SEER บนฉลากใช่ค่าสมรรถนะจริงของเครื่องปรับอากาศหรือไม่

ชลากร เชาวนพานิช, พงษ์ศธร ระวาส, มกรา สาระชัย, วิชุดา เมตตานันท, ทสพล เขตเจนการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

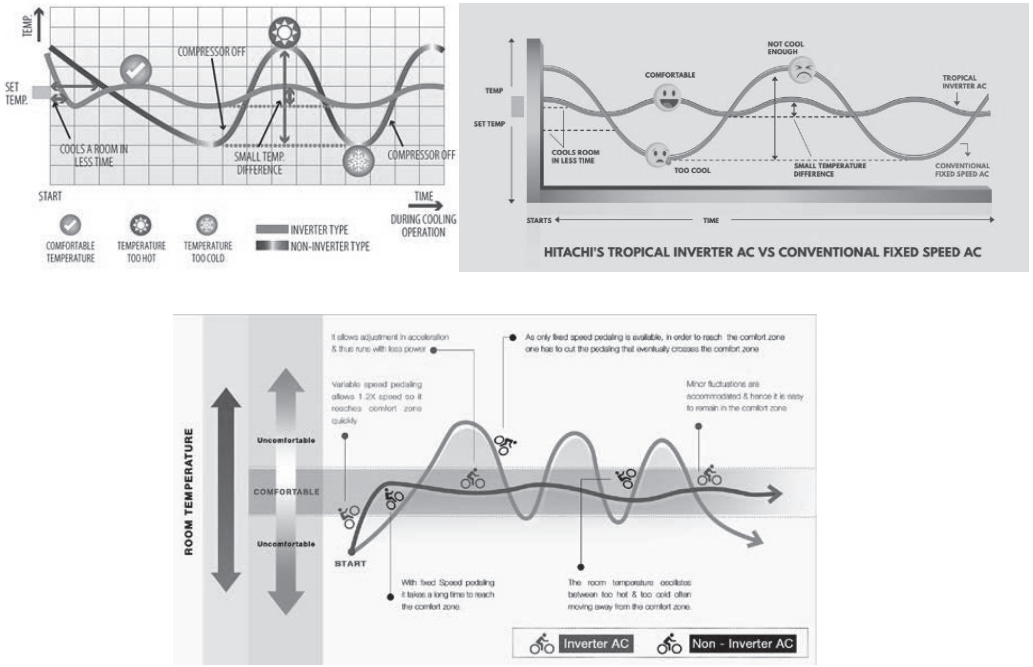
มหาวิทยาลัยศิลปากร

1. บทนำ

โลกมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องมาจากสภาวะเรือนกระจก [1] จึงทำให้เครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ต้องมีในทุกครัวเรือน โดยเครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้ในครัวเรือนนั้นเป็นเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน เนื่องจากมีขนาดเล็กและติดตั้งง่าย [2] ซึ่งเครื่องปรับอากาศประเภทแยกส่วนนั้นสามารถจำแนกประเภทออกไปได้อีกสองประเภทนั่นคือ เครื่องปรับอากาศแบบความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์คงที่ (Fixed speed) และเครื่องปรับอากาศแบบเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ตามภาระการทำความเย็นหรือแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) [3]

การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศจะต้องคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) ภายในห้อง เช่น ความร้อนผ่านกรอบอาคาร จำนวนคนในห้อง อุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ส่องสว่าง เป็นต้น ในการคำนวณภาระการทำความเย็นมักพิจารณาโดยใช้วันที่มีอุณหภูมิสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของปี แต่จะไม่ใช้วันที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากจะทำให้ได้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่เกินไป และเครื่องปรับอากาศจะทำงานที่ภาระไม่เต็มพิกัด (Part load) เป็นเวลาส่วนใหญ่ของปี ทำให้เครื่องปรับอากาศไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ และไม่เกิดการประหยัดพลังงาน อย่างไรก็ตาม การเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศไม่ว่าจะใช้สภาวะอากาศในวันใดก็ตาม ต้องเลือกให้มีขนาดใหญ่กว่าภาระการทำความเย็นเสมอ ดังนั้นจึงมีการเดินเครื่องที่ภาระไม่เต็มพิกัดอยู่ตลอดเวลา

