

การศึกษาและวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศที่เติมสาร PROA  
**Study and Analysis on Energy Conservation of the Air Conditioning System Filled  
with PROA Solution**

วิทวัส สดสุข\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต  
เลขที่ 99 หมู่ 18 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121  
โทร 0-2564-3001 ถึง 9 ต่อ 3052 โทรสาร 0-2564-3001 ถึง 9 กด 3049 E-mail: switawats@engr.tu.ac.th\*

Witawats Satasook\*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Rangsit Campus  
Klong Luang, Pathumthani 12121, Thailand  
Tel: 0-2564-3001~9 Ext. 3152 Fax: 0-25643001~9 press 3049 E-mail: switawats@engr.tu.ac.th\*

#### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศที่เติมสารPROA (Polarized Refrigerant Oil Additive) ซึ่งสาร PROAมีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และเพิ่มความสามารถในการหล่อลื่นของน้ำมันหล่อลื่นในคอมเพรสเซอร์ ซึ่งในต่างประเทศได้มีการยืนยันการประหยัดพลังงานโดยเติมสารPROAไว้แล้ว แต่ข้อมูลในประเทศไทยที่เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศที่เติมสารPROAนั้นยังไม่แน่ชัด จึงเป็นเหตุให้มีการวิจัยนี้ขึ้น โดยการศึกษาได้แยกวิเคราะห์ระบบปรับอากาศเป็น 2 แบบ แบบหนึ่งเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และอีกแบบเป็นระบบปรับอากาศชนิดเครื่องทำน้ำเย็น โดยขั้นตอนการทดลองจะแบ่งเป็นช่วงเก็บข้อมูลการใช้พลังงานก่อนและหลังการเติมสารPROA ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์สารPROAสามารถลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนลง 24 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศชนิดเครื่องทำน้ำเย็นลงตั้งแต่ 17 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

#### Abstract

This research was to study the energy saving of the air condition system when using the Polarized Refrigerant Oil Additive (PROA). The properties of PROA are increasing the heat transfer and increasing the lubrication performance of the compressor. The ability of PROA in energy saving had been verified by many laboratory in foreign country but not yet in

Thailand. This research was studied two types of the air condition system split type and chiller system. The data collection was done before and after filled PROA into air condition system. The results show that PROA can save twenty-four percent and more than seventeen percent of energy for split type and chiller system, respectively.

#### 1. บทนำ

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้อย่างแพร่หลาย อีกทั้งความต้องการในการใช้งานสูงขึ้น เนื่องจากสภาพสภาวะอากาศในปัจจุบันที่ร้อนขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบ เช่น มลภาวะ การบุกรุกทำลายป่าไม้ เป็นต้น เครื่องปรับอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิแวดล้อมทั้งภายในบ้านหรือสถานที่ต่าง ๆ เพื่อให้รู้สึกเย็นสบายในขณะปฏิบัติกิจวัตรประจำวันต่าง ๆ

ทั้งนี้เนื่องจากว่าเครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กำลังงานไฟฟ้าสูง ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองมาก โดยทั่ว ๆ ไปแล้วอาคารที่มีระบบปรับอากาศติดตั้งใช้งาน จะมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยเฉลี่ย ดังนี้

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| ระบบปรับอากาศ                        | 55% |
| ระบบลิฟท์                            | 15% |
| ระบบแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ | 30% |

และเมื่อมีการใช้งานไประยะเวลาหนึ่งประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจะลดลง จะเห็นได้ชัดเจนในสถานประกอบการ

\* Corresponding author

ธุรกิจใหญ่ ๆ เช่น โรงแรม หรือบริษัท ที่มีความต้องการใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดการทำมาความเย็นสูง เพื่อใช้ในสำนักงานหรือโรงงาน ซึ่งค่าไฟฟ้าส่วนนี้ถือเป็นต้นทุนการผลิตด้วยจึงส่งผลถึงราคาสินค้าที่จำหน่ายในปัจจุบัน แม้กระทั่งในบ้านเรือน ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในแต่ละเดือนนั้นส่วนใหญ่มากจากเครื่องปรับอากาศนั่นเอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ถือว่าสูงมาก ถ้าสามารถลดได้เพียง 10 - 15% ก็จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้มาก จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหาแนวทางการประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศ เพื่อลดความสิ้นเปลืองต่าง ๆ เหล่านี้

โดยจากแนวความคิดที่ว่าเครื่องปรับอากาศเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจะลดลง เนื่องจากมีคราบน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์ที่ผสมอยู่กับการทำความเย็นไปเกาะติดที่ผิวของท่อทองแดงที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ถ้าสามารถจัดการคราบน้ำมันเหล่านี้ได้ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสิ่งหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้คือการใช้น้ำมันสาร Polarized Refrigerant Oil Additive หรือ PROA

