตั้ง FTDI ไดรเวอร์ได้จากลิงค์ <https://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.html> และสามารถตรวจสอบผลการติดตั้งได้จากโปรแกรม Device Manager ดังแสดงในรูปที่ 4 (การติดตั้ง Virtual com port driver)



รูปที่ 4 การติดตั้ง Virtual com port driver

สถาปัตยกรรมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ ESP8266 ที่ถูกเลือกมาใช้งานวิจัย ดังแสดง
 ในรูปที่ 5 (ESP8266) มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ ESP8266

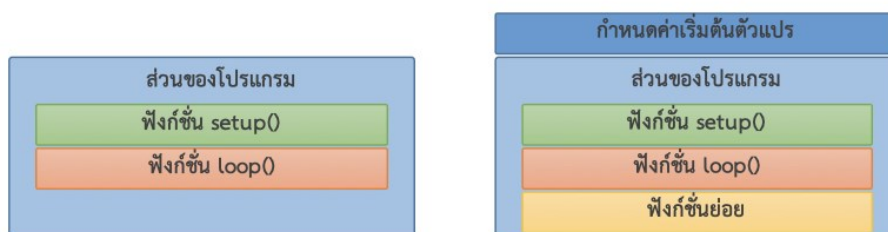
ESP8266 เป็นชื่อเรียกของชิพของโมดูล ESP8266 สำหรับติดต่อสื่อสารบนมาตรฐาน WiFi ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.0-3.6V ทำงานใช้กระแสโดยเฉลี่ย 80mA รองรับคำสั่ง deep sleep ในการประหยัดพลังงาน ใช้กระแสน้อยกว่า 10 ไมโครแอมป์ สามารถ wake up กลับมาส่งข้อมูลใช้เวลา น้อยกว่า 2 มิลลิวินาที ภายในมี Low power MCU 32bit ทำให้เราเขียนโปรแกรมสั่งงานได้ มีวงจร analog digital converter ทำให้สามารถอ่านค่าจาก analog ได้ความละเอียด 10bit ทำงานได้ที่ อุณหภูมิ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส รายละเอียดเพิ่มเติมจากผู้ผลิตอ้างอิงตาม ESP8266 Datasheet เมื่อนำชิพ ESP8266 มาผลิตเป็นโมดูลหลายรุ่น ก็จะขึ้นต้นด้วย ESP866 แล้วตามด้วยรุ่น เช่น ESP-01 , ESP-03 , ESP-07 , ESP-12E ESP8266 ติดต่อกับ WI-FI แบบ Serial สามารถเขียน โปรแกรมลงไปในชิพ โดยใช้ Arduino IDE ได้ ทำให้การเขียนโปรแกรมและใช้งานเป็นเรื่องง่าย คล้าย กับการใช้ Arduino ซึ่งสามารถติดต่ออุปกรณ์อื่น ๆ เช่นเซอร์ ต่าง ๆ แบบสไตล์ Arduino ถ้ามีพื้นฐาน Arduino อยู่แล้ว ก็เข้าใจและใช้งานได้รวดเร็ว โมดูล ESP8266 มีหลายรุ่น และมีรุ่นใหม่พัฒนา ออกมาเรื่อย ๆ โดยโครงสร้างและขาที่ใช้งานก็จะมีลักษณะคล้ายกันคือ

- GPIO0 เป็นขาสำหรับเลือกโหมด โดยเมื่อต่อกับ GND จะเข้าโหมดโปรแกรม แต่เมื่อต้องการ ให้ทำงานปกติไม่ต้องต่อขาสัญญาณ GPIO0

- GPIO15 เป็นขาที่ต้องต่อลง GND เพื่อให้โมดูลทำงาน
- CH_PD หรือ EN เป็นขาที่ต้องต่อไฟ VCC เพื่อ pull up สัญญาณ ให้โมดูลทำงาน โมดูลบางรุ่นไม่มีขา Reset มาให้ เมื่อต้องการรีเซ็ต ให้ต่อขา CH_PD กับ GND
- Reset ต่อกับไฟ VCC เพื่อ pull up สัญญาณ โดยเมื่อต้องการรีเซ็ต ให้ต่อกับไฟ GND
- VCC เป็นขาสำหรับจ่ายไฟเลี้ยง ใช้ไฟเลี้ยง 3.0-3.6V
- GND ต่อกับไฟ 0V
- GPIO เป็นขาดิจิตอล INPUT/OUTPUT ทำงานที่ไฟ 3.3V
- ADC เป็นขา Analog INPUT รับแรงดันสูงสุด 1V ความละเอียด 10bit หรือ 1024 ค่า

