มาตรฐานประสิทธิภาพพัดลม (Fan Efficiency Standards)

นายสมเกียรติ จงสถาพรพงศ์
ผู้จัดการทั่วไป
บริษัท ครูเกอร์ เวนทิเลชั่น อินดัสทรีส์ (ไทยแลนด์) จำกัด
30/105 หมู่ที่ 1 นิคมอุตสาหกรรมสินสาคร ถนนเจษฎาวิถี ต.โคกขาม อ.เมืองสมุทรสาคร จ.สมุทรสาคร 74000
โทรศัพท์: 0-2105-0399 โทรสาร: 0-2105-0370
มือถือ: 08-1833-6672, 08-2726-6248 E-Mail: somkiat@kruger.co.th

บทนำ

ความรับผิดชอบและความตระหนักในการใช้พลังงาน และการจัดการในทุกระดับ มีความจำเป็นสำหรับการบรรลุเป้าหมายระยะยาวในการลดการใช้พลังงาน การปรับปรุงการออกแบบระบบ HVAC ให้ดีขึ้น และการเลือกใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูงจะลดการใช้พลังงานของอาคารพาณิชย์และอาคารอุตสาหกรรมได้อย่างมาก ขณะนี้ได้มีคำแนะนำการเลือกพัดลม โดยใช้ตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบ ซึ่งทำให้การเปรียบเทียบทำได้อย่างรวดเร็ว วิธีการคือระบุตำแหน่ง ประสิทธิภาพสูงสุด (Peak Total Efficiency) ของพัดลม และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด ลงบนเส้นโค้งประสิทธิภาพ (Fan Efficiency Grade: FEG) ตามมาตรฐาน AMCA 205 (Energy Efficiency Classification for Fans) ซึ่งมาจากการประเมินประสิทธิภาพของพัดลมบนพื้นฐานของคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic) พัดลมต้องมีประสิทธิภาพสูงและมีจุดทำงานที่เลือกใช้ใกล้กับ Peak Total Efficiency

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของพัดลม (Fan Energy Efficiency)

ระบบ HVAC โดยทั่วไปหมายรวมถึงพัดลม, ท่อลม (Ductwork), Coils, Filters, Dampers,

Diffusers และส่วนประกอบอื่น ๆ อากาศไหลผ่านอุปกรณ์เหล่านี้พบความต้านทานในรูปแบบของความดัน (Pressure) ซึ่งต้องเอาชนะโดยการเพิ่มพลังงานให้กับการไหล พลังงานนี้สอดคล้องกับความดันสถิตย์และความดันจลน์ (Static and Velocity Pressure) ความดันรวม (Total Pressure) เป็นผลรวมของความดันทั้งสองส่วนนี้ และถูกนำมาใช้คำนวณอัตราการใช้พลังงาน (Energy Consumption) เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามที่กำหนด คือ ความดันรวมคูณด้วยอัตราการไหลเรียกว่า กำลังทางอากาศ (Air Power)