## 2. เนื้อหา

### 2.1 คุณสมบัติของสารPROA

สาร PROA ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีค่าทางประจุไฟฟ้าสูงจึงทำให้สามารถที่จะสร้างพันธะยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงกับโมเลกุลของโลหะ และสามารถสร้างชั้นผิวโมเลกุลเดี่ยวบาง ๆ เคลือบผิวโลหะได้ ซึ่งชั้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อลื่นของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ในคอมเพรสเซอร์ แต่ยังเข้าไปแทนที่ชั้นของน้ำมันหล่อลื่นที่สะสมกันอยู่บริเวณขดท่อทองแดงของอีวาพอเรเตอร์ (evaporator) และคอนเดนเซอร์ (condenser) โดยช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งชั้นของน้ำมันหล่อลื่นที่สะสมกันอยู่บริเวณภายในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ เป็นสาเหตุสำคัญที่ลดประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนของระบบ

เทคโนโลยีของสาร PROA นั้นได้มีการศึกษาทั้งในห้องทดลองและในการใช้งานจริง โดยในห้องทดลองอิสระ (independent laboratories) ได้ทำการทดสอบสาร PROA ตามมาตรฐาน ASTM D3233-73, ASTM D2272 และASTM D-471 ซึ่งตัวอย่างของผลการทดสอบสาร PROA มีดังนี้ [1]

- (1) การกำจัดน้ำมันเสีย (disposal) สาร PROA ไม่มีส่วนผสมของสารควบคุมน้ำมันเสีย (waste oil) เพื่อให้สามารถกลับน้ำมันมาใช้ใหม่ หรือกำจัดน้ำมันเสียทิ้ง
- (2) สารก่อมะเร็ง (carcinogenic) สาร PROA ไม่ได้เป็นสารก่อมะเร็ง
- (3) ความสามารถในการหล่อลื่น (lubricity) ผลการทดสอบตัวอย่างของน้ำมันหล่อลื่นธรรมดาซึ่งไม่มีการเติมแต่งสาร PROA พบว่าจะเสื่อมสภาพภายใต้ความดัน 300 psi ส่วนตัวอย่างของน้ำมันที่เติมแต่งสาร PROA จะยังสามารถรักษาสภาพได้ที่ความดันมากกว่า 4500 psi ซึ่งเป็นความดันสูงสุดที่ระบบทดสอบสามารถทำได้ ซึ่งพบว่าเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 1400%

- (4) การทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (oxidation) ความต้านทานการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนถ้ามีค่ามากจะทำให้ น้ำมันหล่อลื่นสามารถป้องกันชั้นส่วนของคอมเพรสเซอร์ได้ดี จึงได้มีการทดลองโดยการนำน้ำมันหล่อลื่นตัวอย่างมาทดสอบในสภาวะที่มีออกซิเจน ที่ความดันน้ำมัน 90 psi (620.5 kPa) และอุณหภูมิ 302 °F (450 °C) ซึ่งน้ำมันตัวอย่างจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidize) ทำให้เกิดความดันตก (pressure drop) โดยพิจารณาถึงจุดที่ความดันลดลงจนเหลือ 25 psi (172.4 kPa) ปรากฏว่าในน้ำมันที่ไม่ได้เติมแต่งสาร PROA จะใช้เวลา 14 นาที ขณะที่น้ำมันที่เติมแต่งสาร PROA จะใช้เวลา 25 นาที ซึ่งสรุปได้ว่าสาร PROA ช่วยในการต้านทานการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนของน้ำมันหล่อลื่นลงได้ 78.5%
- (5) การเสื่อมสภาพของแผ่นกันรั่ว (seal degradation) สาร PROA ช่วยลดการบวมพองของแผ่นกันรั่วที่ผลิตจาก Neoprene ได้ 29% และจาก Nitrile ได้ 81% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ไม่ได้เติมแต่งสาร PROA และยังให้ผลเช่นเดียวกันกับแผ่นกันรั่วที่ผลิตจาก Viton A, PFE seals, Buna N, Nylon 66, hastelloy, Mylar Polypropylene และ Carpenter 20 ซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งานของแผ่นกันรั่วดังกล่าวได้ด้วย