การทำงานที่สภาวะภาระไม่เต็มพิกัดของเครื่องปรับอากาศทั่วไปที่เป็นแบบ Fixed speed ทำงานโดยการ ตัด-ต่อ คอมเพรสเซอร์ [4] โดยจะทำการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิควบคุมที่ได้ทำการตั้งเอาไว้ 1-2 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับประเภทของเทอร์โมสตัท และจะต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ 1-2 องศาเซลเซียส กรณีถ้าเครื่องปรับอากาศมีขนาดใหญ่กว่าภาระการทำความเย็นมาก จังหวะในการตัดคอมเพรสเซอร์ก็จะนาน ส่งผลให้คนที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศช่วงที่ตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์รู้สึกร้อนและอึดอัด ส่วนในช่วงที่ต่อคอมเพรสเซอร์ไปสักระยะก็จะมีความรู้สึกว่าเย็นเกินไป เป็นผลทำให้เกิดภาวะไม่สบายตัว



รูปที่ 1 ความแตกต่างของอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์และแบบความเร็วรอบคงที่ [9,10,11]

ส่วนการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ทำงานโดยการปรับรอบของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นซึ่งจะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงาน เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ใช้มีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็น ไม่ได้จ่ายกำลังไฟฟ้าเต็มกำลังตลอดเวลา รวมทั้งช่วยทำให้อุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศนิ่งกว่าเครื่องปรับอากาศแบบความเร็วรอบคงที่ คนที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศจึงรู้สึกสบายกว่า ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นข้อมูลประชาสัมพันธ์จากผู้ผลิตบางราย

การบอกค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะบอกด้วยค่าสมรรถนะการทำงาน (Coefficient of performance, COP) หรือค่า EER (Energy efficiency ratio) ซึ่งคำนวณจากอัตราการทำความเย็นที่ทำได้ หารด้วยกำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ ซึ่งค่าที่แนบมากับแคตตาล็อกหรือติดบนฉลากเครื่องปรับอากาศจะเป็นค่าที่ทดสอบที่สภาวะทดสอบมาตรฐานตามมาตรฐาน AHRI 2010/240 ที่ต้องควบคุมสภาวะการทดสอบไว้ที่ 35.0°CDB 23.8°CWB สำหรับฝั่งคอยล์เย็นและ 26.6°CDB 19.4°CWB สำหรับฝั่งคอยล์ร้อน [12] เช่น เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 จะมีค่า EER ≥ 14 (COP ≥ 4.10) [5] แต่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศทำงานในสภาวะการใช้งานจริงตลอดทั้งปี ซึ่งต่างไปจากสภาวะการทดสอบมาตรฐานมาก ในปัจจุบันจึงนิยมบอกประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศด้วยค่า EER เฉลี่ยทุกฤดูกาลตลอดทั้งปีที่เรียกว่า Seasonal Energy Efficiency Ratio หรือ SEER อย่างไรก็ตาม ค่า SEER ก็ใช้ค่าที่มาจากการคำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358-1: 2013 [6] ที่ใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบที่สภาวะการทดสอบมาตรฐานอยู่ดี รวมทั้งใช้ค่าสภาวะอากาศมาตรฐานในการคำนวณชุดเดียวเหมือนกันทั่วโลก เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างเครื่องปรับอากาศแต่ละยี่ห้อแต่ละรุ่นให้อยู่บนพื้นฐานเดียวกัน จึงเป็นที่น่าสนใจว่า

ค่า SEER ที่ผู้ผลิตรายงานในแคตตาล็อกนั้นจะใกล้เคียงหรือต่างจากค่า SEER ของเครื่องปรับอากาศในสภาวะการใช้งานจริงมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้แล้วจะสามารถใช้ค่า SEER ในการประมาณค่าปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งปีได้หรือไม่

งานวิจัยนี้ทำเพื่อจะทดสอบว่า SEER ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เครื่องหนึ่งที่ทางผู้ผลิตแจ้ง (ซึ่งคำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 ที่ใช้สภาวะอากาศ หรือ Temperature bin มาตรฐาน) กับ SEER ที่วัดจากการติดตั้งใช้งานจริงต่างกันเท่าใด โดยได้ทำการทดลองที่จังหวัดนครปฐมในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม 2561 รวมทั้งจะดูว่า หากทำการคำนวณ SEER ตามขั้นตอนในมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 แต่เปลี่ยนมาใช้สภาพอากาศที่สถานที่ติดตั้งจริงจะให้ค่าใกล้เคียงกับ SEER จากการใช้งานจริงหรือไม่

2. การคำนวณ SEER ตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013

ในการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยทุกฤดูกาลหรือ Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 จะทดสอบที่สภาวะอากาศภายในและภายนอกตามตารางที่ 1 โดยจะต้องมีการทดสอบหาค่าที่ระดับภาระ 2 ระดับ คือ เต็มพิกัด และครึ่งพิกัด

การคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ในมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 จะใช้สมมติฐานว่า ภาระการทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตามอุณหภูมิภายนอก โดยสมมติให้ ถ้าอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 20°C ภาระการทำความเย็นจะเป็น 0 และถ้าอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35°C ภาระการทำความเย็นจะมีค่าเท่ากับความสามารถในการทำความเย็นเต็มพิกัด (Full capacity) ที่อุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 35°C ดังแสดงในตารางที่ 2

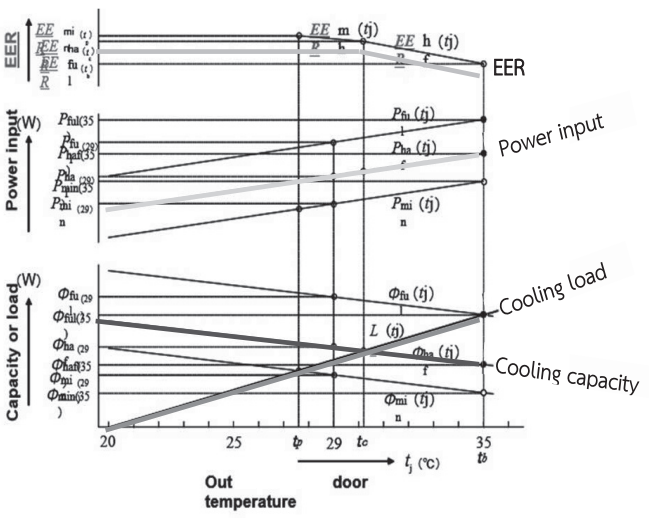
ตารางที่ 1 เงื่อนไขสภาวะทดสอบเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013

การทดสอบ	ค่าที่ใช้คำนวณ	Fixed	Variable	ค่าแก้
การทำความเย็นที่สภาวะปกติ อุณหภูมิภายใน	$Q_{ful}(35)$ $P_{ful}(35)$	●	●	
DB 27°C WB 19°C อุณหภูมิภายนอก DB 35°C WB 24°C	$Q_{haf}(35)$ $P_{haf}(35)$		●	$Q_{haf}(29)/1.077$ $P_{haf}(29)/0.914$
หมายเหตุ Q_{ful} = ความสามารถในการทำความเย็นเต็มพิกัด P_{ful} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้เต็มพิกัด Q_{hal} = ความสามารถในการทำความเย็นครึ่งพิกัด P_{half} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ครึ่งพิกัด				

ตารางที่ 2 ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 [6]

	ภาระการทำความเย็นเป็นศูนย์ (0)	**ภาระการทำความเย็น 100%**
ขีดความสามารถการทำความเย็น (kW)	0	$Q_{ful}(35)$
อุณหภูมิภายนอก (°C)	20	35

กรณีของขีดความสามารถในการทำความเย็น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศ (Power input) และค่าสมรรถนะการทำงาน (EER) ก็มีการสมมติว่ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นตามอุณหภูมิภายนอกด้วย คือ เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้น ขีดความสามารถการทำความเย็นจะลดลง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศจะเพิ่มขึ้น และสมรรถนะการทำงานจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ภาระการปรับอากาศ ความสามารถในการทำความเย็น กำลังไฟฟ้าและสมรรถนะ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ [6]

สภาวะอากาศที่ใช้ในการคำนวณในมาตรฐานหรือ Temperature bin เป็นจำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นของอุณหภูมิภายนอกแต่ละอุณหภูมิ ใน 1 ปี ซึ่งมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 กำหนดให้ใช้ค่าที่แสดงในตารางที่ 3 ในการคำนวณเหมือนกันทั่วโลก

ตารางที่ 3 Temperature bin ตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 [6]

อุณหภูมิ (t_j)	**จำนวนชั่วโมง (n_j)**
21	100
22	139
23	165
24	196
25	210
26	215
27	210
28	181
29	150
30	120
31	75
32	35
33	11
34	6
35	4
รวม	**1817**

ในมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 จะพิจารณาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องปรับอากาศไปทีละ Temperature bin โดยพิจารณาแยกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ภาระทำความเย็นน้อยกว่าขีดความสามารถการทำความเย็น (Cooling load < Cooling capacity) ซึ่งเป็นช่วงที่คอมเพรสเซอร์จะทำการลดรอบลง (ทำงาน

