ปัจจัยด้านอุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

นางสาวพัชราพรรณ การะเกต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of outdoor temperature of Thailand on energy efficiency of inverter air conditioner

Miss Patcharapun Karaket

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยด้านอุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์
โดย	นางสาวพัชราพรรณ การะเกต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.วิรัช วิฑูรย์เธียร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.วิรัช วิฑูรย์เธียร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.อุริช อัชชโคสิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พัชราพรรณ การะเกต : ปัจจัยด้านอุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ (Effects of outdoor temperature of Thailand on energy efficiency of inverter air conditioner) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.วิรัช วิฑูรย์เธียร, 64 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ศึกษาความแตกต่างของชุดอุณหภูมิเพื่อหาค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาลของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ (Cooling Seasonal performance factor, CSPF) ตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013 โดยกำหนดให้ภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศขึ้นกับสภาวะอากาศภายนอกอย่างเดียว ซึ่งวิเคราะห์ระหว่างชุดอุณหภูมิภายนอกตามค่าแนะนำกับชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย การวิเคราะห์ค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศ ทั้งหมด 17 ยี่ห้อ 23 รุ่น ที่มีขนาดทำความเย็น 2,638 3,517 5,276 และ 7,034 วัตต์ โดยเปรียบเทียบ 2 กรณี กรณีที่ 1 ใช้ชุดอุณหภูมิ (outdoor bin temperature) จากค่าแนะนำ (default) และกรณีที่ 2 ใช้ชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย พบว่า ค่า CSPF ในกรณีที่ 1 มีค่า 4.51 4.12 4.12 และ 4.10 ตามลำดับ และ กรณีที่ 2 มีค่า 4.40 4.03 4.03 และ 4.00 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 กรณี พบว่า ค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย มีค่าลดลงร้อยละ 2.28 เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากค่าแนะนำ นอกจากนี้ ได้วิเคราะห์ค่า CSPF โดยใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เมื่อปรับช่วงอุณหภูมิจาก 20 – 35 องศาเซลเซียส เป็น 20 – 40 องศาเซลเซียส เพื่อสะท้อนช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศจริง ส่งผลให้ค่า CSPF มีค่าลดลงร้อยละ 0.59 ดังนั้นการวิเคราะห์ค่า CSPF โดยใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยมีความจำเป็น เพื่อให้สะท้อนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่เกิดขึ้นจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5987266220 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: COOLING SEASONAL PERFORMANCE FACTOR / INVERTER AIR CONDITIONER

PATCHARAPUN KARAKET: Effects of outdoor temperature of Thailand on energy efficiency of inverter air conditioner. ADVISOR: ASSOC. PROF.WITHAYA YONGCHAREON, Ph.D., CO-ADVISOR: VIRAJ VITHOONTIEN, Ph.D., 64 pp.

This research aimed to study degrees of variation of the Cooling Seasonal performance factor (CSPF) on energy efficiency of inverter air conditioner followed ISO 16358-1: 2013 (Standard), which the Cooling load values depend on only outdoor temperature, between the default outdoor bin temperature and actual average outdoor bin temperature in Thailand. To analyze the CSPF of inverter air conditioners of 17 brands and 23 models, with cooling capacity of 2,638 3,517 5,276 and 7,034 Watts. This research is comparing two cases which are, case I using the outdoor bin temperature of the default value and case II using the outdoor bin temperature of Thailand. The result shown that calculated CSPF in case I was 4.51, 4.12, 4.12 and 4.10 respectively. In case II, the calculated CSPF was 4.40 4.03 4.03 and 4.00 respectively. In comparison, it is found that calculated CSPF using the outdoor bin temperature of Thailand, was decreased by 2.28%. Because the average temperature in Thailand was higher than the default average temperature in default value. In addition, to analyze the CSPF by outdoor temperature of Thailand, when the range of the outdoor temperature of thailand was adjusted from 20-35 ℃ to 20-40 ℃ to reflect the actual operating temperature range of the air conditioner, the CSPF decreased by 0.59%. Given that the actual average outdoor bin temperature in Thailand is suitable for reflect the actual energy efficiency of inverter air conditioners.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
		Advisor's Signature .....
Academic Year:	2017	Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตฉบับนี้ สำเร็จไปได้ด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. วิทยา ยงเจริญ และ ดร. วิรัช วิฑูรย์เธียร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้แนะนำแนวทางการทำวิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณ ท่านคณะอาจารย์ ประจำหลักสูตร เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้แนวคิด และความรู้ต่างๆ เพื่อมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ และนายสราวุธ ศรีเอี่ยมกุล ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอบคุณคุณภาวัติ สุวรรณกูฏ สถาบันไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และคุณอัศวิน อัศวุตมางกุร กระทรวงพลังงาน ที่ให้ข้อมูลและความรู้ต่างๆ ในการทำงานวิจัยเล่มนี้

ขอบคุณคุณวรวดี เจริญทรัพย์ และ พี่ๆ ที่ธนาคารออมสิน สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง 1
สารบัญรูป 3
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 6
1.2 วัตถุประสงค์ 7
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 7
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน 8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 ประเภทของเครื่องปรับอากาศ 9
2.2 การทำงานของระบบ variable speed หรือ อินเวอร์เตอร์ 9
2.3 มาตรฐานทดสอบเครื่องปรับอากาศ 10
2.4 ค่าภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ณ อุณหภูมิภายนอก (Cooling Load, $L_c(t_j)$) ... 10
2.5 ค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล หรือ ปัจจัยด้านสมรรถนะตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ของเครื่องปรับอากาศ 11
2.5.1 หลักการของ CSPF ที่สำคัญ 11
2.5.2 อัตราส่วนของขีดความสามารถทำความเย็นรวมทั้งหมดเฉพาะช่วงฤดูที่ต้องการความเย็น (CSTL) 13
2.5.3 พลังงานที่ใช้ทั้งหมดเฉพาะช่วงฤดูที่ต้องการความเย็น (CSEC) 13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

Chulalongkorn University

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 18
3.1 วิธีการศึกษาและรวบรวมข้อมูล 18
3.2 วิธีการจัดทำการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของประเทศไทย 18
3.3 วิธีการคำนวณประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้อุณหภูมิภายนอกตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส 19
3.4 วิธีการคำนวณประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 ℃ เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 ℃ 22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล 23
4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ชนิดแยกส่วน 23
4.2 ผลของการสร้างการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย 27
4.3 ผลคำนวณประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส .. 33
4.3.1 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์ 33
4.3.2 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 3,517 วัตต์ 35
4.3.3 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 5,276 วัตต์ 36
4.3.4 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 7,034 วัตต์ 37
4.4 ผลการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (CSPF) ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียส 38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

5.1 สรุปผลการวิจัย 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 43
รายการอ้างอิง 44
ภาคผนวก ก 46
ภาคผนวก ข 48
ภาคผนวก ค 59
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 Reference outdoor bin temperature bin distribution (ISO 16358 – 1: 2013)..... 6

ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่าภาระโหลดตามมาตรฐาน ISO 16358-1..... 11

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการสร้างตารางการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก..... 19

ตารางที่ 3.2 แสดงภาวะการทดสอบของเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013..... 20

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์..... 23

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 3,517 วัตต์..... 24

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 5,276 วัตต์..... 25

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 7,034 วัตต์..... 26

ตารางที่ 4.5 แสดงการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของค่าแนะนำตามมาตรฐาน 16358 – 1..... 31

ตารางที่ 4.6 แสดงการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของสภาพภูมิอากาศประเทศไทย..... 32

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์..... 34

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 3,517 วัตต์..... 35

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 5,276 วัตต์..... 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 7,034 วัตต์ 37

ตารางที่ 4.11 แสดงการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของสภาพภูมิอากาศประเทศไทย 39

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียส 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แสดงการคำนวณหา CSPF ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ 12

รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทำความเย็น ขีดความสามารถทำความเย็น และพิกัดกำลังไฟฟ้า (ที่มา: ISO 16358-1) 14

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่าง PivotTable ในโปรแกรม ExCel 18

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของสถานีตรวจวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559 27

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของสถานีตรวจวัดอุบลราชธานี ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559 28

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของสถานีตรวจวัดกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559 28

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของสถานีตรวจวัดสกลนคร ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559 29

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของประเทศไทยเฉลี่ย 5 ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559 29

รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามค่าแนะนำ ที่ 20-35 องศาเซลเซียส 31

รูปที่ 4.7 แสดงการกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ 20-35 องศาเซลเซียส 32

รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามค่าแนะนำและตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ 20-35 องศาเซลเซียส 33

รูปที่ 4.9 แสดงการกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ 20-40 องศาเซลเซียส 40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สัญลักษณ์	รายละเอียด	หน่วย
$F_{PL}(t_j)$	Part load factor (PLF) at outdoor temperature (t_j)	-
$L_c(t_j)$	defined cooling load at outdoor temperature (t_j)	วัตต์ (Watt)
n_j	bin hours	จำนวนชั่วโมง (h)
k, p, n, m	number of temperature bins	-
$P(t_j)$	cooling power input applicable to any capacity at outdoor temperature (t_j)	วัตต์ (Watt)
$P_{ful}(t_j)$	cooling full power input at outdoor temperature (t_j)	วัตต์ (Watt)
$P_{Ful}(35)$	cooling full power input at T1 temperature condition	วัตต์ (Watt)
$P_{ful}(29)$	cooling full power input at outdoor temperature 29 C	วัตต์ (Watt)
$P_{haf}(35)$	cooling half power input at T1 temperature condition	วัตต์ (Watt)
$P_{haf}(29)$	cooling half power input at outdoor temperature 29 ℃	วัตต์ (Watt)
$P_{hf}(t_j)$	cooling power input in variable operation between half and full capacity at outdoor temperature (t_j)	วัตต์ (Watt)
t	general continuous outdoor temperature	องศาเซลเซียส (℃)
t_j	outdoor temperature corresponding to each temperature bin ℃	องศาเซลเซียส (℃)
t_b	outdoor temperature when cooling load is equal to cooling full	องศาเซลเซียส (℃)
t_c	outdoor temperature when cooling load is equal to cooling half capacity ℃	องศาเซลเซียส (℃)
$X(t_j)$	ratio of load to capacity at outdoor temperature (t_j)	-
$X_{hf}(t_j)$	ratio of excess capacity over load to capacity difference between half and full capacity at outdoor temperature (t_j)	-
$\emptyset(t_j)$	cooling capacity applicable to any capacity at outdoor temperature (t_j)	วัตต์ (Watt)
$\emptyset_{ful}(t_j)$	cooling full capacity at outdoor temperature (t_j)	วัตต์ (Watt)
$\emptyset_{ful}(35)$	cooling full capacity at Ti temperature condition	วัตต์ (Watt)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สัญลักษณ์	รายละเอียด	หน่วย
$Ø_{ful}(29)$	cooling full capacity at outdoor temperature 29 ℃	วัตต์ (Watt)
$Ø_{haf}(t_j)$	cooling half capacity at outdoor temperature (t_j)	วัตต์ (Watt)
$Ø_{haf}(35)$	cooling half capacity at Ti temperature condition	วัตต์ (Watt)
$Ø_{haf}(29)$	cooling half capacity at outdoor temperature 29 ℃	วัตต์ (Watt)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้พลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ภายในครัวเรือน อีกทั้งชั่วโมงการทำงานที่ยาวนานกว่า ทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย จนเป็นการเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายให้กับเจ้าของอาคาร ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องใชไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเพื่อการประหยัดพลังงานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะช่วยให้เจ้าของอาคารประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก (ถวิกา ผาติดำรงกุล, 2555)

เครื่องปรับอากาศในครัวเรือนที่นิยมใช้งานกันมากในประเทศไทยคือแบบแยกส่วน (Split type) และสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบอินเวอร์เตอร์ และแบบคงที่ งานวิจัยนี้เลือกศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของเครื่อง

ปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์แบบแยกส่วน เนื่องจากในปัจจุบันระบบอินเวอร์เตอร์เป็นระบบที่ทันสมัย ประหยัดพลังงาน และมีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องปรับอากาศแบบคงที่ แต่ยังมีปัญหาเรื่องค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal performance factor, CSPF) ซึ่งค่า CSPF ที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน ISO 16358-1: 2013 เป็นค่าที่คำนวณโดยอ้างอิงจากอุณหภูมิตามค่าแนะนำ 1,817 ชั่วโมง (รายละเอียดตามตารางที่ 1.1) แต่สำหรับประเทศไทยที่มี ช่วงฤดูที่ต้องการความเย็นตลอดทั้งปี (cooling season) หรือประมาณ 8,760 ชั่วโมง ทำให้ค่า CSPF ที่ได้อาจจะไม่สะท้อนค่าความเป็นจริง อีกทั้ง การกำหนดวิธีทดสอบในยุคแรกเป็นการทดสอบที่สภาวะต้องการความเย็นสูงสุด (Peak Load) แต่ในข้อเท็จจริงเครื่องปรับอากาศทำงานที่สภาวะดังกล่าวน้อยมากเพราะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกตามฤดูกาลทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่ภาระไม่เต็มที่ (Part Load) เสมอ พัฒนาการของวิธีทดสอบจึงนำการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเข้ามาพิจารณาร่วมด้วย (ชาติชาย พิสุทธิบริบูรณ์, 2551)

ตารางที่ 1.1 Reference outdoor bin temperature bin distribution (ที่มา ISO 16358 – 1: 2013)

Bin number j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Outdoor temp. t_j (°C)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Fraction bin hours	0.055	0.076	0.091	0.108	0.116	0.118	0.116	0.100	0.083	0.066	0.041	0.019	0.006	0.003	0.002
Bin hours n_j	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}
Reference bin hours (n_j) h	100	139	165	196	210	215	210	181	150	120	75	35	11	6	4
Total (h)	1,817 (20.74 % of year)														

โดยงานวิจัยนี้ต้องการทราบว่า CSPF ที่คำนวณจากชุดอุณหภูมิภายนอกตามค่าแนะนำกับตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยมีความแตกต่างกันอย่างไร งานวิจัยนี้จึงทำการรวบรวมข้อมูลสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยปี 2555 – 2559 จาก 4 ภูมิภาคทั่วประเทศ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของประเทศไทยตลอดทั้งปี ที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ค่า CSPF ของชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เมื่อปรับช่วงอุณหภูมิจาก 20 – 35 องศาเซลเซียส เป็น 20 – 40 องศาเซลเซียส เพื่อสะท้อนช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศจริง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกสูงทำให้อุณหภูมิและแรงดันของน้ำยาทำความเย็นเพิ่มสูงตามไปด้วยจนทำให้คอนเดนเซอร์ต้องทำงานหนักขึ้น และส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น (ชาติชาย พิสุทธิบริบูรณ์, 2551)