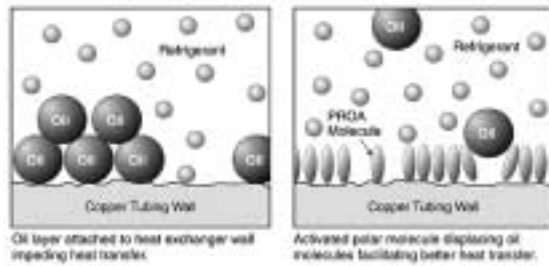
### 2.2 หลักการทำงานของสารPROA

พิจารณาที่ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ความเย็นที่ระบบปรับอากาศหรือระบบทำความเย็นสร้างขึ้นนั้น เกิดจากของเหลวอัดตัวได้ทำการเคลื่อนย้ายความร้อนจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งในการกระบวนการขยาย (expanding) และการควบแน่น (condensing) ซึ่งความร้อนนั้นจะถูกดูด (absorb) และปล่อยออก (reject) ผ่านขดท่อทองแดง

ระบบทำความเย็นยังประกอบด้วยน้ำมันหล่อลื่น (lubricant : โดยทั่วไปเรียกว่า refrigerant oil) ซึ่งจะไหลต่อเนื่องเป็นวงจรตลอดทั้งคอมเพรสเซอร์ซึ่งทำหน้าที่หล่อลื่นชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ โดยปกติแล้วน้ำมันดังกล่าวจะเล็ดลอดออกมาจากบริเวณคอมเพรสเซอร์ และเคลื่อนที่ไหลไปพร้อมกับสารทำความเย็นผ่านระบบที่ไหล เมื่อผ่านไปยังคอนเดนเซอร์และอีวาพอเรเตอร์ น้ำมันดังกล่าวก็จะเกาะยึดติดบริเวณผิวภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง ซึ่งเป็นผลจากความสามารถที่ลดลงและการเพิ่มการทำงานของเครื่องเพื่อให้ได้ปริมาณของการถ่ายเทร้อนที่เท่าเดิม

เมื่อเติมสาร PROA เข้าไปในน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์ โมเลกุลที่มีขั้วทางประจุไฟฟ้าของสาร PROA จะถูกนำพาไปกับอนุภาคน้ำมันพื้นฐาน (oil base) ซึ่งจะเข้าผสมกับน้ำมันหล่อลื่นหล่อลื่นโดยทันที โดยแต่ละโมเลกุลจะมีบริเวณที่เป็นประจุลบเพื่อสร้างพันธะเกาะติดกับพื้นผิวโลหะทั่วทั้งระบบทำความเย็น โดยโมเลกุลเหล่านี้จะเข้าไปแทนที่โมเลกุลอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย สิ่งสกปรก ตะกอนสารประกอบคาร์บอน และน้ำมัน จากนั้นจะสร้างชั้นเคลือบผิวบาง ๆ และเนื่องจากว่าโมเลกุล

ของสาร PROA จะไม่สร้างพันธะกันเองจึงทำให้ชั้นเคลือบผิวนี้เป็นแบบโมเลกุลเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทำงานของโมเลกุลสาร PROA [1]

### 2.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ในการศึกษาจะแบ่งขั้นตอนการปฏิบัติเป็น 3 ช่วงการทดลอง

#### (1) ช่วง Pre-test

จะเป็นช่วงการเก็บข้อมูลก่อนการเติมแต่งสาร PROA โดยการติดตั้ง kW-h with data logger ในเครื่องปรับอากาศ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อเก็บบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW-h) เปรียบเทียบกับค่าที่จากช่วง Post-test เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานต่อไป

#### (2) ช่วงการเติมสาร PROA และให้สาร PROA ทำงาน

ช่วงนี้จะปฏิบัติหลังจากการเก็บข้อมูลในช่วง Pre-test โดยการเติมสาร PROA เข้าไปทางวาล์วบริการ(service valve) ของคอมเพรสเซอร์ลงไปให้อ่างน้ำมันหล่อลื่นหรือห้องเพลอาข้อเหวี่ยง หรืออาจจะเติมสาร PROA ผ่านทางวาล์วบริการของทางเดินสารทำความเย็นด้านความดันต่ำ (low pressure) ก็ได้เช่นเดียวกัน โดยเมื่อเติมสาร PROA แล้วจะปล่อยให้สาร PROA ทำงานแล้วกระจายตัวไปทั่วทั้งระบบประมาณ 2 สัปดาห์ ก่อนทำการ Post-test

#### (3) ช่วง Post-test

จะเป็นช่วงการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศหลังจากการเติมสาร PROA โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับการ Pre-test โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 1 สัปดาห์

โดยในการทดลองได้ทำการทดลองการใช้สาร PROA ในสถานที่ 2 แห่ง คือ ศาลาหม่อมหลวงเฉลิมพระเกียรติ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา และโรงแรม Amari Watgate ถนนราชเทวี เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร

ซึ่งในการศึกษานี้ ขอกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน โดยแบ่งตามสถานที่ทำการทดลองโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ณ ศาลาหม่อมหลวงเฉลิมพระเกียรติ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา เครื่องปรับอากาศมีลักษณะจำเพาะดังนี้