แบบ Part load และต้องคำนวณค่าสัดส่วนของเวลาที่คอมเพรสเซอร์ทำงานจริงหรือ Operating factor) โดยจะดูว่าเกิดขึ้นกี่ชั่วโมงใน 1 ปี และกรณีที่สอง คือ กรณีที่ภาระการทำความเย็นมากกว่าขีดความสามารถการทำความเย็น (Cooling load > Cooling capacity) ซึ่งคอมเพรสเซอร์จะทำงานแบบไม่ลดรอบเลยนั้นเกิดขึ้นกี่ชั่วโมงใน 1 ปี จากนั้นจะทำการคำนวณภาระการทำความเย็นรวมตลอดทั้งปี (CSTL) และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมตลอดทั้งปี (CSEC) จากทุก Temperature bin แล้วนำมาหารกันเป็นค่า SEER ซึ่งในมาตรฐานจะเรียกว่าค่า CSPF

$$\mathrm{CSPF} = \frac{\mathrm{CSTL}}{\mathrm{CSEC}} \qquad (1)$$

โดย

CSPF = ประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาลหรือค่า SEER (Cooling seasonal performance factor)

CSTL = ภาระการทำความเย็นรวมทั้งปี (Cooling seasonal total load)

CSEC = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งปี (Cooling seasonal energy consumption)

ค่า CSTL และ CSEC ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เป็นการอธิบายถึงภาระการทำความเย็นรวมกับพลังงานที่ใช้รวมตลอดทั้งปี ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3)

$$\mathrm{CSTL} = \sum_{j=1}^{j=P} L_c(t_j) \times n_j + \sum_{j=p+1}^{n} Q_{ful}(t_j) \times n_j \qquad (2)$$

2.1 วิธีการคำนวณค่า CSTL

2.1.1 กรณีที่ภาระการทำความเย็นต่ำกว่าความสามารถในการทำความเย็นหรือ $L_c(t_j) \leq Q_{ful}(t_j)$, $j = 1$ to p

พจน์ที่ 1 ของสมการที่ (2) เป็นการวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นใน Temperature bin ที่ภาระการทำความเย็นน้อยกว่าหรือเท่ากับขีดความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศจะตัด-ต่อเพื่อรับภาระเท่ากับภาระการปรับอากาศที่เกิดขึ้นจริง เราจะนำภาระการทำความเย็นคูณกับจำนวนชั่วโมง ได้ตามสมการที่ (2.1) ดังนั้นจะได้ ปริมาณการทำความเย็นหรือพลังงานความร้อนที่กำจัดออกไปได้สำหรับการทำงานในช่วง Part Load

$$L_c(t_j) \times n_j \qquad (2.1)$$

โดยที่ $L_c(t_j)$ คือ ภาระการทำความเย็น ณ อุณหภูมิภายนอก t_j หนึ่ง ๆ (W)

n_j คือ จำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นใน 1 ปีของอุณหภูมิภายนอกใน Bin ของ t_j หนึ่ง ๆ (hr)

2.1.2 กรณีที่ภาระการทำความเย็นสูงกว่าความสามารถในการทำความเย็นหรือ $L_c(t_j) > Q_{ful}(t_j)$, $j = m+1$ to n

พจน์ที่ 2 ของสมการที่ (2) เป็นการวิเคราะห์ใน Temperature bin ที่ภาระการปรับอากาศมากกว่าพิกัดความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศจะไม่มีการตัดการทำงานเลยและทำงานที่สภาวะเต็มพิกัดตลอดเวลา ดังนั้นเราจะนำค่าความสามารถการทำความเย็นเต็มพิกัดคูณกับจำนวนชั่วโมงการทำงานตามสมการที่ (2.2) เพื่อให้ได้ปริมาณการทำความเย็นสำหรับการทำงานในช่วง Full load

$$Q_{ful}(t_j) \times n_j \qquad (2.2)$$

โดยที่ $Q_{ful}(t_j)$ คือ ความสามารถการทำความเย็น ณ อุณหภูมิภายนอก t_j หนึ่ง ๆ (W)

n_j คือ จำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นใน 1 ปี ของอุณหภูมิภายนอกใน Bin ของ t_j หนึ่ง ๆ (hr)

2.2 วิธีการคำนวณค่า CSEC

$$CSEC = \sum_{j=1}^{k} \frac{X_{(t_j)} \times P_{haf}(t_j) \times n_j}{PLF(t_j)} + \sum_{j=p+1}^{m} P_{hf}(t_j) \times n_j + \sum_{j=m+1}^{n} P_{ful}(t_j) \times n_j \quad (3)$$

2.2.1 กรณีที่ภาระการทำความเย็นต่ำกว่าความสามารถในการทำความเย็นที่ครึ่งพิกัดหรือ $L_c(t_j) \le Q_{haf}(t_j)$, j =1 to p