หน่วย I-P (Imperial Units) Ho = Pt x Q / 6362

โดย

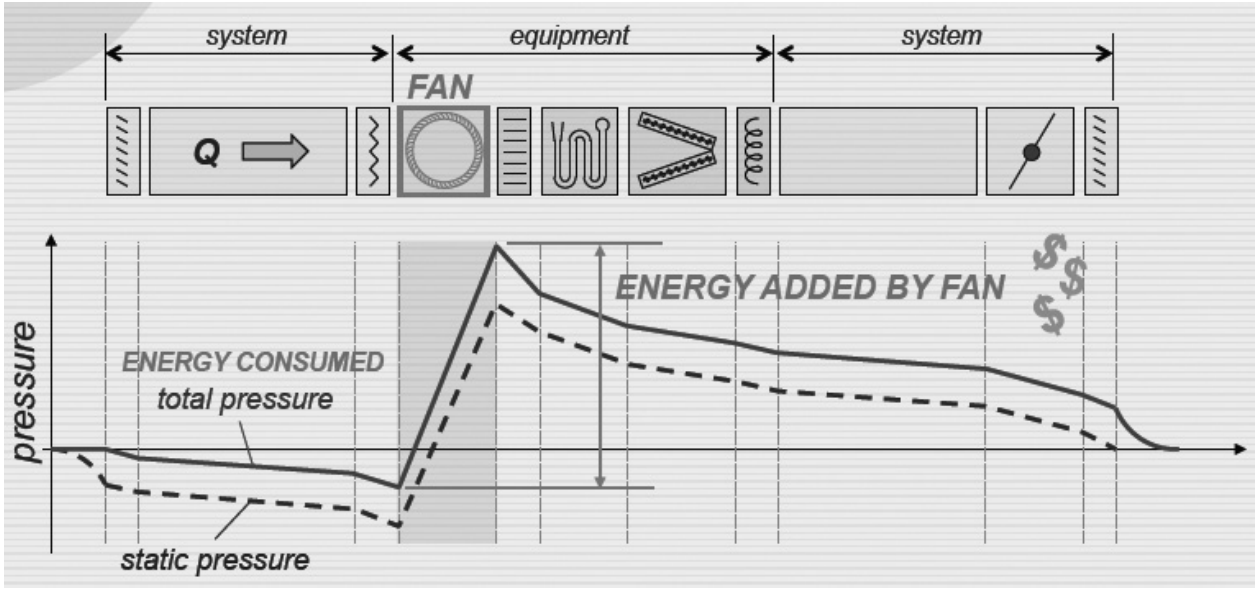
Ho = กำลังทางอากาศ (Air Power) หน่วย hp,

Pt = ความดันรวม (Total Pressure) หน่วย in-wg.

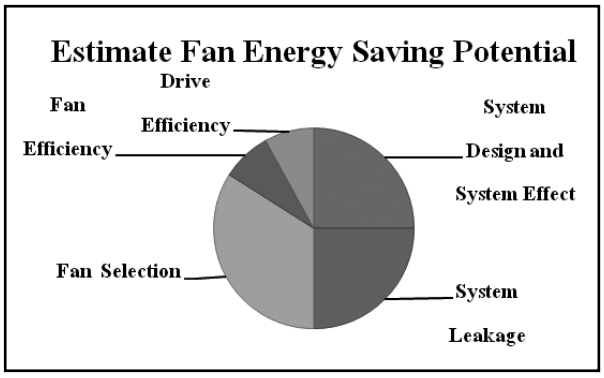
Q = อัตราการไหล (Flow Rate) หน่วย CFM.

ถึงแม้ว่า Air Power คือพลังงานที่ต้องใช้สำหรับพัดลม แต่สิ่งสำคัญคือ Air Power เป็นผลมาจากการออกแบบระบบยังไม่ได้ขึ้นอยู่กับการเลือกพัดลม เป้าหมายที่ชัดเจนในการลดการใช้พลังงานของระบบ HVAC คือการลดAir Power ที่ต้องการผ่านการออกแบบระบบอย่างถูกต้อง เหมาะสมตรงกับความต้องการของการใช้งาน ลดความดันของระบบและ / หรืออัตราการไหล ความรับผิดชอบส่วนนี้อยู่ที่ผู้ออกแบบงานระบบ (System Designer) เป็นขั้นตอนแรกในการลดการใช้พลังงาน

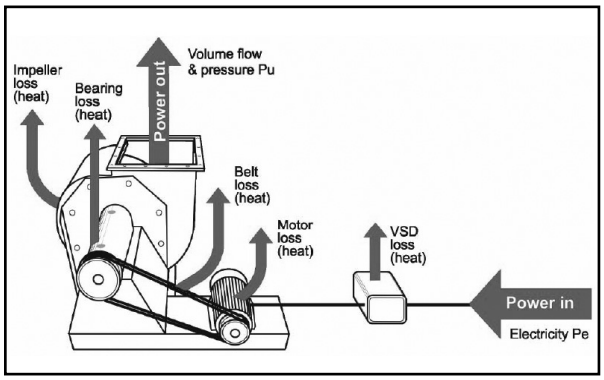
การระบุให้ใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นการลดการใช้พลังงาน แต่ก็ไม่เพียงพอ การออกแบบระบบระบายอากาศที่ไม่ถูกต้องโดยมีความดันสูง (High Total Pressure) ร่วมกับการใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้พลังงานสุทธิย่อมสูงกว่าการออกแบบระบบอย่างถูกต้องที่มีความดันต่ำร่วมกับการใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูงเหมือนกัน



รูปที่ 1 ระบบ HVAC Fan System



รูปที่ 2 ประมาณการศักยภาพการประหยัดพลังงานของพัดลม



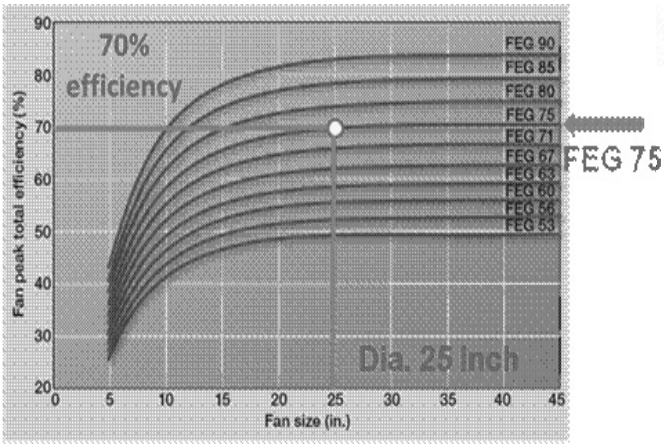
รูปที่ 3 แผนภาพแสดงการไหลของพลังงานผ่านระบบพัดลม

ประสิทธิภาพของพัดลม (Fan Efficiency)

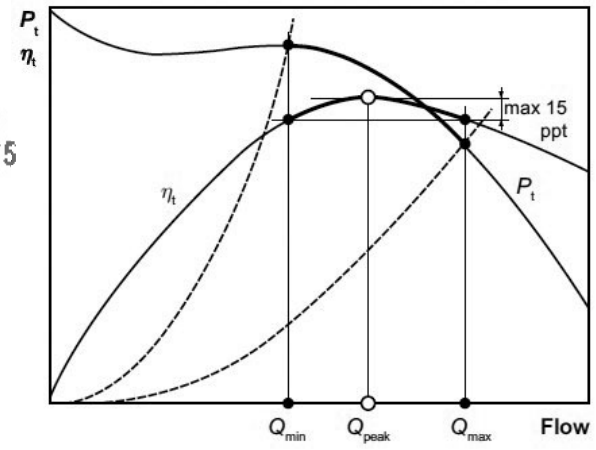
พัดลมทั่วไปประกอบด้วยระบบการควบคุม มอเตอร์, มอเตอร์, ชุดขับและพัดลม กำลัง (Power) ไหลผ่านส่วนประกอบต่างๆ และเกิดการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งของแต่ละส่วนประกอบ เป็นผลมาจากประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ไม่ดี (Inefficiencies) คืออัตราส่วนของกำลังที่ออกต่อกำลังที่เข้า (Output Power / Input Power) พัดลมใส่พลังงานไปในอากาศที่มีการไหลเวียน โดยการแปลงพลังงานกลที่เพลาพัดลม (Mechanical Shaft Power) ไปที่ Air power ที่ทางออกของพัดลม บางส่วนของพลังงานสูญเสียไป เนื่องจากการสูญเสียทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Losses) การสูญเสียทางกล (Mechanical Losses) เช่น ลูกปืน และการสูญเสียที่เกี่ยวกับเสียง (Acoustic Losses) ประสิทธิภาพรวมของพัดลม (Fan Total Efficiency) คือ อัตราส่วนของกำลังทางอากาศต่อกำลังที่เพลาพัดลม (Air Power / Fan Shaft Power)

Fan Total Efficiency ขึ้นอยู่กับตัวแปรจำนวนมาก รวมทั้งประเภทของพัดลม, อัตราการไหล, ความเร็วรอบและขนาดใบพัด พัดลมในระบบ HVAC มักได้รับการออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นชุด (Series) ที่มีหลายขนาด (Size) เพื่อตอบสนองต่อความต้องการอัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปพัดลมที่อยู่ใน Series เดียวกันจะมีรูปทรงทางเรขาคณิตที่คล้ายคลึงกัน โดยมีขนาดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดของพัดลม แต่เป็นที่รู้กันดีว่า พัดลมที่มีขนาดเล็กมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติในการผลิตมากกว่าพัดลมที่มีขนาดใหญ่ใน Series เดียวกัน เช่น Manufacturing Tolerances, Aerodynamic Effects และ Disproportionate Mechanical Losses