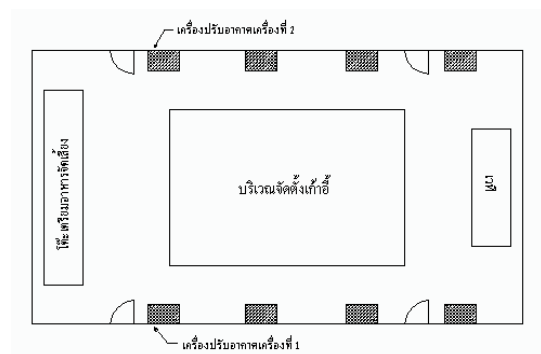
แบบแยกส่วน(split type)ระบายความร้อนด้วยอากาศ

ขนาดการทำความเย็น 5 ton (60,000 Btu/h)

อายุการใช้งาน 5 ปี

คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (reciprocating compressor)

การทดลองการใช้งานสาร PROA ที่ศาลาหม่อมหลวง ได้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องปรับอากาศจำนวน 2 เครื่อง ทำการเก็บข้อมูลวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าไปพร้อมกัน โดยตั้งสมมติฐานว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นและการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้ง 2 เครื่องเท่ากัน โดยเครื่องที่ 1 เป็นเครื่องที่ไม่เติมแต่งสาร PROA เก็บข้อมูลที่ได้เป็นผล Pre-test ส่วนเครื่องที่ 2 เป็นเครื่องที่เติมแต่งสาร PROA เก็บข้อมูลที่ได้เป็นผล Post-test ซึ่งเวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 1 เดือน โดยเลือกเครื่องปรับอากาศที่ตั้งอยู่ในลักษณะตรงข้ามกันดังรูปที่ 2 โดยตั้งสมมติฐานว่าเป็นบริเวณที่มีภาระการทำความเย็นที่เท่ากัน



รูปที่ 2 แผนผังของเครื่องปรับอากาศ ณ ศาลาหม่อมหลวง

โรงแรม Amari Watgate

เครื่องปรับอากาศ

แบบเครื่องทำน้ำเย็น (water chiller) ระบายความร้อนด้วยน้ำ

Trane รุ่น CVHE 660

ขนาดการทำความเย็น 550 ton (6,600,000 Btu/h)

อายุการใช้งาน 8 ปี

คอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

สำหรับการทดลองที่โรงแรม Amari Watgate ได้ใช้เครื่องปรับอากาศเพียงเครื่องเดียวในการเติมแต่งสาร PROA และทำการวัดค่าช่วง Pre-test และ Post-test ในโรงแรมจะมีเครื่องทำน้ำเย็นจำนวนทั้งหมด 4 เครื่อง ซึ่งสาร PROA จะถูกเติมในเครื่องหมายเลข 1 โดยตลอดการทดลองจะใช้เครื่องหมายเลข 4 เปิดให้ทำงานควบคู่กับเครื่องหมายเลข 1 เพื่อให้ได้ความสามารถในการทำความเย็นที่เพียงพอกับความต้องการภายในโรงแรม ซึ่งตั้งอุณหภูมิการทำความเย็นไว้ที่ 25°C

โดยปกติแล้วเครื่องทำน้ำเย็นรุ่นนี้ใช้สารทำความเย็น R-11 และมีความสามารถในการทำความเย็น 660 ton แต่เนื่องจากปัญหาเรื่องสารทำความเย็นที่เป็นสาร CFC (chlorofluoro carbon) ซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อมทางโลก ทางโรงแรมจึงได้เปลี่ยนสารทำความเย็นมาใช้ R-123 ซึ่งผลจากข้อมูลการทดสอบจากฝ่ายช่างของทางโรงแรมพบว่า ขนาดการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นได้ลดลงมาเหลือประมาณ 550 ton จึงใช้ตัวเลขนี้มาคำนวณปริมาณสาร PROA ที่ต้องใช้ต่อไป

## 2.4 ทฤษฎี

การตรวจวัดนี้เป็นวิธีการเพื่อแสดงให้เห็นว่าการดำเนินการตามมาตรการนั้นสามารถจะลดค่าใช้จ่ายได้จริงเท่าใด โดยจะใช้การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นก่อนและหลังการปรับปรุง โดยใช้สูตร

$$kW-h_{\text{saving}} = kW-h_{\text{pre-test}} - kW-h_{\text{post-test}} \quad (1)$$

$$\% \text{Saving} = \frac{kW-h_{\text{saving}}}{kW-h_{\text{pre-test}}} \times 100 \quad (2)$$