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อจัดทำการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่า CSPF ตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013 โดยใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกตามค่าแนะนำ และ ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่า CSPF ของชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เมื่อปรับช่วงอุณหภูมิจาก 20 – 35 องศาเซลเซียส เป็น 20 – 40 องศาเซลเซียส เพื่อสะท้อนช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศจริง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

หาประค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling seasonal performance factor, CSPF) ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์แบบแยกส่วนที่มีขนาดทำความเย็น 2,638 3,517 5,276 และ 7,034 วัตต์ ตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013 โดยเปรียบเทียบค่า CSPF เมื่อคำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกตามค่าแนะนำเทียบกับตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบค่า CSPF ของชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เมื่อปรับช่วงอุณหภูมิจาก 20 – 35 องศาเซลเซียส เป็น 20 – 40 องศาเซลเซียส เพื่อสะท้อนช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1. รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษามาตรฐาน ISO 16358 -1 : 2013
3. รวบรวมข้อมูลยี่ห้อและรุ่นของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 2,638 3,517 5,276 และ 7,034 วัตต์
4. เก็บข้อมูลค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะ $Ø_{Full}$ (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) และพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ P_{Full} (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) ของเครื่องปรับอากาศแต่ละรุ่น แต่ละขนาด
5. รวบรวมข้อมูลดิบจากกรมอุตุนิยมวิทยา คืออุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยย้อนหลัง 5 ปี จำนวน 4 สถานี เพื่อจัดทำการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย
6. คำนวณหาค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศโดยคำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013 และเปรียบเทียบค่า CSPF โดยแบ่งเป็น 2 กรณี

   กรณีที่ 1 คำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกจากค่าแนะนำ

   กรณีที่ 2 คำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย
7. คำนวณหาค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียส
8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
9. จัดทำรูปเล่มและนำเสนอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่เกิดขึ้นจริงตามอุณหภูมิของประเทศไทยของเครื่องปรับอากาศแต่ละรุ่น แต่ละขนาด
2. แนวทางสำหรับร่างมาตรฐานเครื่องปรับอากาศสำหรับประเทศไทย
3. ประชาชนมีข้อมูลชัดเจนในการตัดสินใจเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ จึงทำการรวบรวมข้อมูลในเรื่อง ประเภทเครื่องปรับอากาศ การทำงานของระบบอินเวอร์เตอร์ ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้

2.1 ประเภทของเครื่องปรับอากาศ

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศที่ใช้กันทั่วไปนั้น สามารถจำแนกระบบปรับอากาศออกได้เป็น 2 แบบ คือ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type Air Condition system) คือ แยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนที่อยู่ภายในห้องเรียกว่า แฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit) ประกอบด้วย ตัวตู้พัดลม อีวาโปรเรเตอร์ ลิ้นลดความดันและแผงกรองอากาศ ส่วนที่สองคือส่วนที่อยู่ภายนอกห้องเรียกว่า คอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing unit) ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ พัดลม คอนเดนเซอร์ แผงสวิตซ์และอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

ส่วนเครื่องปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลาง (Central Air Condition system) คือ กลุ่มของเครื่องทำความเย็นหนึ่งเครื่องหรือมากกว่าที่จ่ายน้ำเย็นให้กับเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็กและเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่จุดต่างๆของอาคาร (ณรงค์ สังข์นัครา, 2554)

2.2 การทำงานของระบบ variable speed หรือ อินเวอร์เตอร์

ระบบ variable speed หรือ อินเวอร์เตอร์ คือระบบควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่จะแปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) การทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จะแตกต่างจากเครื่องปรับอากาศทั่วไป คือเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงถึงระดับที่ตั้งไว้ จากนั้นคอมเพรสเซอร์จะปรับรอบการทำงานลงเพื่อคงอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ตลอดเวลา ต่างจากระบบ fixed speed หรือ แบบคงที่ คือ เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง อุณหภูมิจะเริ่มลดลงต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส จากนั้น คอมเพรสเซอร์จะตัดการทำงาน จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มสูงขึ้น เกินระดับที่ตั้งไว้ 1-2 องศาเซลเซียส คอมเพรสเซอร์ก็จะเริ่มทำงานอีกครั้ง ทำให้อุณหภูมิภายในห้องจะเย็นเกินไป สลับกับร้อนเกินไปอยู่ตลอดเวลา ทำให้รู้สึกไม่สบายตัว (บริษัท สยามไดกิ้นเซลส์ จำกัด, 2558)

ข้อดี ระบบอินเวอร์เตอร์

1. ประหยัดไฟกว่า 20 -30% เนื่องจากระบบคอมเพรสเซอร์ทำงานลดรอบ (ความถี่) หลักการทำงาน เช่น เครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 12,000 BTU เมื่อภายในห้องเย็นตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ระบบจะทำการลดรอบการทำงานลง จะทำความเย็นอยู่ที่ 3,000 BTU เท่านั้น ทำให้ประหยัดไฟมาก
2. เย็นเร็วทันใจ สำหรับระบบอินเวอร์เตอร์ตอนเปิดเครื่อง คอมเพรสเซอร์จะทำงานในรอบสูงสุด
3. รักษาอุณหภูมิห้องได้คงที่ การที่ระบบอินเวอร์เตอร์มีทำงานต่อเนื่อง โดยการเพิ่มหรือลดรอบการทำงานคอมเพรสเซอร์ไม่มีหยุดเป็นช่วงๆ ทำให้รักษาอุณหภูมิได้คงที่ ไม่รู้สึกร้อนๆ หนาวๆ เหมือนเครื่องปรับอากาศระบบคงที่
4. เสียงของเครื่องคอมเพรสเซอร์ทำงานเงียบ เนื่องจากคอมเพรสเซอร์มีการลดรอบการทำงาน ดั้งนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในห้องต่ำลงแล้ว คอล์ยเย็นและระบบฉีดน้ำยาจะลดเสียงการทำงานลง

2.3 มาตรฐานทดสอบเครื่องปรับอากาศ

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องในการทดสอบเครื่องปรับอากาศ ชนิด Fixed Speed และ Variable speed/Inverter

- ISO 5151 : 2010 Non - ducted air conditioners and heat pumps – Testing and rating for performance การทดสอบและการระบุสำหรับสมรรถนะ

- ISO 16358-1 : 2013 Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps –Testing and calculating methods for seasonal performance factors – part 1 : Cooling seasonal performance factor วิธีการทดสอบและคำนวณปัจจัยด้านสมรรถนะตามฤดูกาล (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2560)

ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาลของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ จึงใช้การคำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013

2.4 ค่าภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ณ อุณหภูมิภายนอก (Cooling Load, $L_c(t_j)$)

ภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสำหรับคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี โดยที่ภาระทำความเย็นแปรผันเชิงเส้นกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก และภาระทำความเย็นมีค่าเป็นศูนย์ (0) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และมีค่าเท่ากับขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ (Full Cooling Capacity, $Ø_{ful}$ (35)) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (ดังตารางที่ 2.1) (กระทรวงพลังงาน, 2560)

ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่าภาระโหลดตามมาตรฐาน ISO 16358-1

	Load Zero (0)	Load 100%
Cooling Capacity (kW)	0	$Q_{ful}(35)$
Temperature (C)	20	35

โดยภาระโหลด ณ อุณหภูมิภายนอก t_j คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$L_c(t_j) = \emptyset_{ful}(t_{100}) \times \frac{t_j - t_0}{t_{100} - t_0} \quad (1)$$

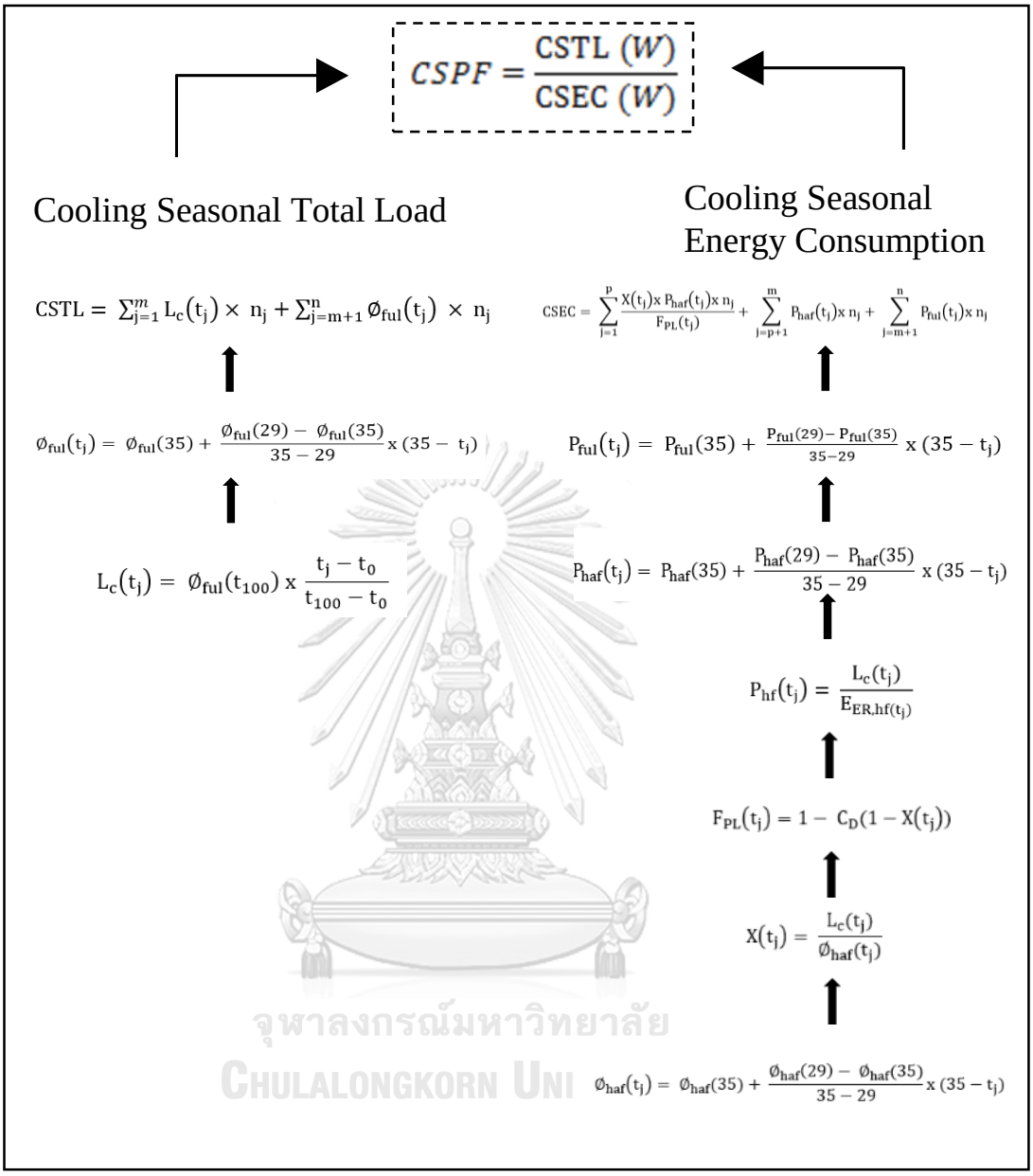
2.5 ค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล หรือ ปัจจัยด้านสมรรถนะตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ของเครื่องปรับอากาศ

ค่า CSPF หรือที่ประเทศไทยใช้คำว่า SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) คือ อัตราส่วนของขีดความสามารถทำความเย็นรวมทั้งหมดเฉพาะช่วงฤดูที่ต้องการความเย็น (Cooling Seasonal Total Load : CSTL) ต่อพลังงานที่ใช้ทั้งหมดเฉพาะช่วงฤดูที่ต้องการความเย็น (Cooling Seasonal Energy Consumption : CSEC) ดังสมการที่ 2 และภาพรวมการคำนวณหา CSPF ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.1

$$CSPF = \frac{CSTL\ (W)}{CSEC\ (W)} \quad (2)$$

2.5.1 หลักการของ CSPF ที่สำคัญ (ชาติชาย พิสุทธิบริบูรณ์, 2551)

- มีการนำอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมาร่วมในการกำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศโดยพิจารณาจากระดับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอกของแต่ละชั่วโมงในช่วงเวลาที่พิจารณา ระยะเวลาเป็นชั่วโมงของอุณหภูมิภายนอกในช่วงพิจารณา
- มีลักษณะค่าประสิทธิภาพแบบทำงานที่ภาระไม่เต็มที่ (part load)
- นำปัจจัยของภาระโหลดมาพิจารณาร่วมด้วย
- นำการสูญเสียจากการเปิด – ปิด ของคอมเพรสเซอร์ (Cycling operation) มาพิจารณาโดยการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ปรับลดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Degradation Coefficient : C_D) ที่นำมาใช้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNI

รูปที่ 2.1 แสดงการคำนวณหา CSPF ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

2.5.2 อัตราส่วนของขีดความสามารถทำความเย็นรวมทั้งหมดเฉพาะช่วงฤดูที่ต้องการความเย็น (CSTL)

สำหรับการหา CSTL ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์คำนวณคล้ายกับเครื่องปรับอากาศแบบคงที่ คือ ผลรวมของค่าภาระโหลด ณ ช่วงอุณหภูมิใดๆ (j) คูณกับจำนวนชั่วโมงตลอดทั้งปี ณ อุณหภูมินั้นๆ (n_j) ดังสมการที่ 3

$$\mathrm{CSTL} = \sum_{j=1}^{m} L_c(t_j) \times n_j + \sum_{j=m+1}^{n} \emptyset_{ful}(t_j) \times n_j \qquad (3)$$

โดยถ้า Lc (tj) ≤ $\emptyset_{Full}$ (tj) การหาขีดความสามารถทำความเย็นรวมทั้งหมดจะคำนวณโดยใช้ Lc (tj) จากสมการที่ 1 และ ถ้า Lc (tj) > $\emptyset_{Full}$ (tj) การหาขีดความสามารถทำความเย็นรวมทั้งหมดจะคำนวณโดยใช้ $\emptyset_{Full}$ (tj) ดังสมการที่ 4

$$\emptyset_{ful}(t_j) = \emptyset_{ful}(35) + \frac{\emptyset_{ful}(29) - \emptyset_{ful}(35)}{35 - 29} x\,(35 - t_j) \qquad (4)$$