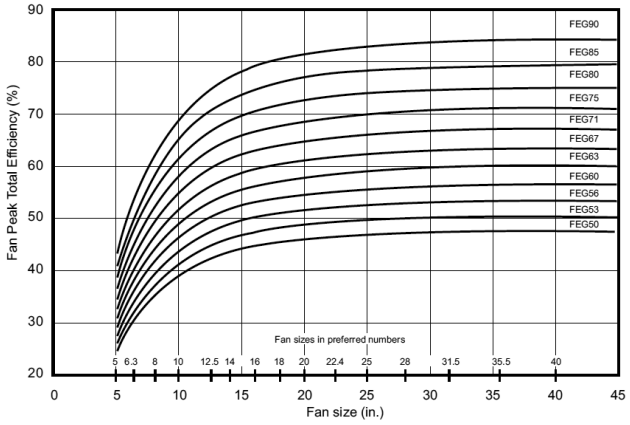
มาตรฐาน AMCA 205 ได้ให้คำจำกัดความ FEG: A fan efficiency grade (FEG) is a numerical rating that classifies fans by their aerodynamic ability to convert mechanical shaft power, or impeller power in the case of a direct driven fan, to air power. FEG สำหรับพัดลมให้คำนวณจาก Peak Total Efficiency และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด แสดงให้เห็นในรูปที่ 2 โดยการลากเส้นผ่าศูนย์กลางและ Peak Total Efficiency แล้วอ่านค่า FEG ที่จุดนี้ ตัวอย่างเช่น พัดลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 25 นิ้วและมี Peak Total Efficiency 70% จะมี FEG 75



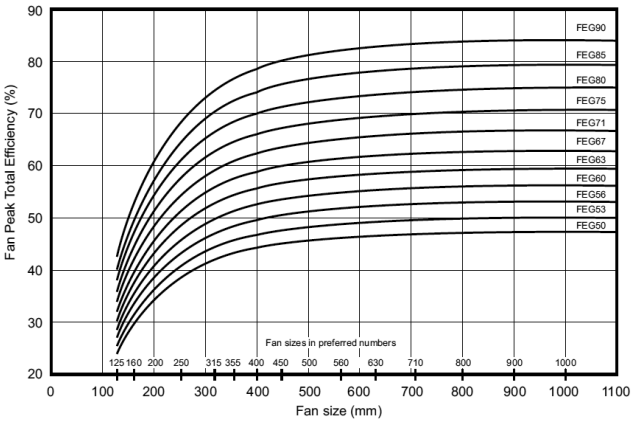
รูปที่ 4 Fan Efficiency Grade Curves ที่ใช้ในการแบ่งพัดลมตามประสิทธิภาพการใช้พลังงาน



รูปที่ 5 แผนภาพแสดง Fan Performance Curve ของพัดลมและช่วงอัตราการไหลสำหรับการเลือกพัดลม (15 Points)



รูปที่ 6 Fan Efficiency Grade Curves for fans without any drive components (I-P)



รูปที่ 7 Fan Efficiency Grade Curves for fans without any drive components (SI)

FEG นำไปใช้กับพัดลมโดยไม่รวมส่วนประกอบอื่นๆ (Without Any Drive Components) อาจมีการกำหนดค่า FEG ต่ำสุดที่ได้รับการยอมรับ อย่างไรก็ตาม การกำหนดส่วนนี้เพียงส่วนเดียวยังไม่อาจรับประกันว่า พัดลมจะถูกเลือกอย่างถูกต้อง เนื่องจากค่า FEG ขึ้นอยู่กับ Peak Total Efficiency ของ Fan Performance Curve ประสิทธิภาพจะลดลงทั้ง 2 ด้านข้างของจุดสูงสุดนี้ จึงต้องกำหนดช่วงของประสิทธิภาพที่ลดลงจาก Peak Total Efficiency ในการเลือกพัดลม มาตรฐาน AMCA205 กำหนดว่าการเลือกพัดลมต้องให้อยู่ในช่วง 15 Points จาก Peak Total Efficiency ความต้องการเพิ่มเติมนี้ช่วยสร้างความมั่นใจว่า จุดทำงานของพัดลมอยู่ในช่วงที่มีประสิทธิภาพสูง และควรให้ความสำคัญในส่วนของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operation Cost) และค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (Initial Cost) ประกอบการพิจารณาในการเลือกพัดลมด้วย

