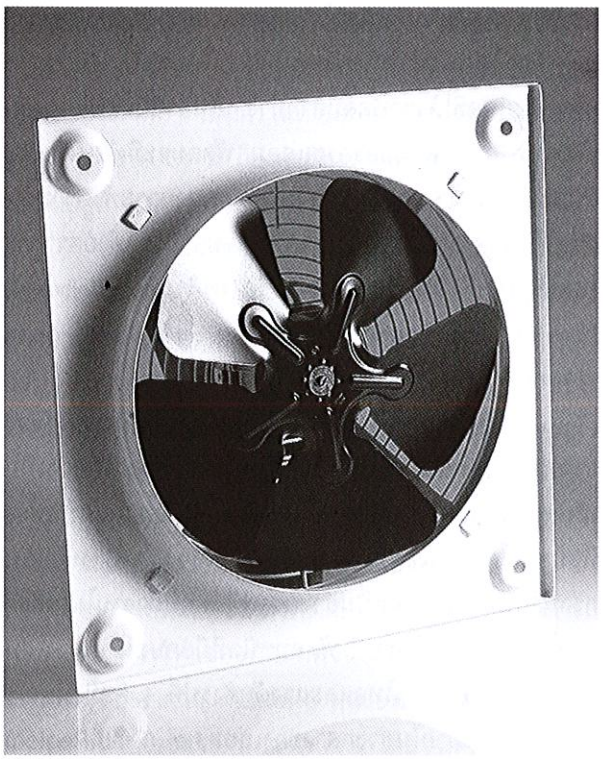
รู้และเข้าใจ กราฟ แสดงสมรรถนะของ พัดลม

● *นิรัญ ชยางศุ - กรรมการผู้จัดการ*
บริษัท ชัยมิตร เอ็นจิเนียริ่ง อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด



บทนำ

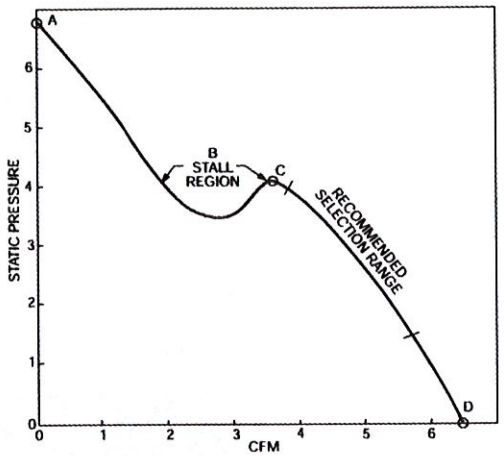
บทความนี้ ถือเป็นปฐมบทหนึ่งของผู้ที่เกี่ยวข้องหรือสนใจในระบบส่งลมของงานปรับอากาศและระบายอากาศ ซึ่งผู้เขียนพบว่าเป็นพื้นฐานที่สำคัญมากที่จะช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจการทำงานของระบบส่งลม ซึ่งก็คือความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของตัวส่งลม (พัดลม) และระบบท่อส่งลม และยังเป็นพื้นฐานสำหรับใช้วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาในระบบส่งลม ที่บ่อยครั้งระบบที่ได้ออกแบบไว้ไม่สามารถส่งลมได้ตามต้องการ ทั้งส่งลมน้อยเกินไปหรือมากเกินความจำเป็น โดยผู้เขียนขอใช้กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมชนิดใบพัดแฉก (Axial Fan) และพัดลมชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Centrifugal Fan) เป็นตัวอย่างประกอบการอธิบายตลอดบทความนี้

กราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดัน (Pressure Volume Curve)

คุณลักษณะสำคัญที่น่าสนใจมากที่สุดคุณลักษณะหนึ่งของพัดลม หรือระบบส่งลม คือการเปลี่ยนจุดทำงานของพัดลมหรือระบบส่งลมที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในระบบอาทิ การเปลี่ยนแปลงของความดันสถิตของพัดลม (หรือความดันสูญเสียของระบบ) อัตราการไหลรอบหมุนของพัดลม เป็นต้น โดยทั่วไป คุณลักษณะของพัดลมมักถูกนำเสนออยู่ในรูปของกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดัน (Pressure Volume Curve) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกันของความดันกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบหมุนคงที่หนึ่งๆ จะว่าไปแล้ว ก็คล้ายๆกับกราฟแสดงลักษณะระบบ (System Curve) ของระบบท่อส่งลม ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันของความดันสูญเสีย กับอัตราการไหลของระบบท่อส่งลมนั้นๆ