โดย $\emptyset_{Full}$ (35) คือค่าขีดความสามารถทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบเต็มสมรรถนะที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่เก็บข้อมูลมาจากค่าทดสอบจริง

$\emptyset_{Full}$ (29) คือค่าขีดความสามารถทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบเต็มสมรรถนะที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่มาจากการคำนวณ คือ 1.077 x $\emptyset_{Full}$ (35)

ซึ่งสมมติว่าขีดความสามารถทำความเย็นเต็มสมรรถนะที่อุณหภูมิใดๆ มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับอุณหภูมิภายนอก อัตราการเปลี่ยนแปลงของขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะกำหนดจากขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะที่อุณหภูมิภายนอก 29 และ 35 องศาเซลเซียส

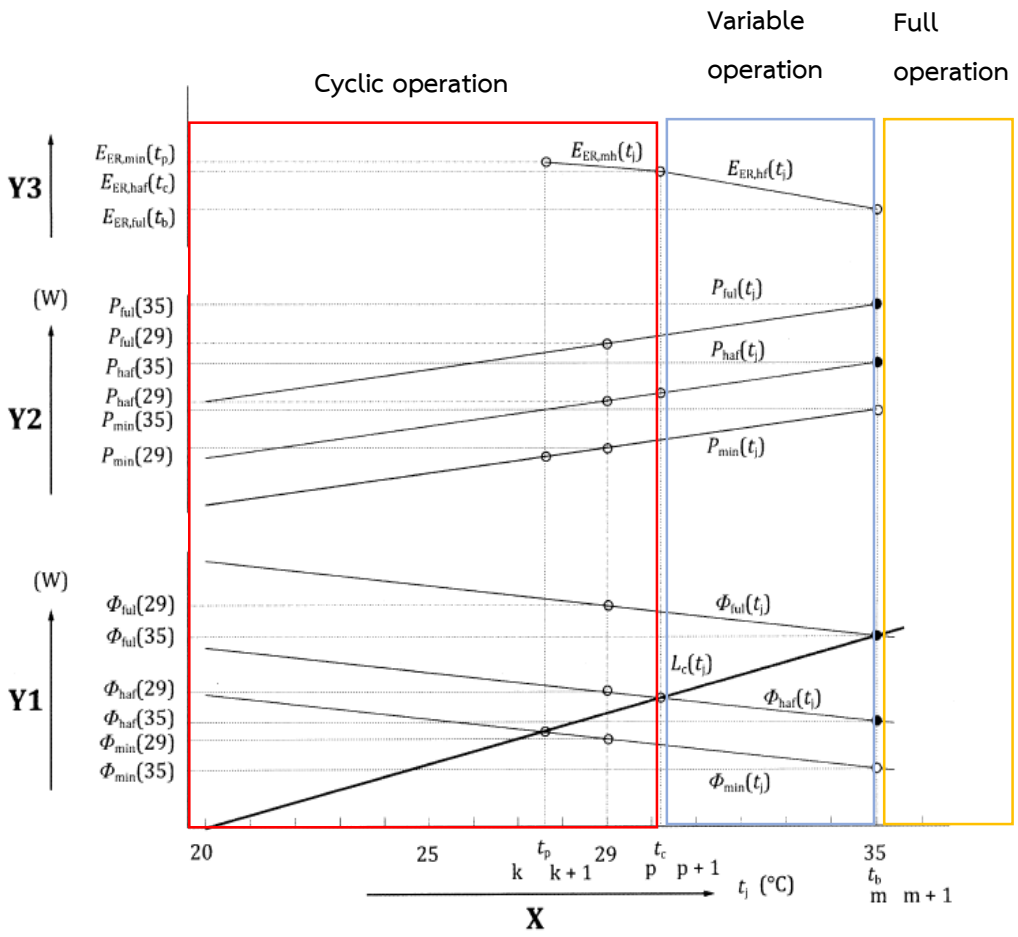
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5.3 พลังงานที่ใช้ทั้งหมดเฉพาะช่วงฤดูที่ต้องการความเย็น (CSEC)

สำหรับการหา CSEC ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จะคำนวณต่างกับเครื่องปรับอากาศแบบคงที่ คือ เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จะมีการทำงาน 3 ช่วง คือ Cyclic operation, Variable operation และ Full operation สามารถคำนวณหา CSEC ได้ดังสมการที่ 5

$$\mathrm{CSEC} = \sum_{j=1}^{p} \frac{X(t_j)\ x\ P_{haf}(t_j)\ x\ n_j}{F_{PL}(t_j)} + \sum_{j=p+1}^{m} P_{haf}(t_j)\ x\ n_j + \sum_{j=m+1}^{n} P_{ful}(t_j)\ x\ n_j \quad (5)$$

การทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์มี 3 ช่วง (ดังรูปที่ 2.2) ดังนี้



Key

X	outdoor temperature
Y1	capacity or load
Y2	power input
Y3	energy efficiency ratio (EER)

Figure A.4 — Cooling capacity, power input, cooling load and EER for variable capacity units

รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทำความเย็น ขีดความสามารถทำความเย็น และพิกัดกำลังไฟฟ้า (ที่มา: ISO 16358-1)

โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าขีดความสามารถทำความเย็น ($Ø_{haf}$) = ($Ø_{min}$) ดังนั้น

a) ช่วง Cyclic operation คือ ค่าภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมีค่าน้อยกว่าขีดความสามารถทำความเย็นครึ่งสมรรถนะ ($Lc \leq Ø_{haf}$, j = 1 ถึง P) ในช่วงนี้การทำงานของเครื่องจะเป็นแบบเปิด – ปิดเหมือนกับเครื่องปรับอากาศแบบคงที่ สามารถหา Operation factor (X (tj)) จากสมการที่ 6 โดยใช้ค่า L_c จากสมการที่ 1 และ $Ø_{haf}$ จากสมการที่ 7

$$X(t_j) = \frac{L_c(t_j)}{Ø_{haf}(t_j)} \tag{6}$$

$$Ø_{haf}(t_j) = Ø_{haf}(35) + \frac{Ø_{haf}(29) - Ø_{haf}(35)}{35 - 29} x\,(35 - t_j) \tag{7}$$

โดย $Ø_{haf}$(35) คือค่าขีดความสามารถทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศครึ่งสมรรถนะ ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่กำหนดให้เป็นครึ่งหนึ่งของจุดที่เครื่องทำงานแบบเต็มสมรรนะ (ซึ่งในความเป็นจริงควรเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบ แต่เนื่องจากไม่มีการเปิดเผยข้อมูลผลการทดสอบค่าขีดความสามารถทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศครึ่งสมรรถนะนี้ จึงระบุไว้เป็นข้อเสนอแนะของงานวิจัย เพื่อให้ได้ค่าจริงในการวิเคราะห์ค่า CSPF ต่อไป)

$Ø_{haf}$(29) คือค่าขีดความสามารถทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศครึ่งสมรรถนะ ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่มาจากการคำนวณ คือ 1.077 x $Ø_{haf}$(35)

และคำนวณหา Part load factor (PLF) โดยค่า C_D = 0.25 ที่เป็นค่าแนะนำในมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013 จากสมการที่ 8

$$F_{PL}(t_j) = 1 - C_D(1 - X(t_j)) \tag{8}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

b) ช่วง Variable operation คือ ค่าภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมีค่ามากกว่าขีดความสามารถทำความเย็นครึ่งสมรรถนะ ($Ø_{haf} < Lc \leq Ø_{ful}$, j= p + 1 ถึง m) คำนวณโดยหาพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบครึ่งสมรรถนะ (P_{haf}) ดังสมการที่ 9 คูณกับจำนวนชั่วโมงตลอดทั้งปี ณ อุณหภูมินั้นๆ

$$P_{haf}(t_j) = P_{haf}(35) + \frac{P_{haf}(29) - P_{haf}(35)}{35 - 29} x\,(35 - t_j) \tag{9}$$

โดย P_{haf}(35) คือพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบครึ่งสมรรถนะ ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่กำหนดให้เป็นครึ่งหนึ่งของจุดที่เครื่องทำงานแบบเต็มสมรรถนะ (ซึ่งในความเป็นจริงควรเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบ แต่เนื่องจากไม่มีการเปิดเผยข้อมูลผลการทดสอบค่าพิกัด

กำลังไฟฟ้าแบบครึ่งสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศครึ่งสมรรถนะนี้ จึงระบุไว้เป็นข้อเสนอแนะของงานวิจัย เพื่อให้ได้ค่าจริงในการวิเคราะห์ค่า CSPF ต่อไป)

P_{haf}(29) คือพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบครึ่งสมรรถนะ ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่มาจากการคำนวณ คือ 0.914 x P_{haf} (35)

c) ช่วง full operation คือ ค่าภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมีค่าน้อยกว่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะ (Lc ≥ $Ø_{full,}$ j = m+1 ถึง n) คำนวณโดยหาพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ (P_{full}) ดังสมการที่ 10 คูณกับจำนวนชั่วโมงตลอดทั้งปี ณ อุณหภูมินั้นๆ

$$P_{ful}(t_j) = P_{ful}(35) + \frac{P_{ful}(29) - P_{ful}(35)}{35-29} \times (35 - t_j) \qquad (10)$$

โดย P_{full}(35) คือพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่เก็บข้อมูลมาจากค่าทดสอบจริง

P_{full}(29) คือพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่มาจากการคำนวณ คือ 0.914 x P_{full}(35)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาติชาย พิสุทธิบริบูรณ์ (2551) ศึกษาเรื่องการกำหนดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศโดยคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศ พบว่า จากข้อด้อยของการกำหนดประสิทธิภาพ เครื่องปรับอากาศด้วยค่า EER ทำให้มีการพัฒนา ให้ใกล้เคียงสภาพการใช้งานจริงให้มากที่สุด เพื่อทำให้พยากรณ์การใช้พลังงานแม่นยำยิ่งขึ้น จึงนำอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมาคำนวณด้วย นั่นคือคำนวณหา SEER หลักการคือการหาปริมาณความร้อนที่ต้องขจัดออก ตลอดฤดูที่กำลังพิจารณาหารด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดช่วงเวลาเดียวกัน ในประเทศที่ต้องการแต่ความเย็นก็อาจเป็นระยะเวลา 1 ปี ในบางประเทศต้องการทั้งความเย็นและความอบอุ่น ช่วงเวลาอาจจะน้อยกว่า 1 ปี จากการทบทวนวรรณกรรมเรื่องนี้ พบว่า ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ EER ยังมีข้อด้อยอยู่มาก เนื่องจากเป็นการตรวจวัดที่อุณหภูมิจุดเดียว จึงมีการพัฒนาให้มีค่าประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศใกล้เคียงกับสภาพภูมิอากาศจริงมากที่สุด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลในงานวิจัยของ ชาติชาย พิสุทธิบริบูรณ์, 2551 มาใช้สนับสนุนเรื่องปัจจัยสภาพภูมิอากาศจริงส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ

กฤษณะ ธรรมิกานนท์ และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร (2556) การวิเคราะห์อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่า เมื่อทำการทดลอง 2 กรณี คือ การติดตั้งท่อสารทำความเย็นที่ความยาวต่างๆ และอุณหภูมิภายนอกที่ต่างกันออกไป โดยควบคุม

อุณหภูมิให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ (มอก. 1155) และวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน พบว่าการติดตั้งท่อสารทำความเย็นที่ความยาวต่างๆ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพ พลังงานลดลง 6.69, 14.01 และ 17.65 % เมื่อท่อสารทำความเย็นยาว 10, 17 และ 19 เมตร ตามลำดับ และในกรณีเมื่ออุณหภูมิภายนอกมีค่าต่างกันออกไป พบว่า อัตราการทำความเย็นมีค่าเพิ่มมากขึ้นและการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง

วีระชาติ มั่นสกุล และคณะ (2009) ได้ศึกษาการออกแบบห้องทดสอบและวิจัยสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่า เมื่อนำเครื่องปรับอากาศ เบอร์ 5 มาใช้งานจริงที่สภาพแวดล้อมภายนอกห้องและภายในห้องจะแตกต่างจากห้องทดสอบโดยสิ้นเชิง ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย งานวิจัยจึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ออกแบบและสร้างห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อการทำงานในสภาพแวดล้อมจริง และวัดค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เบอร์ 5 ชนิดติดผนัง น้ำยา R-22 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เมื่อนำมาใช้งานในสภาพแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

ทั้ง 3 งานวิจัยนี้ ค้นพบว่า อุณหภูมิภายนอกเป็นปัจจัยหลักที่มีผลให้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นและลดลง หากอุณหภูมิภายนอกลดลงส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศมีค่าสูงขึ้น ดังนั้น จึงนำสภาพภูมิอากาศภายนอก โดยใช้สภาพภูมิอากาศจริงของประเทศไทยเฉลี่ย 5 ปี มาคำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาลของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในประเทศไทย คำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ประเทศไทยใช้คำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานในปัจจุบัน เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาลที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

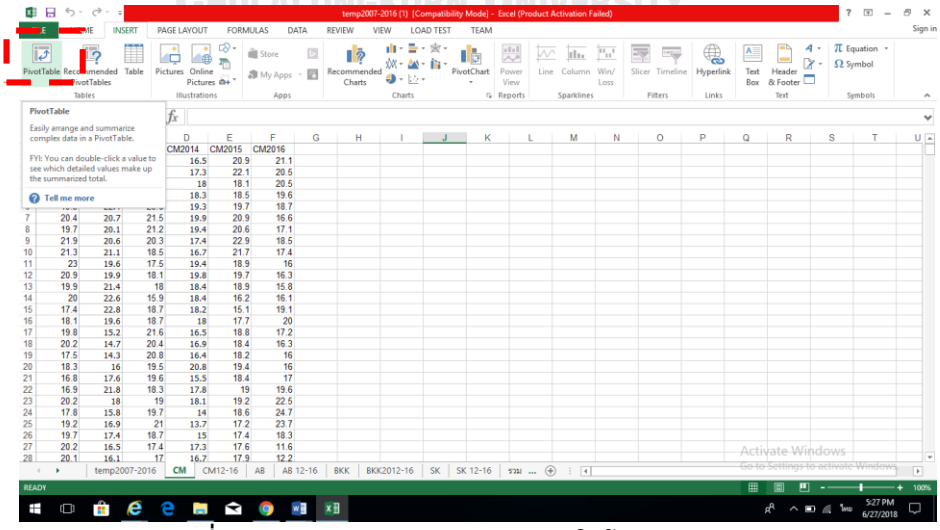
การศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ มีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 วิธีการศึกษาและรวบรวมข้อมูล

- ศึกษารายละเอียดการทดสอบเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน ISO 16358-1
- รวบรวมข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ รุ่น ที่มีขนาดทำความเย็น 2,638 3,517 5,276 และ 7,034 วัตต์ หลังจากนั้น เก็บข้อมูลค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะ $Ø_{Full}$ (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) และพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ P_{Full} (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) ของเครื่องปรับอากาศแต่ละรุ่น แต่ละขนาดที่รวบรวมได้ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ

3.2 วิธีการจัดทำการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของประเทศไทย

- รวบรวมข้อมูลดิบจากกรมอุตุนิยมวิทยา คืออุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559 จากสถานีตรวจวัด 4 ภูมิภาค ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ สถานีอุบลราชธานี สถานีกรุงเทพมหานคร สถานีสงขลา
- จัดเรียงข้อมูลอุณหภูมิโดยเรียงจากอุณหภูมิน้อยไปมากและนับจำนวนชั่วโมงที่เกิดอุณหภูมินั้นๆ ในแต่ละปี โดยใช้ PivotTable ในโปรแกรม ExCel (ดังรูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่าง PivotTable ในโปรแกรม ExCel

- จัดทำการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของประเทศไทยดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการสร้างตารางการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก

Bin number	Outdoor Temperature	Bin hours
J	C	nj
1	Temp min+1	
2	Temp min +2	
3	Temp min +3	
4	Temp min +4	
.	.	
.	.	
n	Temp min +n	

3.3 วิธีการคำนวณประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้อุณหภูมิภายนอกตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส

- ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศต้องการ 2 จุด คือจุดที่เครื่องทำงานแบบเต็มสมรรถนะ และจุดที่เครื่องทำงานแบบครึ่งสมรรถนะ ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- สำหรับข้อมูล ณ จุดที่เครื่องทำงานแบบเต็มสมรรถนะ จะเก็บรวบรวมข้อมูลตามข้อ 3.1
- ข้อมูลจุดที่ 2 คือข้อมูล ณ จุดที่เครื่องทำงานแบบครึ่งสมรรถนะ กำหนดให้เป็นครึ่งหนึ่งของจุดที่เครื่องทำงานแบบเต็มสมรรถนะ เนื่องจากไม่มีการเปิดเผยข้อมูลผลการทดสอบครึ่งสมรรถนะ จึงระบุไว้เป็นข้อเสนอแนะของงานวิจัยเพื่อให้ได้ค่าจริงในการวิเคราะห์ค่า CSPF ต่อไป

- ส่วนข้อมูลจุดที่เครื่องทำงานแบบเต็มสมรรถนะ และจุดที่เครื่องทำงานแบบครึ่งสมรรถนะ ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส คำนวณโดยใช้ค่าแนะนำ (Default Value) ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงภาวะการทดสอบของเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013

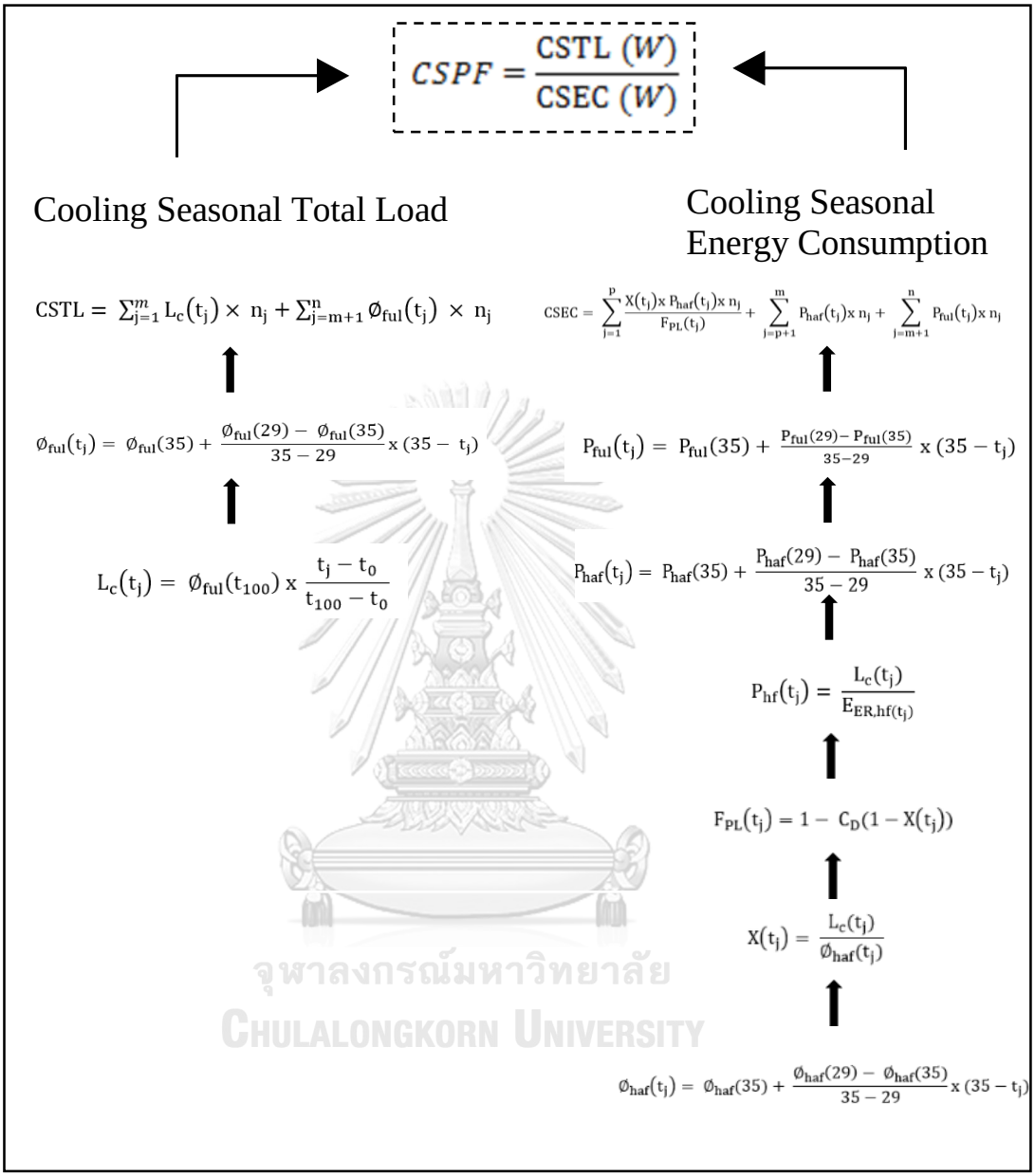
ภาวะการทดสอบ	ลักษณะการทำงาน	เครื่องปรับอากาศ		ค่าแนะนำ (Default)
		Fixed speed	Variable speed	
อุณหภูมิลมกลับเข้าชุดแฟนคอยล์ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 27 °C อุณหภูมิกระเปาะเปียก 19 °C **อุณหภูมิลมก่อนเข้าชุดคอนเดนซิง** อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 35 °C อุณหภูมิกระเปาะเปียก 24 °C	Full load - ขีดความสามารถทำความเย็น $Ø_{ful}(35)$ (W) - กำลังไฟฟ้า $P_{ful}(35)$(W)	■	■	
	Half load - ขีดความสามารถทำความเย็น $Ø_{haf}(35)$ (W) กำลังไฟฟ้า $P_{haf}(35)$(W)	-	■	$Ø_{ful}(29)/1.077$ $P_{ful}(29)/0.914$
อุณหภูมิลมกลับเข้าชุดแฟนคอยล์ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 27 °C อุณหภูมิกระเปาะเปียก 19 °C **อุณหภูมิลมก่อนเข้าชุดคอนเดนซิง** อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 29 °C อุณหภูมิกระเปาะเปียก 19 °C	Full load - ขีดความสามารถทำความเย็น $Ø_{ful}(29)$ (W) - กำลังไฟฟ้า $P_{ful}(29)$(W)	-*	-	$1.077x\ Ø_{ful}(35)$ $0.914x\ P_{ful}(35)$
	Half load - ขีดความสามารถทำความเย็น $Ø_{haf}(29)$ (W) กำลังไฟฟ้า $P_{haf}(29)$(W)	-	-	$1.077x\ Ø_{haf}(35)$ $0.914x\ P_{haf}(35)$

■ ทดสอบ -ไม่ทดสอบ

-* ไม่ทดสอบ แต่นำค่าจากลักษณะการทำงานตามภาระดังกล่าว ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่าแนะนำตามตาราง เพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- หลังจากได้ข้อมูลการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะ $Ø_{Full}$ (35) และ แบบครึ่งสมรรถนะ $Ø_{half}$ (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) และพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ P_{Full} (35) และ แบบครึ่งสมรรถนะ P_{half} (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) ของเครื่องปรับอากาศครบแล้ว สามารถนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ได้ตามสมการดังรูปข้างล่าง (ตามรูปที่ 2.1)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.1 แสดงการคำนวณหา CSPF ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

- คำนวณหาค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จนครบทุกยี่ห้อ ทุกรุ่น ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 3,517 5,276 และ 7,034 วัตต์
- จากนั้นคำนวณหาค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์อีกครั้ง โดยเปลี่ยนชุดอุณหภูมิจากชุดอุณหภูมิจากค่าแนะนำตามมาตรฐาน ISO 16358-1 เป็นสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย และทำการเปรียบเทียบค่า CSPF ที่ได้จากที่ใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกที่แตกต่างกัน

3.4 วิธีการคำนวณประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทยในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 ℃ เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 ℃

- จัดทำการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของประเทศไทยตามข้อ 3.2 โดยปรับช่วงอุณหภูมิจากเดิมใช้ชุดอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสเป็นชุดอุณหภูมิ 20 – 40 องศาเซลเซียส เพื่อให้สะท้อนการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศ

Bin number	Outdoor Temperature	Bin hours
J	C	nj
1	21	
2	22	
3	23	
4	24	
5	25	
6	26	
7	27	
8	28	
9	29	
10	30	
11	31	
12	32	
13	33	
14	34	
15	35	

Bin number	Outdoor Temperature	Bin hours
j	℃	n_j
1	21	
2	22	
3	23	
4	24	
5	25	
6	26	
7	27	
8	28	
9	29	
10	30	
11	31	
12	32	
13	33	
14	34	
15	35	
16	36	
17	37	
18	38	
19	39	
20	40	

- คำนวณหาค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จนครบทุกยี่ห้อ ทุกรุ่น ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 3,517 5,276 และ 7,034 วัตต์ ตามข้อ 3.3
- จากนั้นเปรียบเทียบค่า CSPF ที่ได้จากที่ใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกที่แตกต่างกัน

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ชนิดแยกส่วน

จากการรวบรวมข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ชนิดแยกส่วนในประเทศไทย พบว่า เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์ รวมรวมข้อมูลได้ทั้งหมด 17 ยี่ห้อ 23 รุ่น มีความขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะ หรือ $Ø_{Full}$ (35) และพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ หรือ P_{Full} (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) (ดังตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น	รุ่น outdoor unit	สารทำความเย็น	ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ	
				Cooling Capacity หรือ ($Ø_{ful}$(35))) (Btu/hr)	Power input หรือ (P_{ful}(35)) (Watt)
A	No information	No information	-	-	-
B	No information	No information	-	-	-
C	CFW-IVG	CCS-IVG09R32	R32	9,363.72	701.67
D	URusara7	RXZ09NV1S	R32	8,496.86	430.00
	SMART	RKM09NV2S	R32	8,700.00	490.00
E	Wallmounted type inverter	AFG09V	R32	9,200.00	780.00
F	No information	No information	-	-	-
G	Dualinverter	IK10R	R32	9,200.00	770.00
H	RAS-DX	RAC-DX10CJT	R32	9,259.00	659.00
I	HSU-VFB	10000BTU	R32	9,463.00	2,773.00
J	Sure inverter	CB09SURE32SW	R32	9,806.00	717.00
K	CHDE-AD	CHDE09I-AD1	R410a	9,212.00	750.00
L	Passio Inverter	TYKE09GB5	R32	9,400.00	720.00
M	Super inverter	MSY-GN09VF	R32	9,212.00	690.00
	Standard inverter	MSY-JP09VF	R33	8,871.00	920.00
N	CE-IV	CE-095IV	R32	9,400.00	710.00
O	WRI-F/ARI-F	9000BTU	R32	9,420.00	738.00
P	CS-UTKT	CS-U9TKT	R32	8,530.00	490.00
	CS-KUTKT	CS-KU9TKT	R32	8,734.00	680.00
Q	SWM IVXT	SWM 09 IVNT	R32	9,364.00	701.67
R	Germani Series	38TEVGB010-703	R32	8,500.00	830.00
	Explorer inverter	38TVGS010-703	R32	9,536.00	770.00
S	AR5500	AR10NYSHBWKX	R32	8,500.00	780.00
	AR9400	AR10NYFXAWKX	R32	9,000.00	700.00
T	RAS-U2ACV2G-T	RAS-10U2ACV2G	R32	8,500.00	2,490.00
	RAS-PACVG-T	RAS-10PACVG-T	R32	9,536.00	770.00
U	No information	No information	-	-	-
V	No information	No information	-	-	-

สำหรับเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 3,517 วัตต์ รวมรวมข้อมูลได้ทั้งหมด 17 ยี่ห้อ 23 รุ่น มีความขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะ $Ø_{Full}$ (35) และพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ P_{Full} (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) (ดังตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 3,517 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น	รุ่น outdoor unit	สารทำความเย็น	ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ	
				Cooling Capacity หรือ ($Ø_{ful}$(35))) (Btu/hr)	Power input หรือ (P_{ful}(35)) (Watt)
A	No information	No information	-	-	-
B	No information	No information	-	-	-
C	CFW-IVG	CCS-IVG13R32	R32	12,590.55	1,035.54
D	URusara7	RXZ12NV1S	R32	11,661.19	680.00
	SMART	RKM12NV2S	R32	11,900.00	810.00
E	Wallmounted type inverter	AFG12V	R32	12,500.00	1,100.00
F	No information	No information			
G	Dualinverter	IK10R	R32	12,000.00	1,030.00
H	RAS-DX	RAC-DX13CJT	R32	12,908.00	1,182.00
I	HSU-VFB	13000BTU	R32	12,501.00	3,663.80
J	Sure inverter	CB12SURE32SW1	R32	12,369.00	1,037.00
K	CHDE-AD	CHDE13I-AD1	R410a	12,283.00	1,000.00
L	Passio Inverter	TYKE12GB5	R32	12,600.00	1,040.00
M	Super inverter	MSY-GN13VF	R32	12,024.00	1,000.00
	Standard inverter	MSY-JP13VF	R32	12,283.00	1,270.00
N	CE-IV	CE-125IV	R32	12,600.00	1,040.00
O	WRI-F/ARI-F	12000BTU	R32	12,244.00	1,020.00
P	CS-KT	CS-U13TKT	R32	12,000.00	850.00
	CS-KUTKT	CS-KU13TKT	R32	12,299.00	950.00
Q	SWM IVXT	SWM 12 IVNT	R32	12,591.00	1,035.54
R	Germani Series	38TEVGB013-703	R32	11,900.00	1,200.00
	Explorer inverter	38TVGS013-703	R32	12,447.00	1,050.00
S	AR5500	AR13NYSHBWKXST	R32	11,500.00	1,030.00
	AR9400	AR13NYFXAWKXST	R32	12,000.00	1,065.00
T	RAS-U2ACV2G-T	RAS-13U2ACV2G-T	R32	11,900.00	3,490.00
	RAS-PACVG-T	RAS-13PACVG-T	R32	12,447.00	1,050.00
U	No information	No information	-	-	-
V	No information	No information	-	-	-

สำหรับเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 5,276 วัตต์ รวมรวมข้อมูลได้ทั้งหมด 17 ยี่ห้อ 23 รุ่น มีความขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะ $Ø_{Full}$ (35) และพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ P_{Full}(35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) (ดังตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 5,276 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น	รุ่น outdoor unit	สารทำความเย็น	ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ	
				Cooling Capacity หรือ ($Ø_{ful}$(35))) (Btu/hr)	Power input หรือ (P_{ful}(35)) (Watt)
A	No information	No information	-	-	-
B	No information	No information	-	-	-
C	CFW-IVG	CCS-IVG18R32	R32	18,108.61	1,495.63
D	URusara7	RXZ18NV1S	R32	16,543.38	1,150.00
	SMART	RKM18NV2S	R32	17,700.00	1,240.00
E	Wallmounted type inverter	AFG18V	R32	18,500.00	1,570.00
F			-		
G	Dualinverter	IK18R	R32	18,200.00	1,540.00
H	RAS-DX	RAC-DX18CJT	R32	18,881.00	1,541.00
I	HSU-VFB	18000BTU	R32	18,343.00	5,375.95
J	Sure inverter	CB18SURE32SW1	R32	18,375.00	1,521.00
K	CHDE-AD	CHDE19I-AD1	R410a	18,084.00	1,490.00
L	Passio Inverter	TYKE18GB5	R32	18,200.00	1,500.00
M	Super inverter	MSY-GN18VF	R32	17,742.00	1,430.00
	Standard inverter	MSY-JP18VF	R33	17,742.00	1,840.00
N	CE-IV	CE-185IV	R32	18,200.00	1,500.00
O	WRI-F/ARI-F	18000BTU	R32	17,695.00	1,506.00
P	CS-KT	CS-U18TKT	R32	18,100.00	1,260.00
	CS-KUTKT	CS-KU18TKT	R32	18,051.00	1,440.00
Q	SWM IVXT	SWM18IVXT	R32	18,109.00	1,495.63
R	Germani Series	38TEVGB018-703	R32	17,000.00	1,660.00
	Explorer inverter	38TVGS018-703	R32	18,000.00	1,570.00
S	AR5500	AR18NYSHBWKXST	R32	17,000.00	1,700.00
	AR9400	AR18NYFXAWKXST	R32	18,000.00	1,370.00
T	RAS-U2ACV2G-T	RAS-18U2ACV2G-T	R32	17,000.00	4,980.00
	RAS-PACVG-T	RAS-18PACVG-T	R32	18,000.00	1,570.00
U	No information	No information	-	-	-
V	No information	No information	-	-	-

และสำหรับเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 7,034 วัตต์ รวมรวมข้อมูลได้ทั้งหมด 17 ยี่ห้อ 20 รุ่น มีความขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะ $Ø_{Full}$ (35) และพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะ P_{Full} (35) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (วัตต์) (ดังตารางที่ 4.4)

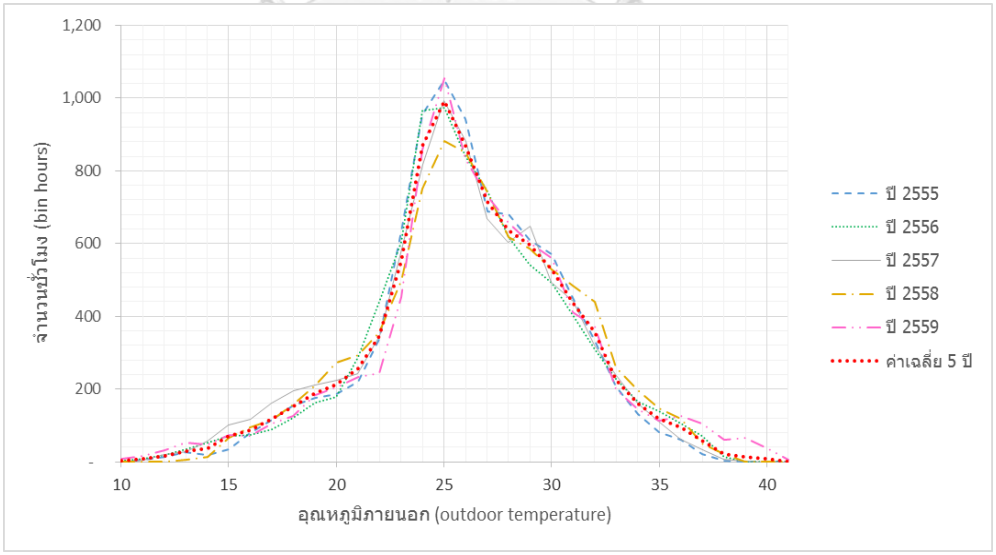
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 7,034 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น	รุ่น outdoor unit	สารทำความเย็น	ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ	
				Cooling Capacity หรือ ($Ø_{ful}$(35)) (Btu/hr)	Power input หรือ (P_{ful}(35)) (Watt)
A	No information	No information	-	-	-
B	No information	No information	-	-	-
C	CFW-IVG	CCS-IVG24R32	R32	24,053.17	1,940.09
D	SMART	RKM28NV2S	R32	24,200.00	2,000.00
E	Wallmounted type inverter	AFG24V	R32	24,500.00	2,260.00
F	No information	No information			
G	Dualinverter	IK24R	R32	21,600.00	1,850.00
H	RAS-DX	RAC-DX24CJT	R32	23,000.00	2,198.00
I	HSU-VFB	24000BTU	R32	25,118.00	7,361.71
J	Sure inverter	CB24SURE32SW1	R32	25,526.00	2,052.00
K	CHDE-AD	CHDE25I-AD1	R410a	24,225.00	1,972.00
L	Passio Inverter	TYKE24GB5	R32	24,100.00	1,944.00
M	Super inverter	MSY-GN24VF	R32	22,519.00	1,830.00
	Standard inverter	MSY-JP24VF	R32	22,519.00	2,010.00
N	CE-IV	CE-245IV	R32	24,100.00	1,950.00
O	WRI-F/ARI-F	24000BTU	R32	24,412.00	1,951.00
P	CS-KT	CS-U18TKT	R32	20,500.00	1,500.00
	CS-KUTKT	CS-KU24TKT	R32	20,607.00	1,700.00
Q	SWM IVXT	SWM 24 IVXT	R32	24,053.00	1,940.09
R	Explorer inverter	38TVGS024-703	R32	20,487.00	1,850.00
S	AR5500	AR24NYSHBWKXST	R32	21,500.00	1,715.00
	AR9400	AR24NYFXAWKXST	R32	21,500.00	1,730.00
T	RAS-PACVG-T	RAS-24PACVG-T	R32	20,487.00	1,850.00
U	No information	No information	-	-	-
V	No information	No information	-	-	-

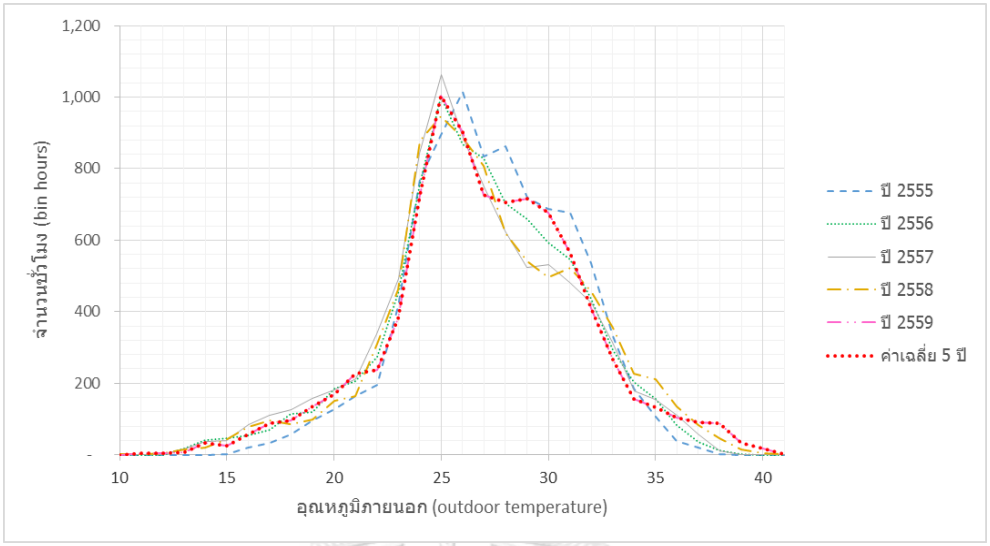
4.2 ผลของการสร้างการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

ผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย โดยการจัดเรียงข้อมูลอุณหภูมิของประเทศไทย จากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยใช้ Pivot Table พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ย 5 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559 ของสถานีเชียงใหม่ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 10 - 41 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่พบมากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การกระจายข้อมูลชุดอุณหภูมิภายนอก แสดงดังรูปที่ 4.1 และ ของสถานีอุบลราชธานี อุณหภูมิอยู่ในช่วง 10 - 41 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่พบมากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การกระจายข้อมูลชุดอุณหภูมิภายนอก แสดงดังรูปที่ 4.2 และของสถานีกรุงเทพมหานคร อุณหภูมิอยู่ในช่วง 14 - 39 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่พบมากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส การกระจายข้อมูลชุดอุณหภูมิภายนอก แสดงดังรูปที่ 4.3 สุดท้ายสถานีสกลนคร อุณหภูมิอยู่ในช่วง 15 - 39 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่พบมากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส การกระจายข้อมูลชุดอุณหภูมิภายนอก แสดงดังรูปที่ 4.4

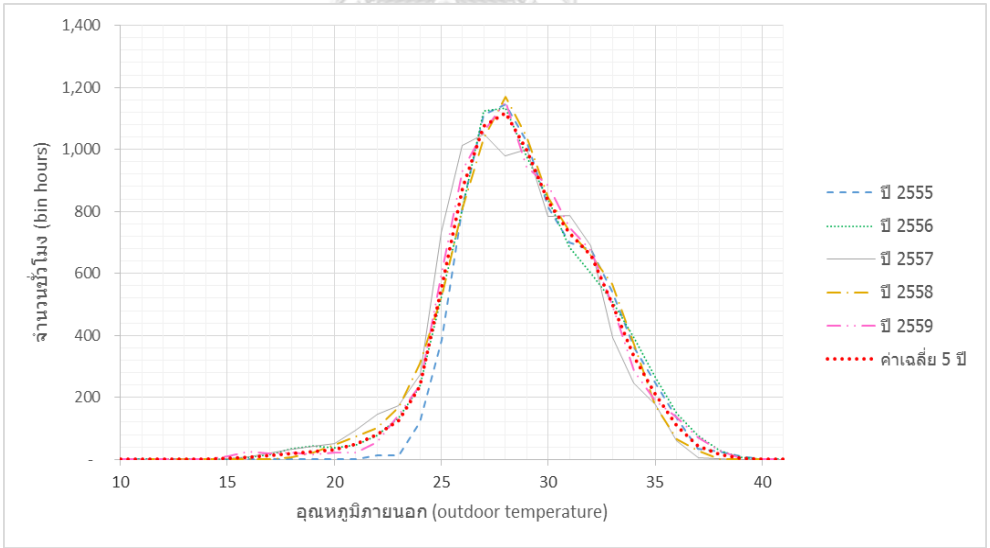
จากนั้นนำชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของ 4 สถานี มาหาค่าเฉลี่ยของประเทศไทย พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 10 - 41 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่พบมากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กราฟการกระจายข้อมูลชุดอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยของประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 4.5



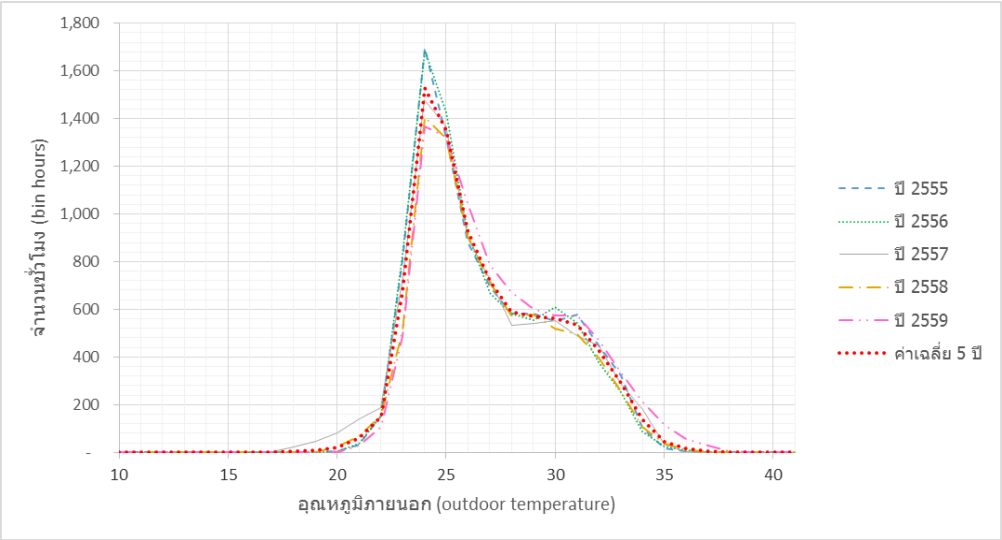
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของสถานีตรวจวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559