FAN SIZE (mm)	FAN CLASS	FAN SPEED (RPM)	SHAFT POWER (hp)	TOTAL EFF (%)	PEAK TOTAL EFF (%)	DIFF TOTAL EFF (%)	FEG	OPERATION COST (BAHT)	INITIAL COST (BAHT)
710	II	1587	39.88	61.3	81.0	19.7	85	325,763	153,900
800	II	1249	31.84	72.5	82.0	9.5	85	260,063	173,200
900	I	988	28.46	79.1	83.0	3.9	85	232,469	199,100
1000	I	826	26.97	82.5	83.0	0.5	85	220,314	214,500
1120	I	689	26.42	83.6	84.0	0.4	85	215,825	275,300

ตารางที่ 1. เลือกพัดลม Backward Curve Blade DIDW ที่อัตราการไหล 35,000 cfm @ 4 in-wg Total Pressure)

การเลือกพัดลม (Fan Selection)

การกำหนดค่า FEG ต่ำสุดสำหรับพัดลมตามการใช้งาน ค่าต่ำสุดเป็นตัวแทนระดับพื้นฐาน พัดลมที่มี FEG ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ไม่ได้รับการพิจารณา อย่างไรก็ตาม ไม่ควรนำค่า FEG เพียงตัวเดียวมาใช้แทนการใช้พลังงานในระหว่างขั้นตอนการเลือกพัดลม มีหลายสถานการณ์ที่พัดลมที่มีค่า FEG สูง แต่ใช้พลังงานมากกว่าพัดลมที่มีค่า FEG ต่ำ แม้พัดลมทั้งหมดใน Series เดียวกันอาจมีค่า FEG เดียวกัน แต่พลังงานที่ต้องการอาจแตกต่างกันตามขนาดต่างๆของพัดลม

ค่า FEG ขึ้นอยู่กับ Total Efficiency ซึ่งเป็นไปตาม Total Pressure ไม่ใช่ Static Efficiency ซึ่งขึ้นอยู่กับ Static Pressure สำหรับพัดลมที่มีการต่อท่อลม Velocity Pressure เป็นส่วนประกอบของ Total Pressure ในการเอาชนะความต้านทาน Total Efficiency จึงเป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมของประสิทธิภาพพัดลม Total Efficiency ที่สูงขึ้น จะส่งผลให้การใช้พลังงานลดลง ในทางตรงกันข้ามสำหรับพัดลมที่ไม่มีการต่อท่อลม เกิดการสูญเสีย Velocity Pressure ดังนั้นค่า FEG ที่สูงขึ้นอาจจะไม่ใช่หมายถึงการใช้พลังงานลดลง

ตัวอย่างที่ 1 พิจารณาพัดลม Backward Curve Blade DIDW ที่อัตราการไหล 35,000 CFM (59,500 CMH) ที่ 4 in-wg (1,016 Pa) Total Pressure ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าพัดลมทั้ง 5 รุ่นมี FEG 85 แต่มีพัดลมเพียง 4 รุ่นจาก 5 รุ่น (Fan Size 800-1120 Mm.) มี Total Efficiency ต่ำกว่า Peak Total Efficiency ไม่เกิน 15 Points

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operation Cost) คำนวณจากพัดลมทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน, 365 วันต่อปี โดยมีอัตราค่าไฟฟ้า 2.5 บาท ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง พัดลมขนาด 1000 mm. เปรียบเทียบกับพัดลมขนาด 800 mm. มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (Initial Cost) มากกว่า แต่ถ้าพิจารณาเลือกใช้พัดลมขนาด 1000 mm. ที่มี Operation Cost ต่ำกว่า

FAN SIZE (mm)	FAN CLASS	SHAFT POWER (hp)	TOTAL EFF (%)	STATIC EFF (%)	FEG	OPERATION COST (BAHT)	INITIAL COST (BAHT)
1000	I	3.46	55.0	23.0	63	28,251	81,700
1120	I	2.94	51.0	27.0	63	23,981	86,700
1250	I	2.57	48.0	31.0	63	21,024	93,300

ตารางที่ 2. เลือกพัดลม Propeller Wall Mounted ที่อัตราการไหล 20,000 CFM @ 0.25 in-wg Static Pressure