โดย  $kW-h_{\text{pre-test}}$  และ  $kW-h_{\text{post-test}}$  หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของเส้นกราฟเฉลี่ยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานไฟฟ้า (kW) ที่เครื่องปรับอากาศใช้ในหลายๆช่วง 5 นาที กับช่วงเวลาที่ทำการศึกษา และเนื่องจากอุณหภูมิภายนอก เป็นปัจจัยสำคัญซึ่งอาจจะทำให้ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา จึงจำเป็นต้องคิดผลของอุณหภูมิภายนอกที่ส่ง ผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศด้วย โดยการหาค่าแก้เพื่อปรับค่าการใช้พลังงานให้อยู่ในฐานเดียวกับซึ่งสามารถหาได้ 2 วิธีดังนี้คือ

(1) การใช้ Adjustment Factor จากค่า Cooling Degree Day (CDD)

Cooling Degree Day (CDD) คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิภายใน (set point) และอุณหภูมิอากาศภายนอก (ambient) ตลอดทั้งวันหรือจะใช้พิจารณาเฉพาะช่วงเวลาที่เครื่องทำความเย็นทำงานอยู่ ทั้งนี้จะต้องทำการกำหนดสภาวะการทำงานปกติ เพื่อใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบการประหยัดก่อนเช่น CDD มีค่า 8 °C โดยสามารถหา Adjustment Factor ได้จากสูตร

$$\text{Adjustment Factor} = \frac{CDD_{\text{new}}}{CDD_{\text{old}}} \quad (3)$$

$CDD_{\text{new}}$  คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิภายในช่วง Pre-test หรือช่วง Post-test กับอุณหภูมิอากาศภายนอกของสภาวะการทำงานปกติที่กำหนด

$CDD_{\text{old}}$  คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิภายในช่วง Pre-test หรือช่วง Post-test กับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่วัดได้จริงของแต่ละช่วง

ซึ่งจะได้ค่า Adjustment Factor มาทั้งของช่วง Pre-test และ ช่วง Post-test ซึ่งจะนำมาคำนวณหาค่า %Saving ได้ดังนี้

$$kW-h_{\text{saving}} = (kW-h_{\text{pre-test}} \times \text{Adjustment Factor}_{\text{pre-test}}) - (kW-h_{\text{post-test}} \times \text{Adjustment Factor}_{\text{post-test}}) \quad (4)$$

จะได้

$$\% \text{Saving} = \frac{kW-h_{\text{saving}}}{kW-h_{\text{pre-test}} \times \text{Adjustment Factor}_{\text{pre-test}}} \times 100 \quad (5)$$

(2) การใช้ Correction Factor

Correction Factor ใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบเนื่องจากความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกโดยพิจารณาจากผลต่างของอุณหภูมิเป็นสำคัญ ซึ่งจะใช้เป็นค่าแก้ที่ใช้ปรับค่าที่ได้จากการ Post-test ให้อยู่บนฐานเดียวกันกับค่าที่ได้จากการ Pre-test โดยหาได้จากสูตร

$$\text{Correction Factor} = \frac{1}{\frac{(T_{\text{post-test}} - T_{\text{setting}}) - (T_{\text{pre-test}} - T_{\text{setting}})}{(T_{\text{pre-test}} - T_{\text{setting}})} + 1} \quad (6)$$

โดย  $T_{\text{pre-test}}$  คือ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยตลอดช่วง Pre-test (°F)  
 $T_{\text{post-test}}$  คือ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยตลอดช่วง Post-test (°F)  
 $T_{\text{setting}}$  คือ อุณหภูมิภายในของบริเวณการปรับอากาศ (°F)

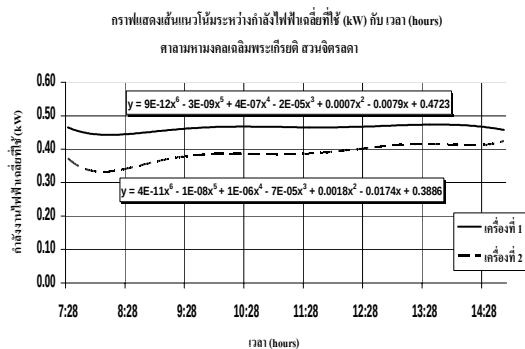
## 2.5 ผลการวิเคราะห์

เมื่อนำ kW-hour with data logger ที่ติดตั้งเพื่อวัดกำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศทั้งสองใช้มาทำการถ่ายข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ จะได้ข้อมูลดิบซึ่งเป็นข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำการเลือก โดยการทำการทดลองที่ศาลาหามงคลนี้เป็นการทำการทดลองในเครื่องปรับอากาศสองเครื่องเปรียบเทียบกับระหว่างเครื่องที่ทำการเติมแต่งสาร PROA และเครื่องที่ไม่ได้ทำการเติมแต่ง ดังนั้นจึงมีข้อมูลที่ใช้ได้และใช้ไม่ได้ซึ่งจะพิจารณาดังต่อไปนี้