พจน์ที่ 1 ของสมการที่ (3) เป็นการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อภาระการทำความเย็นน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของพิกัดความสามารถในการทำความเย็น ซึ่งเครื่องปรับอากาศจะทำงานแบบตัด-ต่อ โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3.1)

$$\frac{X_{(t_j)} \times P_{haf}(t_j) \times n_j}{PLF(t_j)} \quad (3.1)$$

โดยที่ $X(t_j)$ คือ อัตราส่วนการลดรอบของคอมเพรสเซอร์

$P_{haf}(t_j)$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ครึ่งกำลัง ณ อุณหภูมิภายนอกใน Bin ของ t_j หนึ่ง ๆ (W)

n_j คือ จำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นใน 1 ปี ของอุณหภูมิภายนอกใน Bin ของ t_j หนึ่ง ๆ (hr)

$PLF(t_j)$ คือ สัดส่วนภาระการทำงานเมื่อทำงานไม่เต็มพิกัด ณ อุณหภูมิภายนอกใน Bin ของ t_j หนึ่ง ๆ

โดยค่า $X(t_j)$ และ $PLF(t_j)$ สามารถหาได้จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) ตามลำดับ

$$X(t_j) = \frac{L_c(t_j)}{Q_{haf}(t_j)} \quad (3.2)$$

โดยที่ $L_c(t_j)$ คือ ภาระการทำความเย็น ณ อุณหภูมิภายนอก t_j หนึ่ง ๆ (W)

$Q_{haf}(t_j)$ คือ ความสามารถในการทำความเย็นที่ครึ่งพิกัด ณ อุณหภูมิภายนอกใน Bin ของ t_j หนึ่ง ๆ (W)

$$PLF(t_j) = 1 - 0.25(1 - X(t_j)) \quad (3.3)$$

2.2.2 กรณีที่ภาระการทำความเย็นอยู่ระหว่างครึ่งพิกัดและเต็มพิกัดหรือ $Q_{haf}(t_j) < L_c(t_j) \le Q_{ful}(t_j)$, j = p+1 to m

พจน์ที่ 2 ของสมการที่ (3) เป็นการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อภาระการทำความเย็นอยู่ระหว่างครึ่งพิกัดและเต็มพิกัด การคำนวณจะเริ่มจากการคำนวณค่า EER ในช่วงดังกล่าว ซึ่งสมมติให้ลดลงเป็นเชิงเส้นจากค่า EER ที่ครึ่งพิกัด ($EER_{hf}(t_j)$) ไปยังค่าเต็มพิกัด ($EER_{ful}(t_b)$) ตามสมการที่ (3.4)

$$EER_{hf}(t_j) = EER_{haf}(t_c) + \frac{EER_{ful}(t_b) + EER_{haf}(t_c)}{t_b - t_c} \times (t_j - t_c) \quad (3.4)$$

โดยที่ $EER_{hf}(t_j)$ คือ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ครึ่งถึงเต็มพิกัด ณ อุณหภูมิ t_j หนึ่ง ๆ (Btu/hr)

$EER_{haf}(t_c)$ คือ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ครึ่งพิกัด ณ อุณหภูมิ t_c (Btu/hr)

$EER_{ful}(t_b)$ คือ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่เต็มพิกัด ณ อุณหภูมิ t_b (Btu/hr)

t_b คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกที่ทำให้ภาระเท่ากับเต็มพิกัด (°C)

t_c คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกที่ทำให้ภาระเท่ากับครึ่งพิกัด (°C)

t_j คือ อุณหภูมิภายนอกใน Bin ของ t_j หนึ่ง ๆ (°C)

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่เต็มพิกัดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.5)

$$EER_{ful}(t_b) = \frac{Q_{ful}(t_b)}{P_{ful}(t_b)} \quad (3.5)$$

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ครึ่งพิกัดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.6)

$$EER_{haf}(t_c) = \frac{Q_{haf}(t_c)}{P_{haf}(t_c)} \quad (3.6)$$

โดยที่ $EER_{haf}(t_c)$ คือ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ครึ่งพิกัด ณ อุณหภูมิ t_c (Btu/hr)

$Q_{haf}(t_c)$ คือ ความสามารถในการทำความเย็นที่ครึ่งพิกัด ณ อุณหภูมิ t_c (W)

$P_{haf}(t_c)$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ครึ่งพิกัด ณ อุณหภูมิ t_c (W)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้เมื่อภาระการทำความเย็นอยู่ในช่วงระหว่างครึ่งพิกัดและเต็มพิกัด หาได้จากสมการที่ (3.7)

$$P_{hf}(t_j) = \frac{L_c(t_j)}{EER_{hf}(t_j)} \quad (3.7)$$

โดยที่ $P_{hf}(t_j)$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ครึ่งพิกัดถึงเต็มพิกัด ณ อุณหภูมิ t_j หนึ่ง ๆ (W)

$L_c(t_j)$ คือ ภาระการทำความเย็น ณ อุณหภูมิ t_j หนึ่ง ๆ (W)