โครงสร้างภาษาซีสำหรับ Arduino ที่ถูกแสดงในรูปที่ 6 (โครงสร้างโปรแกรม Arduino) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ส่วนของการกำหนดค่าเริ่มต้นตัวแปรอยู่ในตอนต้นของโปรแกรมก่อนถึงฟังก์ชัน มีข้อกำหนดเรื่องตัวอักษรพิมพ์เล็ก-ใหญ่ ของตัวแปรและชื่อฟังก์ชัน
- ฟังก์ชัน Setup () ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม ซึ่งฟังก์ชัน Setup () นี้จะมีการทำงานเพียงครั้งเดียว เมื่อเริ่มต้นการทำงาน
- ฟังก์ชัน loop () เป็นส่วนที่โปรแกรมจะวนทำซ้ำอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยปกติใช้กำหนดโหมดการทำงานของขาต่างๆ กำหนดการสื่อสารแบบอนุกรม ฯลฯ ซึ่งส่วนของฟังก์ชัน loop () นี้เป็นโค้ดโปรแกรมหลักที่ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล



รูปที่ 6 โครงสร้างโปรแกรม Arduino

การพัฒนาโปรแกรมด้วย Arduino สามารถใช้ลิงค์ <https://www.arduino.cc/rfvencc/en/> เป็นแหล่งอ้างอิงได้ ซึ่งคำสั่งพื้นฐานที่ควรรู้ได้ถูกอธิบาย ดังต่อไปนี้

คำสั่งพื้นฐานที่ควรรู้

- pinMode(pin, input /output) ฟังก์ชันกำหนดโหมดการทำงานให้ขาพอร์ตนั้นๆ เป็น INPUT หรือ OUTPUT ทั้งขาพอร์ตดิจิตอลและขาพอร์ตแอนาล็อก
- digitalWrite(pin, value) ฟังก์ชันส่งค่าลอจิกดิจิตอลไปยังขาพอร์ตนั้นๆ (โดยค่า HIGH เป็นการส่งลอจิก 1 และค่า LOW เป็นการส่งลอจิก 0)
- digitalRead(pin) ฟังก์ชันอ่านค่าลอจิกดิจิตอลที่ขาพอร์ต เช่น จากการกดสวิตช์หรือรับค่าจากเซ็นเซอร์ดิจิตอล
- analogWrite(pin, value) ฟังก์ชันให้ขาพอร์ตส่งสัญญาณ PWM (ค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1023)
- analogRead(pin/ch) ฟังก์ชันอ่านสัญญาณแอนาล็อก (ค่าที่อ่านได้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 4095)
- Delay(time(ms)) ฟังก์ชันหน่วงเวลา (ms: ตัวเลขที่หน่วงเวลามีหน่วยเป็นมิลลิวินาที)
- delayMicroseconds(time(us)) ฟังก์ชันหน่วงเวลาเป็นไมโครวินาที (us: ไมโครวินาที)
- Serial.begin(speed) ฟังก์ชันกำหนดความเร็วในการสื่อสารทางพอร์ตอนุกรม (หน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bps: bit per second)ค่าความเร็วได้แก่ 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, หรือ 115200)
- Serial.print/println(val, format) ฟังก์ชันส่งข้อมูลออกหรือพิมพ์ข้อมูลออกทางพอร์ตเพื่อแสดงผล
- Serial.available() ฟังก์ชันตรวจสอบว่ามีข้อมูลเข้ามายังพอร์ตอนุกรมหรือไม่
- Serial.Read() ฟังก์ชันอ่านข้อมูลที่เข้ามายังพอร์ตอนุกรม
- ADC (Analog to Digital Converter) ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าสำหรับ ESP32 สามารถใช้งาน ADC ได้ที่ความละเอียด 12 บิต หรือค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 0 – 4095 เช่น วัดแรงดันได้ 3.3V จะอ่านค่าจากขา ADC ได้ 4095 เป็นต้น
- ฟังก์ชัน analogRead() มีรูปแบบการใช้งานดังนี้
int analogRead(int ch); ฟังก์ชันมีค่าพารามิเตอร์ 1 ตัว คือ ch เป็นการกำหนดหมายเลขช่อง ADC ที่ต้องการวัดหรือใส่หมายเลขขา GPIO สำหรับค่าที่อ่านได้จะส่งกลับมาจะมีชนิดเป็น int มีค่าระหว่าง 0 - 4095