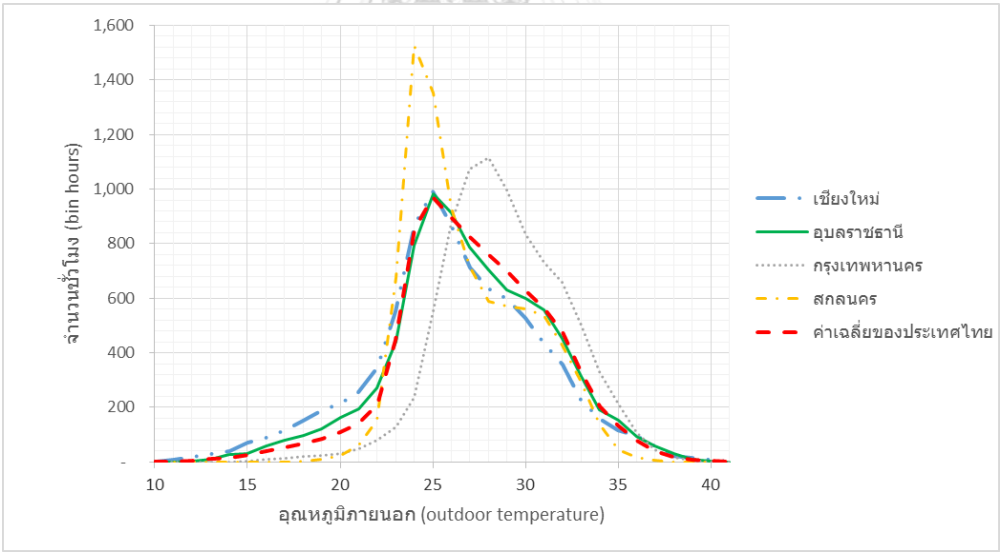
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของสถานีตรวจวัดอุบลราชธานี ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของสถานีตรวจวัดกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของสถานีตรวจวัดสกลนคร ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของการสร้างชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature) ของประเทศไทยเฉลี่ย 5 ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559

จัดทำการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของประเทศไทย โดยใช้ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เพื่อให้เท่ากับช่วงอุณหภูมิตามค่าแนะนำ (Default Value) และเปรียบเทียบความแตกต่าง พบว่าเนื่องจาก ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 : 2013 ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส พบจำนวนชั่วโมงที่ต้องการความเย็นตลอดทั้งปีเพียง 1,871 ชั่วโมง (ดังตารางที่ 4.5) โดยช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 26.1 องศาเซลเซียสและข้อมูลการกระจายจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ (ดังรูปที่ 4.6)

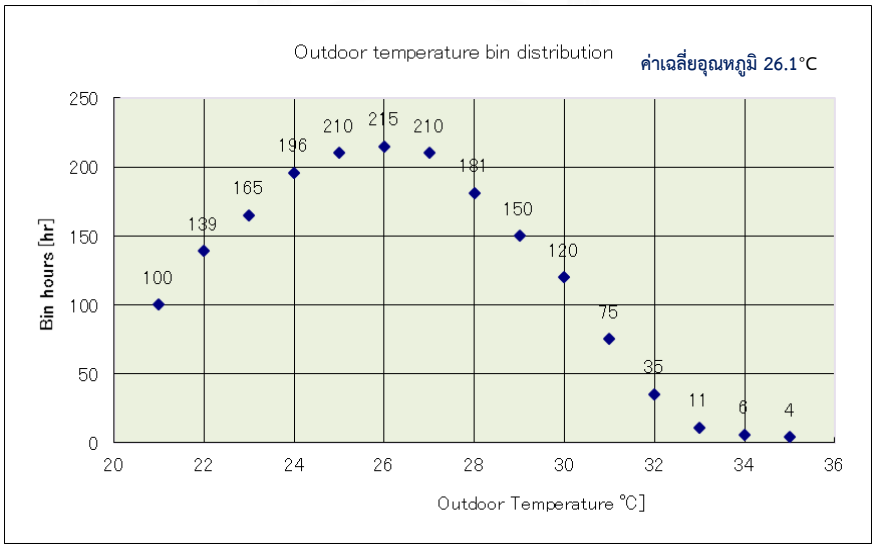
แต่ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย พบช่วงอุณหภูมิอยู่ที่ 10 – 41 องศาเซลเซียส ทั้งหมด 8,707 ชั่วโมง จึงตัดข้อมูลอุณหภูมิในช่วง 10 – 20 องศาเซลเซียสออก จำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่ตัดออก 411 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 4.72 ของจำนวนชั่วโมงทั้งหมด เนื่องจากในช่วงนี้ยังไม่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศ และตัดข้อมูลอุณหภูมิในช่วง 35 – 40 องศาเซลเซียสออก เนื่องจากไม่ได้อยู่ในช่วงอุณหภูมิตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1 จำนวนชั่วโมงทั้งหมดที่ตัดออก 147 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 1.69 ของจำนวนชั่วโมงทั้งหมด

ดังนั้น ชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย พบจำนวนชั่วโมงที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส คือ 8,149 ชั่วโมง (ดังตารางที่ 4.6) โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27.5 ℃ ข้อมูลการกระจายจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ (ดังรูปที่ 4.7) วิเคราะห์การเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามค่าแนะนำและตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ 20-35 องศาเซลเซียส พบว่า ช่วงการกระจายอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย อยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า ตามค่าแนะนำ (ดังรูปที่ 4.8)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 แสดงการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของค่าแนะนำตามมาตรฐาน 16358 – 1

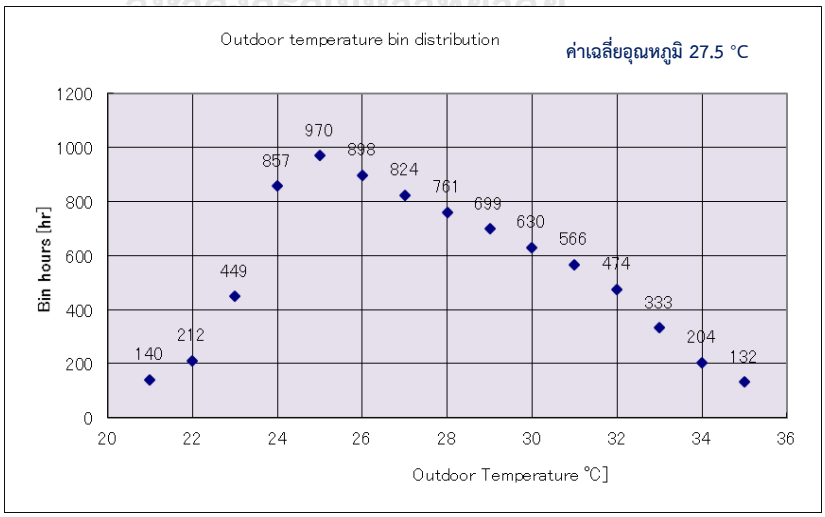
Bin number	Outdoor Temperature	Bin hours (h)
j	C	n_j
1	21	100
2	22	139
3	23	165
4	24	196
5	25	210
6	26	215
7	27	210
8	28	181
9	29	150
10	30	120
11	31	75
12	32	35
13	33	11
14	34	6
15	35	4
		1,817



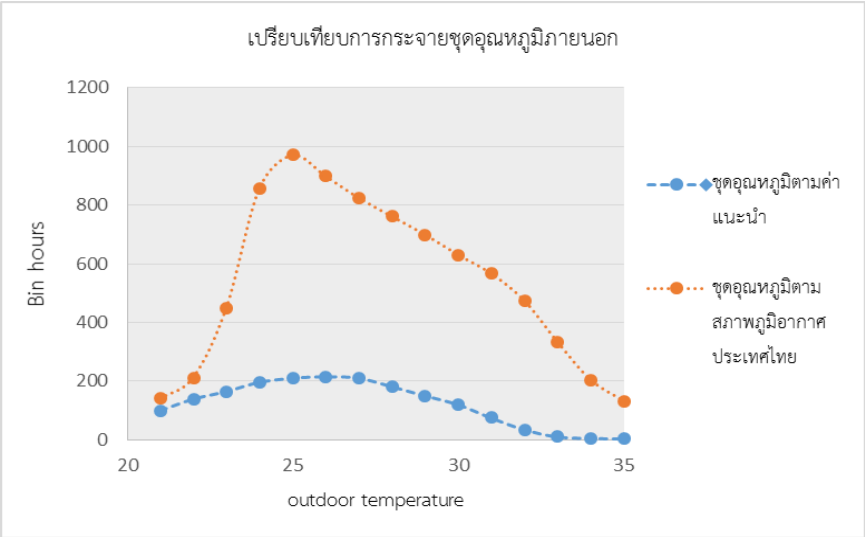
รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามค่าแนะนำ ที่ 20-35 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.6 แสดงการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของสภาพภูมิอากาศประเทศไทย

Bin number	Outdoor Temperature	Bin hours (h)
j	C	n_j
1	21	140
2	22	212
3	23	449
4	24	857
5	25	970
6	26	898
7	27	824
8	28	761
9	29	699
10	30	630
11	31	566
12	32	474
13	33	333
14	34	204
15	35	132
		8,149



รูปที่ 4.7 แสดงการกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ 20-35 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามค่าแนะนำและตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ 20-35 องศาเซลเซียส

4.3 ผลคำนวณประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor : CSPF) ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส

4.3.1 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์

พบว่า ค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ทั้ง 23 รุ่นที่คำนวณได้โดยใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำ มีค่าตั้งแต่ 3.3 – 6.8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.506 เมื่อเทียบกับค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศประเทศไทย มีค่าตั้งแต่ 3.2 – 6.6 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.403 ค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศประเทศไทยมีค่าน้อยกว่าค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำร้อยละ 2.28 แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น outdoor unit	ค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะหรือ $Ø_{Full}$(35) (W)	ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะหรือ P_{Full}(35) (W)	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าแนะนำตามมาตรฐาน ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ความแตกต่าง CSPF (%)
C	CCS-IVG09R32	2,744	702	4.6	4.5	
D	RXZ09NV1S	2,490	430	6.8	6.6	
	RKM09NV2S	2,550	490	6.1	5.9	
E	AFG09V	2,696	780	4.0	3.9	
G	IK10R	2,696	770	4.1	4.0	
H	RAC-DX10CJT	2,714	659	4.8	4.7	
I	10000BTU	2,773	720	4.5	4.4	
J	CB09SURE32SW1	2,874	717	4.7	4.6	
K	CHDE09I-AD1	2,700	750	4.2	4.1	
L	TYKE09GB5	2,755	720	4.5	4.4	
M	MSY-GN09VF	2,700	690	4.6	4.5	
	MSY-JP09VF	2,600	920	3.3	3.2	**-2.28**
N	CE-095IV	2,755	710	4.5	4.4	
O	9000BTU	2,761	738	4.4	4.3	
P	CS-U9TKT	2,500	490	6.0	5.8	
	CS-KU9TKT	2,560	680	4.4	4.3	
Q	SWM 09 IVNT	2,744	702	4.6	4.5	
R	38TEVGB010-703	2,491	830	3.5	3.4	
	38TVGS010-703	2,795	770	4.2	4.1	
S	AR10NYSHBWKXST	2,491	780	3.7	3.6	
	AR10NYFXAWKXST	2,638	700	4.4	4.3	
T	RAS-10U2ACV2G-T	2,491	830	3.5	3.4	
	RAS-10PACVG-T	2,795	770	4.2	4.1	
ค่าเฉลี่ย				**4.506**	**4.403**	

4.3.2 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 3,517 วัตต์

พบว่า ค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ทั้ง 23 รุ่นที่คำนวณได้โดยใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำ มีค่าตั้งแต่ 3.3 – 5.9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.122 เมื่อเทียบกับค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศประเทศไทย มีค่าตั้งแต่ 3.2 – 5.7 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.028 ค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศประเทศไทยมีค่าน้อยกว่าค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำ ร้อยละ 2.28 แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 3,517 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น outdoor unit	ค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะหรือ $Ø_{Full}$ (35) (W)	ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะหรือ P_{Full} (35) (W)	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าแนะนำตามมาตรฐาน ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ความแตกต่าง CSPF (%)
C	CCS-IVG13R32	3,690	1,036	4.2	4.1	
D	RXZ12NV1S	3,418	680	5.9	5.7	
	RKM12NV2S	3,488	810	5.0	4.9	
E	AFG12V	3,664	1,100	3.9	3.8	
G	IK10R	3,517	1,030	4.0	3.9	
H	RAC-DX13CJT	3,783	1,182	3.7	3.7	
I	13000BTU	3,664	1,100	3.9	3.8	
J	CB12SURE32SW1	3,625	1,037	4.1	4.0	
K	CHDE13I-AD1	3,600	1,000	4.2	4.1	
L	TYKE12GB5	3,693	1,040	4.2	4.1	
M	MSY-GN13VF	3,524	1,000	4.1	4.0	
	MSY-JP13VF	3,600	1,270	3.3	3.2	-2.28
N	CE-125IV	3,693	1,040	4.2	4.1	
O	12000BTU	3,589	1,020	4.1	4.0	
P	CS-U13TKT	3,517	850	4.8	4.7	
	CS-KU13TKT	3,605	950	4.4	4.3	
Q	SWM 12 IVNT	3,690	1,036	4.2	4.1	
R	38TEVGB013-703	3,488	1,200	3.4	3.3	
	38TVGS013-703	3,648	1,050	4.1	4.0	
S	AR13NYSHBWKXST	3,370	1,030	3.8	3.7	
	AR13NYFXAWKXST	3,517	1,065	3.9	3.8	
T	RAS-13U2ACV2G-T	3,488	1,200	3.4	3.3	
	RAS-13PACVG-T	3,648	1,050	4.1	4.0	
ค่าเฉลี่ย				**4.122**	**4.028**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.3 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 5,276 วัตต์