ความดันที่ใช้แสดงในกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลม อาจแสดงอยู่ในรูปความดันรวม (Total Pressure) หรือ ความดันสถิต (Static Pressure) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตพัดลมแต่ละราย แต่ในบทความนี้ขออ้างอิงตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งผู้เขียนและวิศวกรออกแบบในประเทศไทยหลายท่านใช้อ้างอิงอยู่ มักนิยมแสดงอยู่ในรูปของความดันสถิต ส่วนอัตราการไหล มักนิยมใช้หน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM) ดังนั้น ข้อกำหนดของพัดลมที่ผู้ออกแบบหรือผู้ใช้งานแจ้งต่อผู้ผลิตหรือจำหน่ายที่พบบ่อย จึงมักบอกเป็นค่าความดันสถิต (SP) และค่าอัตราการไหล (CFM) ที่ต้องการ

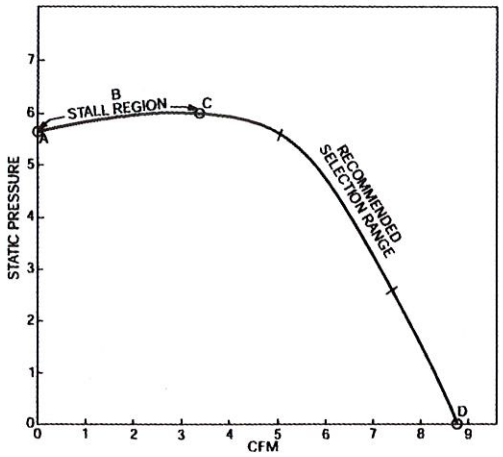
ผู้ผลิตพัดลมสามารถสร้างกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลมที่ผลิตขึ้นได้ โดยทำการทดสอบพัดลมกับห้องทดสอบหรือท่อลมทดสอบที่เป็นไปตามมาตรฐานสากลอาทิ Air Movement and Control Association International (AMCA) Standard 210 ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบ ผู้ผลิตสามารถนำมาวาดเป็นกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดัน (Pressure Volume Curve) ของพัดลม ณ ความเร็วรอบคงที่หนึ่งๆ ได้ ตั้งแต่สภาวะที่ไม่มีอัตราการไหล (พัดลมถูกปิดปากด้านลมจ่าย) จนถึงสภาวะที่พัดลมสามารถส่งลมหรือมีอัตราการไหลสูงสุด



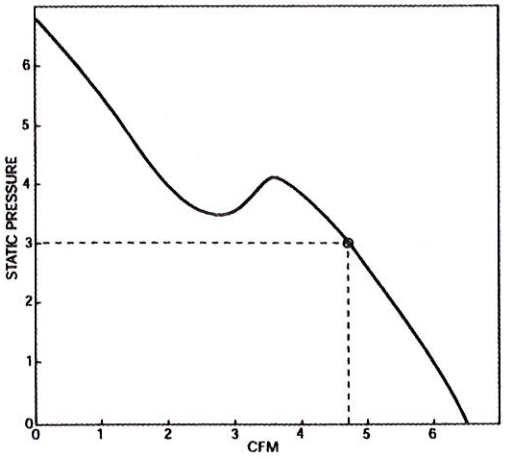
รูปที่ 1 ตัวอย่างกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลมชนิดใบพัดแฉกแบบ Vaneaxial