- ฟังก์ชัน `analogReadResolution()` มีรูปแบบการใช้งานดังนี้
`void analogReadResolution(int bit);` ฟังก์ชันมีค่าพารามิเตอร์ 1 ตัว คือ bit เป็นการกำหนดค่าความละเอียดของ ADC สามารถกำหนดได้ต่ำสุด 9 บิต และสูงสุด 12 บิต สำหรับค่าที่อ่านจากฟังก์ชัน `analogRead()` สามารถหาค่าสูงสุดได้จากสมการ $2^{\text{bits}} - 1$ เช่น ถ้ากำหนดให้ความละเอียด เป็น 10 บิต ค่าที่อ่านได้สูงสุดจะได้ $2^{10} - 1 = 1023$
- PWM(Pulse Width Modulation) เป็นการควบคุมอุปกรณ์ในรูปแบบอนาล็อก โดยหลักการของ PWM คือการสร้างคลื่นที่มีคาบเวลาเปิด - ปิดไม่เท่ากัน คาบเวลาเปิดจะถูกเรียกว่าดีวี่ไซเคิล (Duty Cycle) ซึ่งค่านี้ระบุเป็นร้อยละหรือ % ทั้งนี้ในการใช้งานจริงจะสามารถควบคุมได้ตามจำนวนบิตที่ฮาร์ดแวร์รองรับเช่น (ตามภาพด้านข้าง) ควบคุมความละเอียดแบบ 8 บิต จะหมายถึงควบคุมได้ค่า $0 - 255$ หรือ ควบคุมได้สูงสุด $2^8 - 1 = 255$

ตัวอย่างโปรแกรม อ่านค่าอุณหภูมิความชื้น จากเซ็นเซอร์ DHT22

DHT22 / AM2302 Module

```

1#include "DHT.h"
2//define DHTPIN 14
3const int DHTPIN = 14;
4#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
5DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
6
7void setup() {
8  Serial.begin(115200);
9  Serial.println();
10 Serial.println("Humidity (%)\tTemperature (*C)");
11 dht.begin();
12}
13
14void loop() {
15 // Wait a few seconds between measurements.
16 delay(2000);
17 // Reading temperature or humidity takes about 250 mil
18 float h = dht.readHumidity();
19 float t = dht.readTemperature();
20 if (isnan(h) || isnan(t)) {
21   Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
22   return;
23 }
24 Serial.print("Humidity: ");
25 Serial.print(h);
26 Serial.print(" %\t");
27 Serial.print("Temperature: ");
28 Serial.print(t);
29 Serial.println(" *C ");
30}

```

Humidity (%) Temperature (*C)
Humidity: 74.20 % Temperature: 24.80 *C
Humidity: 74.20 % Temperature: 24.70 *C
Humidity: 74.20 % Temperature: 24.70 *C
Humidity: 74.20 % Temperature: 24.70 *C
Humidity: 74.10 % Temperature: 24.70 *C
Humidity: 74.10 % Temperature: 24.70 *C
Humidity: 74.50 % Temperature: 24.70 *C
Humidity: 99.90 % Temperature: 25.10 *C
Humidity: 99.90 % Temperature: 25.60 *C
Humidity: 99.90 % Temperature: 26.10 *C
Humidity: 99.90 % Temperature: 28.20 *C
Humidity: 99.90 % Temperature: 28.70 *C

ภาคผนวก ข

โปรแกรมระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System Software)

ของงานวิจัย

โปรแกรมระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System Software) ของงานวิจัย

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <TimeLib.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

// Network Connection
const char *ssid = ".@ SPU WiFi";
const char *pass = "xxx";