$EER_{hf}(t_j)$ คือ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ครึ่งถึงเต็มพิกัด ณ อุณหภูมิ t_j หนึ่ง ๆ (Btu/hr)

2.2.3 กรณีที่ภาระการทำความเย็นมากกว่าพิกัด หรือ $L_c(t_j) > Q_{ful}(t_j)$, j = m+1 to n

พจน์ที่ 3 ของสมการที่ (3) เป็นการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อภาระการทำความเย็นมากกว่าค่าพิกัด ซึ่งเครื่องปรับอากาศจะใช้ไฟฟ้าเต็มที่ตลอดเวลา โดยสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเต็มกำลังได้จากสมการที่ (3.8)

$$P_{ful}(t_j) \times n_j \quad (3.8)$$

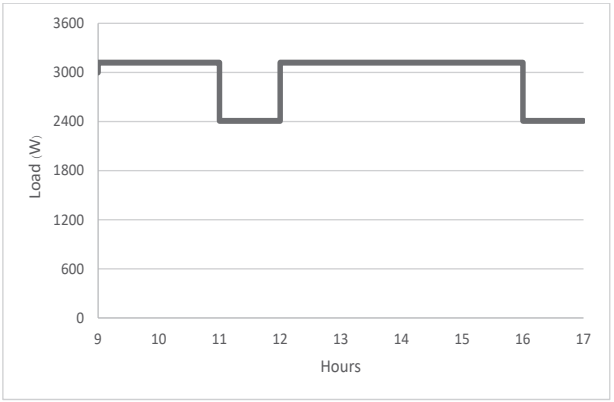
โดยที่ $P_{ful}(t_j)$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้เต็มกำลัง ณ อุณหภูมิ t_j หนึ่ง ๆ (W)

n_j คือ จำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นใน 1 ปี ของอุณหภูมิภายนอกใน Bin ของ t_j หนึ่ง ๆ (hr)

3. วิธีการดำเนินการ

การพิสูจน์วิธีประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ หรือ SEER จะพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง 3 กรณี คือ 1) ค่า SEER ที่มาจากทางผู้ผลิต ที่คำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 และใช้ Temperature bin มาตรฐาน 2) ค่า SEER จากการใช้งานจริง และ 3) ค่า SEER ที่คำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 แต่ใช้ Temperature bin ของจังหวัดนครปฐมซึ่งเป็นสถานที่ที่ติดตั้งใช้งานเครื่องปรับอากาศ

ในการทดสอบ SEER จากการใช้งาน ได้ทดลองโดยใช้งานเครื่องปรับอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน ในช่วงเวลา 09:00 น. ถึง 17:00 น. ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม 2561 โดยจะเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายและลมกลับ อัตราการไหลของลมจ่าย รวมถึงค่ากำลังไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหาค่า EER ส่วนค่า SEER จากการใช้งานจริงจะมาจากการนำค่า EER ในการทดลองมาเฉลี่ยกัน ในงานวิจัยได้มีการปรับภาระการทำงานตามช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงในสำนักงาน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบภาระการทำความเย็นที่แปรผันตามช่วงเวลาของวัน (Load profile)

4. ชุดทดสอบ

ชุดทดสอบประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ขนาด 9000 Btu/hr ห้องทดสอบขนาด 2.2 m x 2.5 m x 4 m โดยผนัง เพดาน และพื้นติดกับห้องปรับอากาศ มีเพียงผนังด้านทิศตะวันตกเพียงด้านเดียวที่เป็นผนังภายนอก (ประเมินว่ามีความร้อนเข้าในอัตรา 93.24 W/m^2) ภายในห้องทดสอบมีการติดตั้งภาระเทียมซึ่งประกอบด้วย หลอดไส้ 40 W จำนวน 2 หลอด หลอดไส้ 60 W จำนวน 2 หลอด และเครื่องทำความชื้น 1 เครื่อง ให้ความชื้นในอัตรา 130 g/hr โดยหลอดไฟและเครื่องทำความชื้นเปรียบเสมือนภาระปรับอากาศเทียมจากคน 2 คน รวมทั้งมีการใส่ภาระการทำงานจากหลอดฮาโลเจนอีก 3,000 W เพื่อเป็นตัวแทนภาระจากอุปกรณ์ต่าง ๆ

สถานที่ติดตั้งชุดสอบนั้นอยู่ที่ มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ชั้นที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จังหวัดนครปฐม

5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ค่า SEER ที่ต้องการศึกษาเปรียบเทียบทั้ง 3 กรณีมีค่าดังต่อไปนี้

1. ค่า SEER จากฉลากซึ่งมาจากการคำนวณตาม ISO 16358-1:2013 ซึ่งใช้ข้อมูลสภาพอากาศตามมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 15.66