- (1) ต้องเป็นข้อมูลที่ทำการตรวจวัดหลังจากการเติมสาร PROA 1 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องจากว่าสาร PROA ต้องการเวลาในการทำงานและกระจายไปทั่วทั้งระบบ ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจวัดหลังช่วงเวลาดังกล่าว
- (2) เนื่องจากการทำการทดลองนั้นเป็นการทำการทดสอบโดยทำในสถานที่ใช้งานจริง จึงเป็นการยากที่จะควบคุมเวลาการเปิดปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศทั้งสองเครื่องให้ทำงานพร้อมกันทุกวัน ดังนั้นข้อมูลที่สามารถใช้ได้ จึงต้องเป็นวันและช่วงเวลาที่เครื่องปรับอากาศทั้งสองเครื่องทำงานพร้อมกันเพื่อจะสามารถให้ผลการทดลองที่แม่นยำมากขึ้น

จากผลการทดลองการศึกษาคูณสมบัติของสาร PROA ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ณ ศาลาหามงคลเฉลิมพระเกียรติ ในการทดลองนั้นแยกทำการทดลอง Pre-test (เครื่องที่ 1) และ Post-test (เครื่องที่ 2) ต่างเครื่องกัน เพราะว่าเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 เครื่องเป็นเครื่องรุ่นเดียวกัน มีอายุการใช้งานเท่ากัน และเครื่องปรับอากาศทั้งสองยังมีค่าประสิทธิภาพโดยรวมใกล้เคียงกันและจากการทดลองพบว่าสามารถนำข้อมูลได้เพียง 7

ข้อมูลจากทั้งหมด 23 ข้อมูลมาทำการหาค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ และเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานเท่านั้น เนื่องจากข้อมูลทั้ง 16 ข้อมูลที่ไม่ได้นำมาทำการวิเคราะห์ผลนั้น ไม่ได้ทำการทดลองในสภาวะเงื่อนไขเดียวกัน ซึ่งมีเหตุผลหลายประการ ประการแรกคือ การเปิดปิดเครื่องปรับอากาศไม่พร้อมกัน ประการที่สองคือ ข้อมูลที่เลือกนำมาทำการวิเคราะห์ผลนั้นจำเป็นต้องเลือกข้อมูลในช่วงระยะเวลาหลังเดิมสารไปแล้ว 1 สัปดาห์ เนื่องจากต้องให้สาร PROA ทำปฏิกิริยาและกระจายเข้าไปทั่วทั้งระบบเป็นระยะเวลาหนึ่งเสียก่อน จากนั้น นำผลการทดลองที่ได้ทั้ง 7 ข้อมูล ในช่วงเวลา 7.28 น. ถึง 14.28 น. ซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องปรับอากาศทั้ง 2 เครื่องทำงานพร้อมกัน มาทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลา แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ (kW) กับ เวลา (hours) จากนั้นทำการหาเส้นแนวโน้มและสมการของเส้นแนวโน้มแบบโพลิโนเมียลดีกรี 6 ดังรูปที่ 3 ซึ่งได้สมการดังนี้



รูปที่ 3 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ (kW) กับ เวลา (hours) ศาลาหามงคลเฉลิมพระเกียรติ ๗๖ จิตรลดา

Pre-test

$$Y = 9 \times 10^{-12}X^6 - 3 \times 10^{-9}X^5 + 4 \times 10^{-7}X^4 - 2 \times 10^{-5}X^3 + 0.0007X^2 - 0.0079X + 0.4723 \quad (7)$$

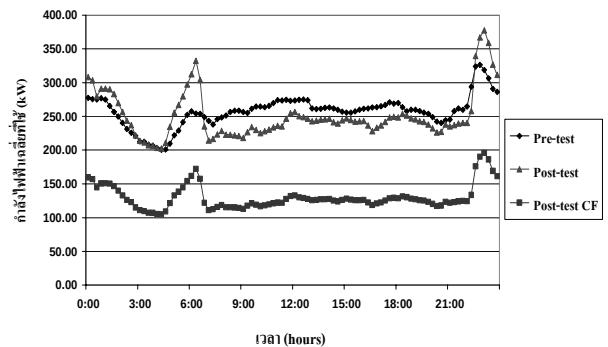
Post-test

$$Y = 4 \times 10^{-11}X^6 - 7 \times 10^{-8}X^5 + 1 \times 10^{-6}X^4 - 7 \times 10^{-5}X^3 + 0.0018X^2 - 0.0174X + 0.3886 \quad (8)$$