// MQTT Server Connection
const char *mqttServ = "m12.cloudmqtt.com";
const int  mqttPort = 19192;
const char *mqttUser = "xxx";
const char *mqttPass = "xxx";
// publish -> sensor
const char *pubTopic = "surachai/test";

// subscribe -> actuator
const char *subTopic = "surachai/test";

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

// predefine function (for MAC)
void setupWifi();
```

```
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length);
void reconnect();

// Relay pin 12 on Sonoff
#define RELAY_PIN 12

// LED pin 13 on Sonoff
#define LED_PIN 13

// Data wire is plugged into 0 for temperature sensor
#define ONE_WIRE_BUS 0 // 2 = D4 , 0 = D3

// Satuation Delay time
#define SAT_DELAY 5 // 5 times of Loop

// Compressor Delay time when turn off
#define COMPRESS_DELAY_OFF (60*1000)*3 // *1 = 1 minutue

// Compressor Delay time when turn on
#define COMPRESS_DELAY_ON (60*1000)*4 // *1 = 1 minutue

// Difference temperature after turn off compressor
#define TEMP_DIFF 1 // 1 Celsius

// Check point of Temperature
#define TEMP_CHECK 21 // 21 Celsius
```

```
// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
// (not just Maxim/Dallas temperature ICs)
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
DallasTemperature sensors(&oneWire);

unsigned long realTime;
unsigned long offTime;

float tempNew = 0;
float tempOld = 0;
float tempOff = 0;
float tempDiff = 0;

int counter = 0;
int compress_status = 0;
int compress_delay = 0;
char tempPub[10];

void setup(void)
{
  // start serial port
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Share saving Aircon Version 1");

  // Start up the library
  sensors.begin();

  // Setup LED build in (GPIO13)
```

```
pinMode(LED_PIN,OUTPUT);
digitalWrite(LED_PIN,HIGH);

// Setup Relay on Sonoff (GPIO12)
pinMode(RELAY_PIN,OUTPUT); //D6
digitalWrite(RELAY_PIN,HIGH); // Set to normaly close

// set up wifi
setupWifi();

// set mqtt service and callback function
client.setServer(mqttServ, mqttPort);
client.setCallback(callback);

}

void loop(void)
{

char msgPub[10] ="";
char timePub[10];

// connect if it does not connect
if (!client.connected())
{
    reconnect();
}
}
```

```
client.loop();

digitalWrite(LED_PIN,LOW); // Turn on LED

/**** Show realtime ***/
Serial.print("----- Real Time : ");
realTime = millis();
//prints time since program started
//Serial.print(realTime/1000);

/*
Serial.print(hour());
Serial.print(":");
Serial.print(minute());
Serial.print(":");
Serial.print(second());
Serial.println(" ----- ");
*/

String convert;
convert += hour();
convert += ":";
convert += minute();
convert += ":";
convert += second();

convert.toCharArray(timePub, 10);
Serial.print(timePub);
Serial.println(" ----- ");
```

```

// **** Read for New temperature ****
// call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
// request to all devices on the bus
//Serial.print(" Requesting temperatures...");
sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
//Serial.println("DONE");
Serial.print("Temperature New is: ");
//Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); // Why "byIndex"?
// You can have more than one IC on the same bus.
    // 0 refers to the first IC on the wire
tempNew = sensors.getTempCByIndex(0);
Serial.println(tempNew); // Why "byIndex"?

//publish to cloud
dtostrf(tempNew, 5, 2, tempPub);
strcat(msgPub,timePub);
strcat(msgPub,",");
strcat(msgPub,tempPub);
client.publish(pubTopic, msgPub);
delay(1000);
//**** Show Compressor status ****
Serial.print("Compressor status is: ");
Serial.println(compress_status); // 0 is on, 1 is off

// **** Compressor status is on and temperature are equal and temperature less than
check poine ****
if((tempNew == tempOld)&&(compress_status!=1)&&(tempNew<TEMP_CHECK))

```

```

{
  Serial.print("Temperature is Equal at : ");
  counter++; //set timmer
  Serial.print(counter);
  Serial.println(" Times");