รูปที่ 1 เป็นตัวอย่างกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลมชนิดใบพัดแฉกแบบ Vaneaxial ซึ่งเราอาจเคยได้ยินบางคนอาจเรียกกราฟนี้ว่า กราฟแสดงความดันสถิต (Static Pressure Curve) ก็ขอให้เข้าใจว่าเป็นกราฟเดียวกัน จากรูปจะพบว่าจุด A คือจุดที่พัดลมมีอัตราการไหลเป็นศูนย์ ซึ่งจุดนี้มีหลายคนเรียกชื่อต่างๆ กันไปเช่น “จุด block off”, “จุด shut off”, “จุด no flow” หรือ “จุด static no delivery” ส่วน B แสดงถึงย่านที่พัดลมไม่เสถียรที่เรียกว่า “Stall Region” ซึ่งผู้เขียนไม่แนะนำให้ใช้พัดลมทำงานในย่านนี้ เนื่องจากอัตราการไหลที่ได้จากพัดลมหากทำงานในย่านนี้จะไม่แน่นอน เกิดอากาศกระเพื่อมของกระแสลม พัดลมจะมีเสียงดังและสั่นสะเทือนมาก จุด C เป็นจุดที่พัดลมสามารถทำความดันสถิตได้สูงสุด ส่วนจุด D เป็นจุดที่พัดลมสามารถทำอัตราการไหลได้สูงสุดซึ่งมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ อาทิ “free delivery”, “free air”, wide open performance” และ “wide open volume”

เส้นกราฟช่วง C-D ซึ่งเป็นเส้นกราฟด้านขวาของกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลม ถือว่าเป็นเส้นกราฟที่แสดงช่วงทำงานที่เสถียรของพัดลมและเป็นช่วงที่แนะนำให้เลือกใช้งาน ส่วนเส้นกราฟช่วง A-C หรือเส้นกราฟด้านซ้ายมือ ถือเป็นช่วงกราฟที่พัดลมทำงานไม่เสถียรและไม่แนะนำให้ใช้งาน พัดลมชนิดที่มีลักษณะรูปร่างเส้นกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันดังรูปที่ 1 คือมีลักษณะปุ่มหรือโค้งลงมากในช่วงกลางของเส้นกราฟ (Stall Region) นอกจากพัดลมชนิดใบพัดแฉกแบบ Vaneaxial ดังตัวอย่างแล้ว พัดลมชนิดใบพัดแฉกอื่นๆที่มีมุมใบมากๆ และพัดลม



รูปที่ 2 *ตัวอย่างกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลมชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์แบบใบ Backward Inclined*



รูปที่ 3 *แสดงตัวอย่างการใช้งานกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดัน*

ชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์แบบใบโค้งหน้า (Forward Curved Centrifugal Fans) ก็มีลักษณะรูปร่างเส้นกราฟเป็นแบบนี้เช่นกัน

หากเปรียบเทียบรูปที่ 1 กับรูปที่ 2 ซึ่งเป็นตัวอย่างกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลมชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์แบบใบเอียงหลัง (Backward Inclined Centrifugal Fans) หรือชนิดใบชี้ตามแนวรัศมี (Radial Blade Centrifugal Fans) จะพบว่าเส้นกราฟย่าน B (หรือ A-C ดังรูป) จะไม่มีลักษณะบุ่มลงมากแบบที่เห็นได้ชัดเหมือนในรูปที่ 1 ของพัดลมชนิดใบพัดแฉกและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์แบบใบโค้งหน้า อย่างไรก็ตามเส้นกราฟด้านซ้ายมือจากจุดที่มีความดันสูงสุด (ช่วง A-C) นี้ ก็ยังคงเป็นย่านทำงานที่ไม่เสถียรของพัดลมอยู่ดี จึงควรหลีกเลี่ยงการเลือกใช้งานในย่านนี้

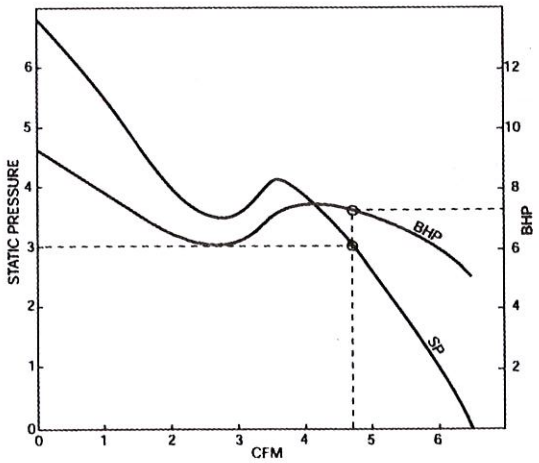
จากกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลม เราสามารถหาค่าอัตราการไหลที่พัดลมตัวหนึ่งๆ สามารถส่งออกมาได้หากเราทราบค่าความดันสถิตของพัดลม ในทำนองกลับกัน เราก็สามารถหาความดันสถิตที่พัดลมตัวนั้นๆ สร้างขึ้นเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานจากระบบท่อส่งลมที่พัดลมตัวนั้นต่ออยู่ได้ หากเราทราบอัตราการไหล