พบว่า ค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ทั้ง 23 รุ่นที่คำนวณได้โดยใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำ มีค่าตั้งแต่ 3.3 – 5.9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.121 เมื่อเทียบกับค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศประเทศไทย มีค่าตั้งแต่ 3.2 – 5.7 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.027 ค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศประเทศไทยมีค่าน้อยกว่าค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำ ร้อยละ 2.28 แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 5,276 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น outdoor unit	ค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะหรือ $Ø_{Full}$ (35) (W)	ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะหรือ P_{Full} (35) (W)	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าแนะนำตามมาตรฐาน ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ความแตกต่าง CSPF (%)
C	CCS-IVG18R32	5,307	1,496	4.1	4.1	
D	RXZ18NV1S	4,849	1,150	4.9	4.8	
	RKM18NV2S	5,188	1,240	4.9	4.8	
E	AFG18V	5,422	1,570	4.0	3.9	
G	IK18R	5,334	1,540	4.1	4.0	
H	RAC-DX18CJT	5,534	1,541	4.2	4.1	
I	18000BTU	5,376	1,515	4.1	4.1	
J	CB18SURE32SW1	5,385	1,521	4.1	4.0	
K	CHDE19I-AD1	5,300	1,490	4.2	4.1	
L	TYKE18GB5	5,334	1,500	4.2	4.1	
M	MSY-GN18VF	5,200	1,430	4.3	4.2	
	MSY-JP18VF	5,200	1,840	3.3	3.2	**-2.28**
N	CE-185IV	5,334	1,500	4.2	4.1	
O	18000BTU	5,186	1,506	4.0	3.9	
P	CS-U18TKT	5,305	1,260	4.9	4.8	
	CS-KU18TKT	5,290	1,440	4.3	4.2	
Q	SWM 18 IVXT	5,307	1,496	4.1	4.1	
R	38TEVGB018-703	4,982	1,660	3.5	3.4	
	38TVGS018-703	5,275	1,570	3.9	3.8	
S	AR18NYSHBWKXST	4,982	1,700	3.4	3.3	
	AR18NYFXAWKXST	5,275	1,370	4.5	4.4	
T	RAS-18U2ACV2G-T	4,982	1,660	3.5	3.4	
	RAS-18PACVG-T	5,275	1,570	3.9	3.8	
ค่าเฉลี่ย				**4.121**	**4.027**	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.4 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 7,034 วัตต์

พบว่า ค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ทั้ง 20 รุ่นที่คำนวณได้โดยใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำ มีค่าตั้งแต่ 3.3 – 5.9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.091 เมื่อเทียบกับค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศประเทศไทย มีค่าตั้งแต่ 3.2 – 5.7 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.998 ค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศประเทศไทยมีค่าน้อยกว่าค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำร้อยละ 2.28 แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ดอุณหภูมิตามค่าแนะนำเทียบกับชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 7,034 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น outdoor unit	ค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะหรือ $Ø_{Full}$ (35) (W)	ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะหรือ P_{Full} (35) (W)	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าแนะนำตามมาตรฐาน ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ความแตกต่าง CSPF (%)
C	CCS-IVG24R32	7,050	1,940	4.2	4.2	-2.28
D	RKM28NV2S	7,093	2,000	4.1	4.1	
E	AFG24V	7,181	2,260	3.7	3.6	
G	IK24R	6,331	1,850	4.0	3.9	
H	RAC-DX24CJT	6,741	2,198	3.6	3.5	
I	24000BTU	7,362	2,400	3.6	3.5	
J	CB24SURE32SW1	7,481	2,052	4.3	4.2	
K	CHDE25I-AD1	7,100	1,972	4.2	4.1	
L	TYKE24GB5	7,063	1,944	4.2	4.2	
M	MSY-GN24VF	6,600	1,830	4.2	4.1	
	MSY-JP24VF	6,600	2,010	3.8	3.8	
N	CE-245IV	7,063	1,950	4.2	4.1	
O	24000BTU	7,155	1,951	4.3	4.2	
P	CS-U18TKT	6,008	1,500	4.7	4.6	
	CS-KU24TKT	6,040	1,700	4.2	4.1	
Q	SWM 24 IVXT	7,050	1,940	4.2	4.2	
R	38TVGS024-703	6,004	1,850	3.8	3.7	
S	AR24NYSHBWKXST	6,301	1,715	4.3	4.2	
	AR24NYFXAWKXST	6,301	1,730	4.3	4.2	
T	RAS-24PACVG-T	6,004	1,850	3.8	3.7	
ค่าเฉลี่ย				**4.091**	**3.998**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิเคราะห์เปรียบเทียบ CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ พบว่า ค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์ มีค่า CSPF สูงที่สุด และที่ขนาดทำความเย็น 7,034 วัตต์ มีค่า CSPF น้อยที่สุด อีกทั้ง CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิประเทศไทย มีค่าลดลงร้อยละ 2.28 เมื่อเทียบกับค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิตามค่าแนะนำ เนื่องจาก ชุดอุณหภูมิภายนอกของสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า ชุดอุณหภูมิภายนอกของค่าแนะนำ ส่งผลให้เมื่อคำนวณหา CSPF ของเครื่องปรับอากาศมีค่าลดลง เพราะเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกสูงทำให้อุณหภูมิและแรงดันของน้ำยาทำความเย็นเพิ่มสูงตามไปด้วยจนทำให้คอนเดนเซอร์ต้องทำงานหนักขึ้น และส่งผลต่ออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น

4.4 ผลการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (CSPF) ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียส

เนื่องจาก เมื่อใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เท่ากับชุดอุณหภูมิภายนอกตามค่าแนะนำนั้น พบว่าค่า CSPF มีค่าลดลง 2.28% แต่ในความเป็นจริงอุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จึงปรับช่วงอุณหภูมิภายนอกเป็น 20 – 40 องศาเซลเซียส โดยเริ่มต้นจากอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เริ่มต้องการความเย็นหรือเปิดใช้เครื่องปรับอากาศแล้ว ตามมาตรฐาน ISO 16358 – 1

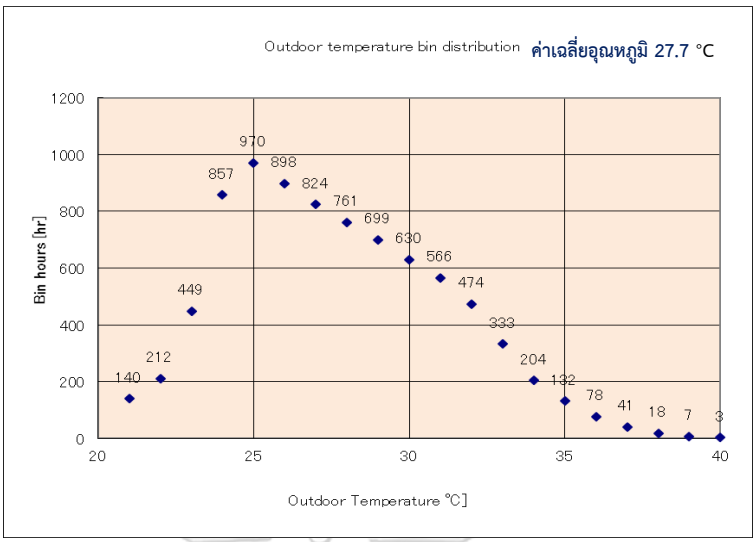
จึงจัดทำการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) โดยใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทยในช่วงอุณหภูมิ 20 – 40 องศาเซลเซียส พบจำนวนชั่วโมงที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 40 องศาเซลเซียส ทั้งหมดจำนวน 8,296 ชั่วโมง (ดังตารางที่ 4.11) โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27.7 ℃ การกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ (ดังรูปที่ 4.9)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.11 แสดงการกระจายชุดอุณหภูมิภายนอก (Outdoor Temperature Bin Distribution) ของสภาพภูมิอากาศประเทศไทย

Bin number	Outdoor Temperature	Bin hours (h)
j	°C	n_j
1	21	140
2	22	212
3	23	449
4	24	857
5	25	970
6	26	898
7	27	824
8	28	761
9	29	699
10	30	630
11	31	566
12	32	474
13	33	333
14	34	204
15	35	132
16	36	78
17	37	41
18	38	18
19	39	7
20	40	3
		8,296

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.9 แสดงการกระจายข้อมูลจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิตลอดทั้งปีตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ 20-40 องศาเซลเซียส

เมื่อนำมาคำนวณหาค่า CSPF ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดทำความเย็น 2,638 3,517 5,276 และ 7,034 วัตต์ พบว่าค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิภายนอก 20 – 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 4.377 4.004 4.003 และ 3.974 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่า CSPF ที่ใช้ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 องศาเซลเซียส ที่มีค่า CSPF เท่ากับ 4.403 4.028 4.027 3.998 ตามลำดับ (จากผลการทดลองข้อ 4.3) พบว่าค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิ 20 – 40 องศาเซลเซียส มีค่ามากกว่า ที่ใช้ชุดอุณหภูมิ 20 - 35 องศาเซลเซียส อยู่ร้อยละ 0.59 (ดังตารางที่ 4.17)

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียส

ขนาดทำความเย็น (วัตต์)	CSPF ที่ 20 – 35 องศาเซลเซียส	CSPF 20 – 40 องศาเซลเซียส	CSPF ที่เปลี่ยนไป (%)
2,638	4.403	4.377	-0.59
3,517	4.028	4.004	-0.59
5,276	4.027	4.003	-0.59
7,034	3.998	3.974	-0.59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การกระจายชุดอุณหภูมิภายนอกโดยใช้ชุดข้อมูลของสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยจาก 4 ภูมิภาค พบว่า การกระจายชุดอุณหภูมิภายนอกของสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยอยู่ในช่วงอุณหภูมิสูง (มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียส) ซึ่งสูงกว่า การกระจายชุดอุณหภูมิภายนอกของตามค่าแนะนำ (มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอยู่ที่ 26.1 องศาเซลเซียส) เนื่องด้วยอุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยมีช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าค่าแนะนำ อีกทั้งจำนวนชั่วโมงของอุณหภูมิที่สูงมีมากกว่า ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ทำงานหนักขึ้น จึงส่งผลให้ค่ามีประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (CSPF) ลดลง 2.28% อีกทั้ง เมื่อกำหนดช่วงอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยให้อยู่ในสภาวะที่ใช้งานจริงมากที่สุดคือ 20 – 40 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับ ช่วงอุณหภูมิภายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่อุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส พบว่าค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกที่ 20 – 40 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงอีก 0.59% หมายความว่า ค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาลของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่คำนวณค่า CSPF โดยใช้ชุดอุณหภูมิภายนอกตามค่าแนะนำมีค่าสูงกว่า เมื่อเทียบกับสภาพภูมิอากาศจริงของประเทศไทย รวมไปถึงช่วงอุณหภูมิที่ใช้ตามค่าแนะนำ (20 – 35 องศาเซลเซียส) ก็มีค่าสูงกว่าช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจริง (20 - 40 องศาเซลเซียส) เช่นกัน

ดังนั้น การกำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศโดยใช้ภูมิอากาศแต่ละประเทศนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่ง ไม่ควรใช้ค่าแนะนำ (Default) จากต่างประเทศมาใช้ได้โดยตรง เพราะภูมิอากาศแตกต่างกัน จำเป็นต้องพัฒนาขึ้นเอง ทดสอบ และสอบทานจนเห็นว่าตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ แต่การจะเปลี่ยนไปใช้การกำหนดค่าประสิทธภาพพลังงานแบบคำนึงถึงผลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนั้น ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของงาน หากเพื่อเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศสองรุ่น ก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยน แต่หากต้องการหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบปีของประเทศ เพื่อวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคต ก็มีความจำเป็นอย่างยิ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

หากมีการนำงานวิจัยฉบับนี้ไปศึกษาต่อ หรือ ต้องการหาค่าประสิทธิภาพที่แท้จริงของเครื่องปรับอากาศนั้น ควรจะได้ค่าทดสอบค่าขีดความสามารถทำความเย็นของเครื่องแบบครึ่งสมรรถนะ และพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบครึ่งสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้เลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ และเพื่อเป็นประโยชน์ในการเปรียบเทียบของแต่ละประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

ISO 16358-1 Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps – testing and calculating methods for seasonal performance factors – part 1: cooling seasonal performance factor International Standards Organization (2013)

ภาษาไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2560. ข้อกำหนดโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: labelno5egat.co.th/new58/wpcontent/uploads/2017/form/mn/air.pdf [24 พฤศจิกายน 2560]

กระทรวงพลังงาน. 2560. โครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน [ออนไลน์], แหล่งที่มา: www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/dede_web/download/dsm2016/dsm2_2.pdf [20 ธันวาคม 2560]

กฤษณะ ธรรมิกานนท์ และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร. 2556. การวิเคราะห์อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, 291-298

ชาติชาย พิสุทธิบริบูรณ์. 2551. การกำหนดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศโดยคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศ. สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย, 82-91.