2. ค่า EER จากการทดลองตลอดระยะเวลา 3 เดือน จำนวน 32 วัน แสดงดังตารางที่ 5 ค่า SEER จากการใช้งานจริงจะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของทุกวันซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.43

ตารางที่ 5 ค่า SEER จากการใช้งานจริง

Day	W_{Comp} (kW)	Q_L (kW)	COP	EER
1	0.60	1.81	3.02	10.30
2	0.60	2.55	4.25	14.50
3	0.64	2.00	3.13	10.68
4	0.60	2.03	3.38	11.52
5	0.60	2.09	3.48	11.86
6	0.60	2.12	3.54	12.07
7	0.60	2.02	3.37	11.50
8	0.60	2.05	3.41	11.64
9	0.64	2.36	3.68	12.56
10	0.60	2.10	3.49	11.91
11	0.60	2.22	3.71	12.64
12	0.60	2.29	3.81	13.01
13	0.60	2.25	3.76	12.82
14	0.60	2.26	3.76	12.84
15	0.60	2.24	3.73	12.72
16	0.60	2.36	3.93	13.42
17	0.60	2.45	4.08	13.93
18	0.60	2.00	3.34	11.39
19	0.60	2.02	3.37	11.49
20	0.60	2.22	3.71	12.65

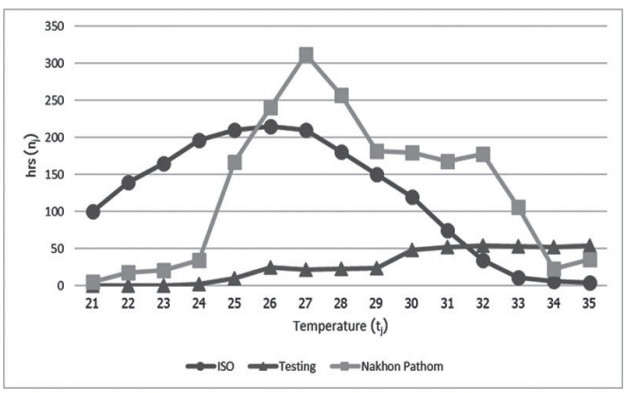
Day	W_{Comp} (kW)	Q_L (kW)	COP	EER
21	0.60	2.21	3.69	12.59
22	0.56	2.22	3.96	13.53
23	0.56	2.35	4.20	14.34
24	0.56	2.21	3.95	13.48
25	0.60	2.12	3.53	12.03
26	0.56	2.03	3.62	12.34
27	0.60	1.91	3.19	10.87
28	0.60	2.12	3.53	12.03
29	0.60	2.54	4.23	14.42
30	0.60	2.00	3.34	11.38
31	0.56	2.06	3.67	12.53
32	0.56	2.11	3.76	12.83
Average	0.60	2.17	3.64	12.43

3. ค่า SEER ที่คำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 แต่ใช้ Temperature bin ของจังหวัดนครปฐม ตามตารางที่ 6 แทน Temperature bin ที่ใช้ในมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 12.82

ตารางที่ 6 Temperature bin ของจังหวัดนครปฐม [7]

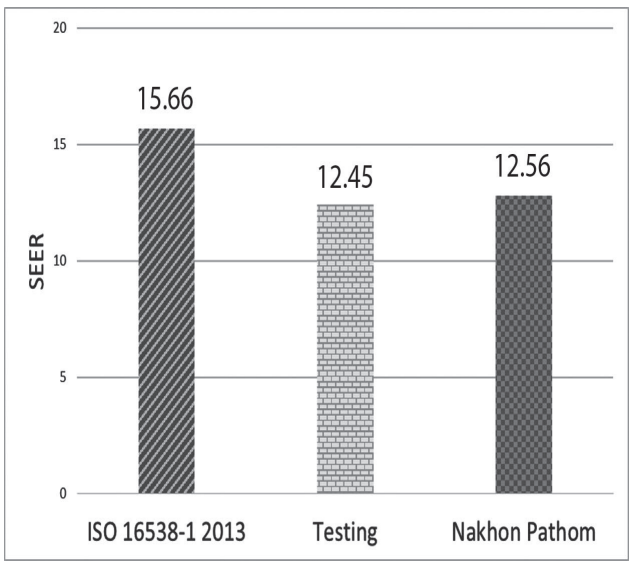
อุณหภูมิ(t_j)	จำนวนชั่วโมง (n_j)
21	5
22	18
23	21
24	35
25	167
26	240
27	312
28	257
29	182
30	180
31	168
32	178
33	106
34	23
35	36
รวม	**1928**