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการอ่านค่าอัตราการไหลจากเส้นกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลม เช่น ถ้าทราบค่าความดันสถิตว่ามีค่าเท่ากับ 3 หน่วย ก็จะสามารถหาค่าอัตราการไหลของพัดลมตัวนี้ได้โดยการลากเส้นตามแนวนอนจากค่าความดันสถิต 3 หน่วยไปชนเส้นกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดัน ณ จุดตัดนี้ ให้ลากเส้นตามแนวดิ่งลงมาจนตัดกับแกนอัตราการไหล จากรูปอัตราการไหลของพัดลมตัวนี้จะอยู่ที่ประมาณ 4.7 หน่วย เป็นต้น

กราฟแสดงแรงม้าเบรค (Brake Hosepower Curve)

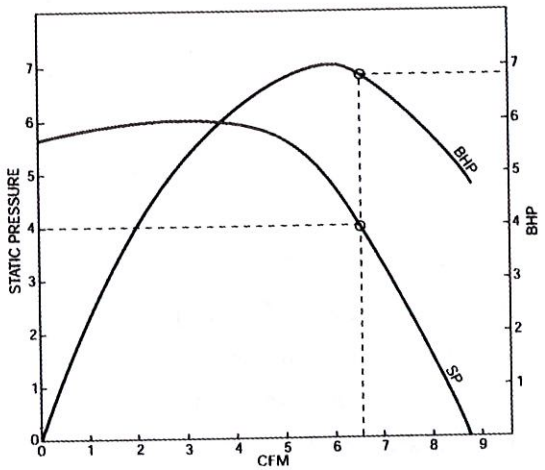
หากเราวาดเส้นกราฟแสดงแรงม้าเบรก (BHP) ของพัดลม คู่กับเส้นกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดัน ดังรูปที่ 4 เราจะเรียกเส้นกราฟทั้ง 2 เส้นนี้รวมกันว่าเป็น "กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลม (Fan Performance Curve)"

จากรูปที่ 4 ซึ่งเป็นกราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมชนิดใบพัดแฉกและเป็นพัดลมตัวเดียวกับรูปที่ 3 เราสามารถหาค่าแรงม้าเบรกที่พัดลมต้องการได้โดยการลากเส้นตามแนวตั้งต่อจากเดิมขึ้นไปจนตัดกับเส้นกราฟแสดงแรงม้าเบรก แล้วลากเส้นจากจุดตัดตามแนวนอนไปยังแกน BHP ก็จะสามารถอ่านค่าแรงม้าเบรกที่พัดลมตัวนี้ต้องการขณะให้อัตราการไหล 4.7 หน่วยได้ประมาณ 7.3 หน่วย



รูปที่ 4 *ตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของพัดลม (SP/Horsepower Curve)*

ในการอ่านค่าแรงม้าเบรกของพัดลมเป็นชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์แบบใบเฉียงหลัง ซึ่งถึงแม้เส้นกราฟแสดงสมรรถนะของพัดลม จะมีรูปร่างไม่เหมือนกับตัวอย่างในรูปที่ 4 แต่ก็ใช้วิธีการอ่านเหมือนกัน เช่น เมื่อนำกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดันของพัดลมชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์แบบใบเฉียงหลังในรูปที่ 2 มาวาดคู่กับเส้นกราฟแสดงแรงม้าเบรกดังรูปที่ 5