ณรงค์ สังข์นัครา. 2554. การประยุกต์ใช้ระบบโอโซนกับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กเพื่อลดการใช้พลังงาน. สารนิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

ถวิกา ผาติดำรงกุล. 2555. ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บริษัท สยามไดกิ้นเซลส์ จำกัด. 2558. ระบบอินเวอร์เตอร์ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.daikin.co.th/service-knowledge/inverter/ [12 ธันวาคม 2560]

วีระชาติ มั่นสกุล และคณะ. 2552. การออกแบบห้องทดสอบและวิจัยสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

รายชื่อยี่ห้อเครื่องปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก แสดงรายชื่อยี่ห้อเครื่องปรับอากาศ

ตัวย่อ (รุ่น)		ยี่ห้อเครื่องปรับอากาศ
A	=	Amena
B	=	B.Grim
C	=	Central air
D	=	Daikin
E	=	Eminent
F	=	Focus
G	=	LG
H	=	Hitachi
I	=	Haier
J	=	Saijo Denki
K	=	Tasaki
L	=	Trane
M	=	Mitsubishi
N	=	Star aire
O	=	Uniaire
P	=	Panasonic
Q	=	Supreme
R	=	Carrier
S	=	Samsung
T	=	Toshiba
U	=	SHARP
V	=	Electrolux

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิของ 4 สถานีตรวจวัด และค่าเฉลี่ยของแต่ละสถานี ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิของสถานีตรวจวัดเชียงใหม่และค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ					
	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ค่าเฉลี่ย
10	-	3	-	-	8	2
11	5	9	5	-	17	7
12	14	19	19	-	31	17
13	26	34	27	6	53	29
14	18	53	57	14	48	38
15	35	72	102	66	73	70
16	78	73	116	95	70	86
17	114	89	161	114	106	117
18	155	121	195	157	127	151
19	176	162	212	210	182	188
20	186	179	224	273	203	213
21	220	289	242	294	234	256
22	337	441	347	356	244	345
23	634	605	574	497	452	552
24	955	967	818	752	859	870
25	1,049	974	993	883	1,055	991
26	941	840	880	851	831	869
27	688	743	668	740	731	714
28	680	619	604	619	658	636
29	610	543	647	586	601	597
30	571	491	494	529	559	529
31	449	403	442	484	410	438
32	333	309	321	441	373	355

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ					
	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ค่าเฉลี่ย
33	208	227	237	259	199	226
34	131	166	160	196	144	159
35	81	138	109	147	113	118
36	60	105	61	119	127	94
37	22	72	34	50	105	57
38	3	13	7	20	60	21
39	-	-	1	-	65	13
40	-	-	-	-	36	7
41	-	-	-	-	5	1
รวม	**8,779**	**8,756**	**8,757**	**8,758**	**8,771**	**8,764**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิของสถานีตรวจวัดอุบลราชธานีและค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ					
	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ค่าเฉลี่ย
10	-	-	-	2	-	0
11	-	-	-	1	3	1
12	-	-	-	3	4	1
13	-	16	17	15	6	11
14	-	42	37	19	32	26
15	2	47	40	44	24	31
16	19	54	84	78	57	58
17	34	70	110	97	88	80
18	57	115	127	85	97	96
19	95	119	158	98	134	121
20	126	186	182	151	170	163
21	163	206	212	164	227	194
22	194	275	339	311	238	271
23	414	452	493	461	382	440
24	771	757	843	878	727	795
25	893	1,002	1,062	945	1,004	981
26	1,015	867	893	887	902	913
27	834	828	748	808	726	789
28	862	703	626	620	706	703
29	719	659	523	541	716	632
30	688	593	532	497	677	597
31	678	547	482	523	564	559
32	536	437	424	458	410	453

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ					
	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ค่าเฉลี่ย
33	332	291	314	355	265	311
34	185	204	179	227	155	190
35	107	157	154	211	133	152
36	38	84	111	134	103	94
37	20	36	58	82	90	57
38	2	11	12	47	88	32
39	-	2	1	14	34	10
40	-	-	-	3	18	4
41	-	-	-	1	2	1
รวม	**8,784**	**8,760**	**8,761**	**8,758**	**8,782**	**8,769**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิของสถานีตรวจวัดกรุงเทพมหานคร และค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ					
	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ค่าเฉลี่ย
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	1	0
15	-	2	3	-	9	3
16	-	6	8	-	25	8
17	-	16	21	1	19	11
18	-	34	32	8	21	19
19	-	43	41	22	16	24
20	-	38	50	47	22	31
21	2	48	93	75	23	48
22	13	78	145	102	57	79
23	13	135	173	169	143	127
24	119	236	275	310	240	236
25	385	529	733	527	603	555
26	819	812	1,013	814	934	878
27	1,112	1,123	1,048	1,035	1,057	1,075
28	1,147	1,133	980	1,169	1,155	1,117
29	1,025	979	1,000	1,041	944	998
30	814	838	783	843	882	832
31	700	684	788	735	748	731
32	674	598	688	658	671	658

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ					
	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ค่าเฉลี่ย
33	541	512	393	564	498	502
34	360	391	248	369	286	331
35	249	266	177	175	189	211
36	133	146	61	65	136	108
37	35	76	6	28	72	43
38	25	29	1	2	29	17
39	11	8	-	-	3	4
40	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-
รวม	**8,177**	**8,760**	**8,760**	**8,759**	**8,783**	**8,648**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิของสถานีตรวจวัดสกลนครและค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ					
	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ค่าเฉลี่ย
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-
15	-	-	1	-	-	0
16	-	-	2	-	-	0
17	-	-	4	-	-	1
18	-	-	21	-	-	4
19	-	1	45	2	-	10
20	3	3	80	24	1	22
21	34	37	139	69	27	61
22	155	154	187	153	106	151
23	811	828	736	511	489	675
24	1,698	1,683	1,480	1,408	1,365	1,527
25	1,319	1,427	1,368	1,317	1,324	1,351
26	884	921	898	909	1,046	932
27	695	668	729	712	787	718
28	581	582	531	575	671	588
29	581	553	542	576	601	571
30	551	608	551	521	575	561
31	576	544	490	496	574	536
32	449	378	448	397	472	429
33	323	253	291	256	336	292

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ					
	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ค่าเฉลี่ย
34	103	89	178	105	212	137
35	18	24	35	37	113	45
36	3	7	3	13	54	16
37	-	-	-	2	27	6
38	-	-	-	-	3	1
39	-	-	-	-	1	0
40	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-
รวม	**8,784**	**8,760**	**8,759**	**8,083**	**8,784**	**8,634**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงจำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิของค่าเฉลี่ย 5 ปี ของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ				
	ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของสถานี เชียงใหม่	ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของสถานี อุบลราชธานี	ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของสถานี กรุงเทพมหานคร	ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของสถานี สกลนคร	ค่าเฉลี่ย 4 สถานี
10	2	0	-	-	1
11	7	1	-	-	2
12	17	1	-	-	5
13	29	11	-	-	10
14	38	26	0	-	16
15	70	31	3	0	26
16	86	58	8	0	38
17	117	80	11	1	52
18	151	96	19	4	68
19	188	121	24	10	86
20	213	163	31	22	107
21	256	194	48	61	140
22	345	271	79	151	212
23	552	440	127	675	449
24	870	795	236	1,527	857
25	991	981	555	1,351	970
26	869	913	878	932	898
27	714	789	1,075	718	824
28	636	703	1,117	588	761
29	597	632	998	571	699
30	529	597	832	561	630
31	438	559	731	536	566
32	355	453	658	429	474

อุณหภูมิ	จำนวนชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ				
	ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของสถานี เชียงใหม่	ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของสถานี อุบลราชธานี	ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของสถานี กรุงเทพมหานคร	ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของสถานี สกลนคร	ค่าเฉลี่ย 4 สถานี
33	226	311	502	292	333
34	159	190	331	137	204
35	118	152	211	45	132
36	94	94	108	16	78
37	57	57	43	6	41
38	21	32	17	1	18
39	13	10	4	0	7
40	7	4	-	-	3
41	1	1	-	-	0
รวม	**8,764**	**8,769**	**8,648**	**8,634**	**8,704**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

แสดงค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียส ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 3,517 5,276 และ 7,034 วัตต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.1 แสดงค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 2,638 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น outdoor unit	ค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะหรือ $Ø_{Full}$ (35) (W)	ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะหรือ P_{Full} (35) (W)	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 C	ความแตกต่าง CSPF (%)
C	CCS-IVG09R32	2,744	702	4.5	4.4	
D	RXZ09NV1S	2,490	430	6.6	6.6	
	RKM09NV2S	2,550	490	5.9	5.9	
E	AFG09V	2,696	780	3.9	3.9	
G	IK10R	2,696	770	4.0	4.0	
H	RAC-DX10CJT	2,714	659	4.7	4.7	
I	10000BTU	2,773	720	4.4	4.4	
J	CB09SURE32SW1	2,874	717	4.6	4.6	
K	CHDE09I-AD1	2,700	750	4.1	4.1	
L	TYKE09GB5	2,755	720	4.4	4.3	
M	MSY-GN09VF	2,700	690	4.5	4.4	
	MSY-JP09VF	2,600	920	3.2	3.2	**-0.59**
N	CE-095IV	2,755	710	4.4	4.4	
O	9000BTU	2,761	738	4.3	4.2	
P	CS-U9TKT	2,500	490	5.8	5.8	
	CS-KU9TKT	2,560	680	4.3	4.3	
Q	SWM 09 IVNT	2,744	702	4.5	4.4	
R	38TEVGB010-703	2,491	830	3.4	3.4	
	38TVGS010-703	2,795	770	4.1	4.1	
S	AR10NYSHBWKXST	2,491	780	3.6	3.6	
	AR10NYFXAWKXST	2,638	700	4.3	4.3	
T	RAS-10U2ACV2G-T	2,491	830	3.4	3.4	
	RAS-10PACVG-T	2,795	770	4.1	4.1	
ค่าเฉลี่ย				**4.403**	**4.377**	

ตารางที่ ค.2 แสดงค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 3,517 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น outdoor unit	ค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะหรือ $Ø_{Full}$ (35) (W)	ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะหรือ P_{Full} (35) (W)	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 C	ความแตกต่าง CSPF (%)
C	CCS-IVG13R32	3,690	1,036	4.1	4.0	
D	RXZ12NV1S	3,418	680	5.7	5.7	
	RKM12NV2S	3,488	810	4.9	4.9	
E	AFG12V	3,664	1,100	3.8	3.8	
G	IK10R	3,517	1,030	3.9	3.9	
H	RAC-DX13CJT	3,783	1,182	3.7	3.6	
I	13000BTU	3,664	1,100	3.8	3.8	
J	CB12SURE32SW1	3,625	1,037	4.0	4.0	
K	CHDE13I-AD1	3,600	1,000	4.1	4.1	
L	TYKE12GB5	3,693	1,040	4.1	4.0	
M	MSY-GN13VF	3,524	1,000	4.0	4.0	
	MSY-JP13VF	3,600	1,270	3.2	3.2	**-0.59**
N	CE-125IV	3,693	1,040	4.1	4.0	
O	12000BTU	3,589	1,020	4.0	4.0	
P	CS-U13TKT	3,517	850	4.7	4.7	
	CS-KU13TKT	3,605	950	4.3	4.3	
Q	SWM 12 IVNT	3,690	1,036	4.1	4.0	
R	38TEVGB013-703	3,488	1,200	3.3	3.3	
	38TVGS013-703	3,648	1,050	4.0	3.9	
S	AR13NYSHBWKXST	3,370	1,030	3.7	3.7	
	AR13NYFXAWKXST	3,517	1,065	3.8	3.8	
T	RAS-13U2ACV2G-T	3,488	1,200	3.3	3.3	
	RAS-13PACVG-T	3,648	1,050	4.0	3.9	
ค่าเฉลี่ย				**4.028**	**4.004**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.3 แสดงค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 5,276 วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น outdoor unit	ค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะหรือ $Ø_{Full}$ (35) (W)	ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะหรือ P_{Full} (35) (W)	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 C	ความแตกต่าง CSPF (%)
C	CCS-IVG18R32	5,307	1,496	4.1	4.0	
D	RXZ18NV1S	4,849	1,150	4.8	4.8	
	RKM18NV2S	5,188	1,240	4.8	4.8	
E	AFG18V	5,422	1,570	3.9	3.9	
G	IK18R	5,334	1,540	4.0	3.9	
H	RAC-DX18CJT	5,534	1,541	4.1	4.1	
I	18000BTU	5,376	1,515	4.1	4.1	
J	CB18SURE32SW1	5,385	1,521	4.0	4.0	
K	CHDE19I-AD1	5,300	1,490	4.1	4.0	
L	TYKE18GB5	5,334	1,500	4.1	4.0	
M	MSY-GN18VF	5,200	1,430	4.2	4.1	
	MSY-JP18VF	5,200	1,840	3.2	3.2	**-0.59**
N	CE-185IV	5,334	1,500	4.1	4.0	
O	18000BTU	5,186	1,506	3.9	3.9	
P	CS-U18TKT	5,305	1,260	4.8	4.8	
	CS-KU18TKT	5,290	1,440	4.2	4.2	
Q	SWM 18 IVXT	5,307	1,496	4.1	4.0	
R	38TEVGB018-703	4,982	1,660	3.4	3.4	
	38TVGS018-703	5,275	1,570	3.8	3.8	
S	AR18NYSHBWKXST	4,982	1,700	3.3	3.3	
	AR18NYFXAWKXST	5,275	1,370	4.4	4.4	
T	RAS-18U2ACV2G-T	4,982	1,660	3.4	3.4	
T	RAS-18PACVG-T	5,275	1,570	3.8	3.8	
ค่าเฉลี่ย				**4.027**	**4.003**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.4 แสดงค่า CSPF ที่ใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส เทียบกับ ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียสของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ขนาดทำความเย็น 7,034วัตต์

ยี่ห้อ	รุ่น outdoor unit	ค่าขีดความสามารถทำความเย็นแบบเต็มสมรรถนะหรือ $Ø_{Full}$ (35) (W)	ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าแบบเต็มสมรรถนะหรือ P_{Full} (35) (W)	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 35 C	ค่า CSPF คำนวณโดยใช้ค่าตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ที่ช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 C	ความแตกต่าง CSPF (%)
C	CCS-IVG24R32	7,050	1,940	4.2	4.1	-0.59
D	RKM28NV2S	7,093	2,000	4.1	4.0	
E	AFG24V	7,181	2,260	3.6	3.6	
G	IK24R	6,331	1,850	3.9	3.9	
H	RAC-DX24CJT	6,741	2,198	3.5	3.5	
I	24000BTU	7,362	2,400	3.5	3.5	
J	CB24SURE32SW1	7,481	2,052	4.2	4.1	
K	CHDE25I-AD1	7,100	1,972	4.1	4.1	
L	TYKE24GB5	7,063	1,944	4.2	4.1	
M	MSY-GN24VF	6,600	1,830	4.1	4.1	
	MSY-JP24VF	6,600	2,010	3.8	3.7	
N	CE-245IV	7,063	1,950	4.1	4.1	
O	24000BTU	7,155	1,951	4.2	4.2	
P	CS-U18TKT	6,008	1,500	4.6	4.5	
	CS-KU24TKT	6,040	1,700	4.1	4.0	
Q	SWM 24 IVXT	7,050	1,940	4.2	4.1	
R	38TVGS024-703	6,004	1,850	3.7	3.7	
S	AR24NYSHBWKXST	6,301	1,715	4.2	4.2	
	AR24NYFXAWKXST	6,301	1,730	4.2	4.1	
T	RAS-24PACVG-T	6,004	1,850	3.7	3.7	
ค่าเฉลี่ย				**3.998**	**3.974**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพัชราพรรณ การะเกต เกิดเมื่อวันที่ 14 เดือนกันยายน พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนศึกษานารี จังหวัดกรุงเทพมหานคร และระดับปริญญาตรีจากภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University