  //Blink LED
  digitalWrite(LED_PIN,HIGH); // Turn off LED
  delay(300);

  if((counter == SAT_DELAY)&&(realTime>=COMPRESS_DELAY_ON))
  {
    Serial.println("Compressor Turn off !!!");
    digitalWrite(RELAY_PIN,LOW); // Turn off compressor

    // Blink LED
    digitalWrite(LED_PIN,HIGH); // Turn off LED
    delay(1000);
    compress_status = 1; // set status of compressor
    offTime = realTime; // store time before turn off compressor
    tempOff = tempNew; // store temperature before turn off compressor
  }
}

// **** Compressor status is off ****
else if(compress_status==1)
{
  //compute compressor delay time

```

```
compress_delay = realTime - offTime;

Serial.print("Compressor delay time :");
Serial.println(compress_delay/1000);

//compute difference temperature
tempDiff = tempNew - tempOff;

Serial.print("Cutoff temperature :");
Serial.println(tempOff);

Serial.print("Difference temperature :");
Serial.println(tempDiff);

//Blink LED
digitalWrite(LED_PIN,HIGH); // Turn off LED
delay(1000);

// Check for turn on Compressor
if((compress_delay >= COMPRESS_DELAY_OFF) && (tempDiff >= TEMP_DIFF) )
{
  Serial.println("Compressor Turn on !!!");
  digitalWrite(RELAY_PIN,HIGH); // Turn on compressor

  compress_status = 0; // set status of compressor
}
}
```



```
// **** Compressor is on but temperature are not equal ****
else
{
    counter = 0;

}

// **** Store old temperature ****
tempOld = tempNew;

//Serial.print("Temperature Old is: ");
//Serial.println(tempOld);

}

void setupWifi()
{
    // We start by connecting to a WiFi network
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);

    // Set WiFi to station mode and disconnect from an AP if it was previously
connected
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.disconnect();
    delay(100);
}
```

```
// connect to ap
WiFi.begin(ssid, pass);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
    delay(500);
    Serial.print(".");
}

// display ip
Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.println("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
}

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length)
{
    // append end of string
    payload[length] = '\0';

    // convert to String type
    String topicStr = String(topic);
    String messageStr = String((char *)payload);

    // display on terminal
    //Serial.println("Message arrived [" + topicStr + "] " + messageStr);

    // * for multiple subscribtion, topic is must be checked!!!
```

```
// convert to int
//int value = messageStr.toInt();

// output to pin as pwm
//analogWrite(led, map(value, 100, 0, 0, 1023));
}

void reconnect()
{
  // Loop until we're reconnected
  while (!client.connected())
  {
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");

    // Attempt to connect
    //if (client.connect("ESP8266Client", mqttUser, mqttPass))
    // client name must be unique, we use subTopic is better than fixed name
    if (client.connect(subTopic, mqttUser, mqttPass))
    {
      Serial.println("connected");

      // subscribe topic
      client.subscribe(subTopic);
    }
    else
    {
      Serial.print("failed, rc=");
```

```
Serial.print(client.state());  
Serial.println(" try again in 5 seconds");  
  
// Wait 5 seconds before retrying  
delay(5000);  
}  
}
```

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-ชื่อสกุล	ดร.สุรัชย์ ทองแก้ว
วันเดือนปีเกิด	6 กุมภาพันธ์ 2521
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	78/390 หมู่บ้านฟ้าปิยมรมย์ เฟส 6 ถนนลำลูกกา ตำบลบึงคำพร้อย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2558	Ph.D. (Communication and Integrated Systems), Tokyo Institute of Technology, Japan.
พ.ศ. 2546	M.E. (Microelectronics), Asian Institute of Technology, Thailand.
พ.ศ. 2543	B.E. (Computer Engineering), Sripatum University, Thailand.

การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

Surachai Thongkaew, Tsuyoshi Isshiki, Dongju Li, and Hiroaki Kunieda. Register-Based Process Virtual Machine Acceleration Using Hardware Extension with Hybrid Execution. **IEICE TRANSACTIONS** on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2015.

Surachai Thongkaew, Tsuyoshi Isshiki, Dongju Li, and Hiroaki Kunieda. Dalvik bytecode acceleration using fetch/decode hardware extension. *Journal of Information Processing*, 23(2):118-130, 2015.