ค่า SEER ที่ติดมากับฉลากซึ่งทางผู้ผลิตคำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 ที่มีการใช้ชุดข้อมูลสภาพอากาศตามมาตรฐาน (Default temperature bin) มีค่า SEER เท่ากับ 15.66 ส่วนค่า SEER จากการทดสอบจริงที่มีการจำลองภาระใกล้เคียงสภาวะการใช้งานจริงค่าเท่ากับ 12.43 ซึ่งต่ำกว่าค่าจากผู้ผลิตอยู่ 20.62% ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแต่ก็มีความสมเหตุสมผล เพราะว่า จำนวนชั่วโมงที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงมีจำนวนมากกว่า Temperature bin ที่มาตรฐานใช้ตามที่แสดงในรูปที่ 4 ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักว่าและมีสมรรถนะต่ำกว่า



รูปที่ 4 จำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นของอุณหภูมิภายนอกจากข้อมูลอากาศที่ใช้ในการคำนวณค่า SEER ทั้ง 3 แบบ

ค่า SEER จากการคำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 แต่มีการเปลี่ยนมาใช้ชุดสภาพอากาศของจังหวัดนครปฐม มีค่าเท่ากับ 12.82 โดยมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการใช้งานจริงอยู่ 3.03% ซึ่งถือว่าใกล้เคียงมาก แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 มาใช้เพื่อประมาณค่า SEER จริงของเครื่องปรับอากาศได้โดยสามารถคำนวณตามขั้นตอนของมาตรฐานได้เลย เพียงแต่ต้องเปลี่ยนชุดข้อมูลสภาพอากาศให้เป็นชุดข้อมูลของสถานที่ที่นำเครื่องปรับอากาศไปติดตั้ง โดยในรูปที่ 5 จะแสดงการเปรียบเทียบ SEER ทั้ง 3 ค่า



รูปที่ 5 เปรียบเทียบ SEER 3 ค่า

ในภาพรวม การคำนวณค่า SEER ตามวิธีในมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 นั้น ทุกประเทศบนโลกจะใช้ข้อมูลอากาศชุดเดียวกัน ทำให้สามารถเปรียบเทียบกันได้ทั่วโลก แต่จะไม่ตรงกับค่า SEER เมื่อใช้งานจริง หากจะนำค่า SEER ไปประเมินหาสมรรถนะการใช้งานจริงจะต้องคำนวณตามมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 โดยใช้ Temperature bin ณ สถานที่ติดตั้งใช้งานจริงนั้นแทน ก็จะทำให้ได้ค่า SEER ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ เช่น ประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศที่นำไปติดตั้งในสถานที่ต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าค่า SEER นั้นสามารถคำนวณตามขั้นตอนที่ระบุในมาตรฐาน ISO 16358-1:2013 ที่ใช้หาค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศทั่วโลกได้ แต่ค่า SEER นั้นยังไม่สามารถถือว่าเป็นค่า SEER ที่สภาวะการใช้งานจริงได้ หรือไม่สามารถนำไปประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งปีได้อย่างแม่นยำนัก แต่ถ้าอยากได้ความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับค่าที่สภาวะการใช้งานจริงควรมีการเปลี่ยนชุดข้อมูลสภาพอากาศเป็นชุดข้อมูลที่สถานที่ที่ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น งานที่จะทำต่อไปจะเป็นการทดลองที่ทำการเก็บข้อมูลตลอดทั้งปีเพื่อให้ครอบคลุมสภาพอากาศทุกฤดูกาล

บรรณานุกรม

[1] ณัฐภพ นิ่มปิติวัน. (2010). ภาวะโลกร้อนกับสถานการณ์ด้านพลังงานของประเทศ. Executive Journal. 105 – 106

[2] กระทรวงพลังงาน. (2012). การพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ. 2-7

[3] Satya Prasad Mavuri. (2015). Field Behaviour of Inverter Air Conditioners Effect on Seasonal Performance. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management. 18

[4] กระทรวงพลังงาน. (2009). คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน. 1-2

[5] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2017). ข้อกำหนดโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5. 14

[6] ISO. (2013). 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 CSPF. 4 - 10

[7] Jarut Kunanoppadol. (2012). Development of the Typical Meteorplogical Data for Silpakorn University Sanam Chandra Palace Campus Zone

[8] กระทรวงพลังงาน. (2016). โครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในรูปแบบมาตรการอุดหนุนผลการประหยัดพลังงาน. 20-27

[9] URL: https://www.daikin.com.au, Accessed on 19/01/2017

[10] URL: https://www.godrejnxw-ac.com, Accessed on 02/02/2017

[11] URL: https://www.bijlibachao.com, Accessed on 03/02/2017

[12] AHRI. (2017). AHRI Standard 210/240 Performance Rating of Unitary Air-conditioning & Air-source Heat Pump Equipment