ระยะเวลาคืนทุนคือ (214,500-173,200)/(260,063-220,314) = 1.04 ปี

ตัวอย่างที่ 2 พิจารณาพัดลม Propeller Fan Wall Mounted ที่อัตราการไหล 20,000 CFM (34,000 CMH) ที่ 0.25 in-wg (64 Pa) Static Pressure ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าพัดลมทั้ง 3 รุ่นมี FEG 63

สำหรับพัดลมที่ไม่ต่อท่อลมที่ทางออก Total Efficiency และ Static Efficiency ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบ พัดลมขนาด 1000 mm. ต้องการ Fan Shaft Power มากกว่า 1.35 เท่า ของพัดลมที่มีขนาดใหญ่กว่าคือ 1250 mm. ในขณะที่ Total Efficiency มีค่าสูงกว่า ค่า Total Efficiency ที่สูงส่วนหนึ่งมาจาก Velocity Pressure ที่สูงซึ่งเป็นส่วนที่สูญเสีย ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่า Total Efficiency และค่า FEG ไม่ใช่ตัวบ่งชี้ที่ดีของการใช้พลังงานเสมอไป จำเป็นต้องใช้ Fan Shaft Power ร่วมด้วย พิจารณาเปรียบเทียบพัดลมขนาด 1250 mm กับพัดลมขนาด 1000 mm ทางด้าน Operation Cost และ Initial Cost

ระยะเวลาคืนทุนคือ (93,300-81,700)/(28,251-21,024) = 1.61 ปี

นอกจากนี้การเลือกขนาดของพัดลมต้องเหมาะสม ตามความต้องการของการออกแบบที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น การลดการใช้พลังงานด้วย VAV (Variable Air Volume) เป็นระบบที่พัดลมมีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ พัดลมที่เลือกต้องมั่นใจว่า การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเงื่อนไขของการปรับอัตราการไหล โดยต้องใช้การพิจารณาของตารางเวลาการดำเนินงานของพัดลม ทำการตรวจสอบการใช้พลังงานสุทธิที่จุดทำงานแต่ละจุดแต่ละช่วงเวลา ในบางกรณี อาจมีการเลือกขนาดพัดลมที่เล็กลงหรือใหญ่ขึ้นกว่าการเลือกพัดลมที่มีจุดทำงานเพียงจุดเดียวและดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง

สรุป

การใช้พลังงานของระบบ HVAC ทั่วโลกต่างให้ความสนใจ การบรรลุเป้าหมายลดการใช้พลังงานในระบบ HVAC สามารถประสบความสำเร็จในหลายระดับ การออกแบบที่มีค่า Total Pressure ต่ำสุดตามความต้องการอัตราการไหลที่กำหนดเป็นลำดับความสำคัญแรก การเลือกพัดลมที่ถูกต้อง, การติดตั้งที่ไม่ทำให้เกิด System Effect และ System Leakage เป็นลำดับความสำคัญถัดไป FEG ไม่ได้หมายถึงประสิทธิภาพของพัดลม เป็นการจัดหมวดหมู่ที่แสดงถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพื่ออำนวยความสะดวกในการกำกับดูแลสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวกับมาตรฐานทางด้านพลังงาน FEG เป็นค่าที่อาจเป็นไปได้ว่าพัดลมจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อมาถึงขั้นตอนการเลือกพัดลม FEG ไม่ได้เป็นตัวบ่งชี้การใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริง การใช้พลังงานเป็นผลมาจากประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นที่จุดทำงาน ไม่ใช่ที่จุด Peak Total Efficiency ดังนั้นค่าหนึ่งที่ควรพิจารณาร่วมกับ FEG คือ Fan shaft power

เอกสารอ้างอิง

(1) AMCA 205-12 Energy Efficiency Classification for Fans

(2) Annual Energy Review. DOE/EIA-0384. U.S. Energy Information Administration. 2009.

(3) Westphalen, D., and S. Koszalinski. Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HVAC Systems, Vol. II: Thermal Distribution, Auxiliary Equipment, and Ventilation. DOE/BTX. October 1999.

(4) ASHRAE/ANSI/IESNA Standard 90.1: Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE. Atlanta, 2007.

(5) Brooks, J., J. Cermak, and J. Murphy. Fan Industry Meeting Energy Challenges. AMCA Inmotion Spring 2009.