เหตุผลที่เลือกใช้สมการพหุนามดีกรี 6 เนื่องจากสามารถเห็นความเปลี่ยนแปลงของเส้นโค้งได้ชัด และสะดวกในการคำนวณ ซึ่งจากสมการทั้งสองสามารถทำการหาค่ากำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย โดยหาจากพื้นที่ใต้กราฟด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ โดยการอินทิเกรตช่วงลิมิตตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 14.00 น. เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้ว่า จากสมการที่ 7 ได้ค่าเท่ากับ 2.7 kW-h และสมการที่ 8 ได้ค่าเท่ากับ 2.01 kW-h นำมาหาเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจะได้ว่า

$$\% \text{Saving} = \frac{2.7 - 2.01}{2.7} \times 100 = 25.56 \%$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ (kW) กับ เวลา (hours) โรงแรม Amari Watergate



รูปที่ 4 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ช่วง Pre-test Post-test และ Post-test CF (kW) กับเวลา(hours) ที่Amari Watergate

การคิดค่าไฟฟ้านี้ทำเพื่อประเมินค่าไฟฟ้าที่คาดว่าจะสามารถประหยัดลงได้ โดยสมมติว่าเครื่องปรับอากาศทำงานตลอด 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 30 วัน โดยจำนวนพลังงานไฟฟ้าหาได้จาก

$$\text{จำนวนพลังงานไฟฟ้า 1 เดือน} = \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าจากการอินทิเกรต} (6 \text{ ข.ม.}) \times 4 \times 30 \quad (9)$$

จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเงินได้เท่ากับ 19.23

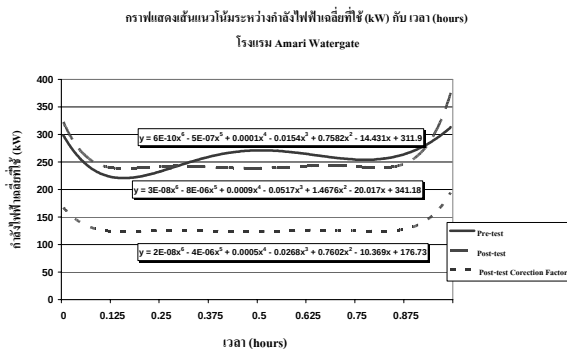
การทดลองที่โรงแรม Amari Watergate เป็นการทดลองที่แตกต่างจากที่ ศาลาหามงคลเฉลิมพระเกียรติ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ทั้งนี้เพราะว่าเป็นการทดลองที่ทำในเครื่องปรับอากาศเครื่องเดียวกัน ผลการทดลองจึงแบ่งเป็นช่วง Pre-test และ Post-test อย่างชัดเจน โดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 15 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเครื่องปรับอากาศไม่มีการหยุดพักเครื่องในช่วงที่ทำการ Pre-test หรือ Post-test อยู่ แต่การทดลองที่โรงแรม Amari Watergate นั้นมีช่วงทดลองที่นาน คือทำการ Pre-test ในช่วงเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว และทำการ Post-test ช่วงเดือน มีนาคม ซึ่งเป็นช่วงเริ่มฤดูร้อน ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอก (ambient) เนื่องจากว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเครื่องปรับอากาศจะมีการทำความเย็นสูงขึ้นด้วย ทำให้ข้อมูลที่น่าสนใจเปรียบเทียบกันระหว่างช่วง Pre-test และ Post-test เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากไม่ได้กระทำที่ภาระการทำความเย็นที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งต้องใช้ค่าแก้ไขเพื่อปรับให้ค่าทั้งสองสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

จากรูปที่ 5 เมื่อทำการอินทิเกรตสมการของเส้นแนวโน้มเพื่อหาพื้นที่ใต้เส้นกราฟตั้งแต่ 0.00 น. - 24.00 น. จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็นใช้เป็นเวลา 1 วัน ซึ่งจะได้อัตราดังนี้

Pre-test

$$Y = 6 \times 10^{-10}X^6 - 5 \times 10^{-7}X^5 + 0.0001X^4 - 0.0154X^3 + 0.7582X^2 - 14.431X + 311.9 \quad (9)$$

\* CF = Correction Factor



รูปที่ 5 เส้นแนวโน้มกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ช่วง Pre-test Post-test และ Post-test CF (kW) กับเวลา (hours) ที่ Amari Watgate

พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ = 5,689.4 kW-h

Post-test

$$Y = 3 \times 10^{-8}X^6 - 8 \times 10^{-6}X^5 + 0.0009X^4 - 0.0517X^3 + 1.4676X^2 - 20.017X + 341.18 \quad (10)$$

พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ = 6,096.04 kW-h

Post-test Correction Factor

$$Y = 2 \times 10^{-8}X^6 - 4 \times 10^{-6}X^5 + 0.0005X^4 - 0.0268X^3 + 0.7602X^2 - 10.369X + 176.73 \quad (11)$$

พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ = 3,217.32 kW-h

จะสังเกตได้ว่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่เครื่องปรับอากาศใช้ในช่วงหลังการเดินสาร PROA (Post-test) มีค่ามากกว่าช่วงก่อนการเดินสาร PROA (Pre-test) ซึ่งจะไม่สนับสนุนผลการใช้สาร PROA ในการช่วยประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอก

ผลจากที่ทำการทดลอง Pre-test และ Post-test ในช่วงเวลาที่ต่างกัน ซึ่งมีอุณหภูมิภายนอกแตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการนำข้อมูลของอุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงมาคำนวณค่าแก้ไข (factor) โดยเมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายนอกในช่วง Pre-test และช่วง Post-test ซึ่งเป็นข้อมูลจากการมอดูนิยมิวิทยาในบริเวณใกล้เคียงกับโรงแรม จะได้ว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในช่วง Pre-test เท่ากับ 27.45°C (81.41°F) และอุณหภูมิในช่วง Post-test เท่ากับ 29.73°C (85.51°F) โดยในการหาค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานนั้นทำเช่นเดียวกับที่ศาลาหลวงเฉลิมพระเกียรติ แต่ต้องคำนึงถึงผลของอุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไปโดยมีวิธีคิดดังนี้

การใช้ Adjustment Factor

สมมติให้อุณหภูมิภายนอกที่สภาวะการทำงานปกติเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิภายนอกช่วง Pre-test กับ ช่วง Post-test จะได้เท่ากับ 28.59 °C และอุณหภูมิภายในเท่ากับ 25°C จะได้ค่า Adjustment Factor<sub>pre-test</sub> เท่ากับ 1.46531 และ Adjustment Factor<sub>post-test</sub> มีเท่ากับ 0.7557 และเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 44.74

การใช้ Correction Factor

โดยอุณหภูมิภายในที่ตั้งไว้เท่ากับ 77°F อุณหภูมิภายนอกช่วง Pre-test เท่ากับ 81.41°F และอุณหภูมิภายนอกช่วง Post-test เท่ากับ 85.51°F จะได้ Correction factor มีค่าเท่ากับ 0.518 นำค่า Correction Factor ที่ได้ไปคูณกับกำลังงานที่ใช้ในช่วง Post-test แล้วนำไปเขียนกราฟจะได้เป็นเส้นกราฟดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นเส้น Post-test Correction Factor จากนั้นทำการอินทิเกรตหาค่าพลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้จะได้เท่ากับ 3217.32 kW-h เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 43.61 ทั้งนี้จากการตรวจวัดเบื้องต้นของทางโรงแรมพบว่า ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งระบบปรับอากาศในช่วงการทำ Post-test ลดลงไปประมาณ 17% เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน ๆ โดยการนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศตั้งแต่ปี 1997 - 2002 ในช่วงดังกล่าวมาทำการหาค่าเฉลี่ย และเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในช่วง Post-test ที่ทำการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นผลมาจากการใช้สาร PROA ในเครื่องปรับอากาศ โดยสาร PROA ต้องสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่อง 1 ได้มากกว่า 17%

### 3. สรุป

ในการศึกษาคุณสมบัติของสาร PROA ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยทำการทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และเครื่องปรับอากาศแบบทำน้ำเย็น เพื่อหาการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ พบว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ศาลาหลวงเฉลิมพระเกียรติ โครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานเท่ากับ 25.47% และค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดเงินเท่ากับ 19.23% ส่วนเครื่องปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นที่โรงแรม Amari Watgate นั้นค่าที่ได้จากผลการทดลองและการคำนวณเมื่อไม่พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกแล้ว พบว่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศกลับเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การที่ค่าการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นนั้น ก็เนื่องมาจากอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงนั่นเอง เมื่อมีการนำค่าแก้มาปรับค่าระหว่างช่วง Pre-test และช่วง Post-test เพื่อให้ค่าที่ได้อยู่บนมาตรฐานเดียวกันและสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ โดยมี 2 วิธี คือ การใช้ Adjustment Factor และ Correction Factor ทำให้ได้ค่าเมื่อใช้ Adjustment Factor จะได้ค่าค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานเท่ากับ 44.74% และเมื่อใช้ค่า Correction Factor ในการปรับค่าจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานเท่ากับ 43.61% ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้จากค่าแก้ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

### 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรรมการผู้จัดการบริษัทโมเบียสจำกัด และนักศึกษาทุกท่านที่ให้ความร่วมมือสนับสนุนข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] Mobius Company Limited, [www.energystar.net](http://www.energystar.net)