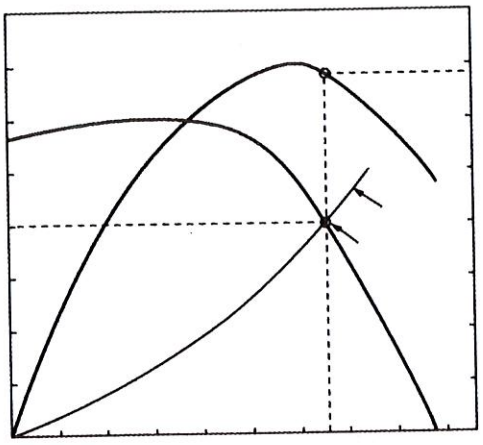
รูปที่ 5 *แสดงการอ่านค่าแรงม้าเบรกของของพัดลมชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์แบบใบเฉียงหลัง*

เราจะสามารถอ่านค่าแรงม้าเบรกของพัดลมตัวนี้ได้ในลักษณะเดียวกันกับการอ่านในรูปที่ 4 เช่น สมมุติค่าความดันสถิตที่ทราบเป็น 4 หน่วย เมื่อเราลากเส้นตามแนวนอนไปจนชนเส้นกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดัน จากจุดตัดนี้ เมื่อลากเส้นตามแนวดิ่งลงมาจนตัดกับแกนอัตราการไหลและลากขึ้นจนตัดกับเส้นกราฟแสดงแรงม้าเบรกแล้วลากเส้นตามแนวนอนไปจนตัดกับแกนแรงม้าเบรกอีกที ก็จะอ่านอัตราการไหลและแรงม้าเบรกของพัดลมตัวนี้ได้ที่ประมาณ 6.6 และ 6.9 หน่วย ตามลำดับ

จุดทำงาน (Operating Point)

จุดทำงานของระบบส่งลมหนึ่งๆ หมายถึงจุดที่อัตราการไหลและความดันของพัดลมและระบบมีเสถียรภาพและดุลยภาพต่อกัน (Stable Equilibrium) ซึ่งก็คือจุดตัดระหว่างกราฟแสดงอัตราการไหลและแรงดัน (Pressure Volume Curve) กับ กราฟแสดงลักษณะระบบ (System Curve)

รูปที่ 6 เป็นตัวอย่างกราฟแสดงจุดทำงานของพัดลมและระบบท่อส่งลม ที่ได้จากการวาดกราฟแสดงลักษณะระบบ (System Curve) ลงในกราฟแสดง



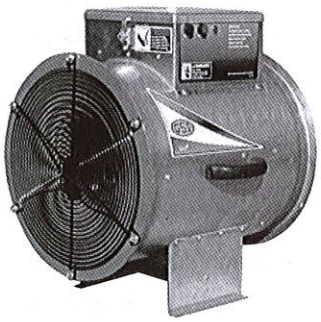
รูปที่ 6 *ตัวอย่างจุดทำงานของระบบส่งลม*

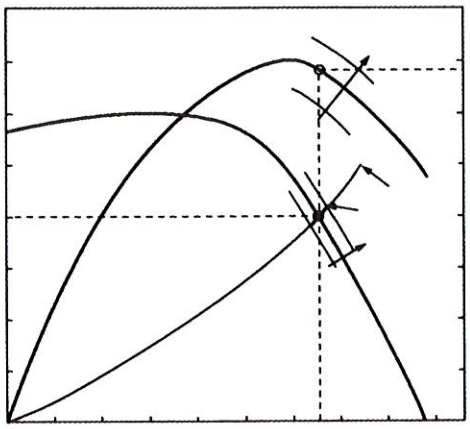
สมรรถนะของพัดลมในรูปที่ 5 กราฟแสดงลักษณะระบบมีลักษณะเป็นกราฟ parabolic หงาย (ยกเว้นกรณีที่ระบบส่งลมมีการติดตั้ง Modulating Damper) ที่วาดได้จากความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการไหลและความดันสูญเสียของระบบท่อส่งลมหนึ่งๆ ซึ่งเป็นไปตามกฎของพัดลม (Fan Laws) ที่ว่า

1. CFM แปรผันตาม RPM จะได้
   $(CFM_2/CFM_1) = (RPM_2/RPM_1)$
2. SP แปรผันตาม RPM^2 จะได้
   $(SP_2/SP_1) = (RPM_2/RPM_1)^2$
3. BHP แปรผันตาม RPM^3 จะได้
   $(BHP_2/BHP_1) = (RPM_2/RPM_1)^3$

โดยอักษรตัวเลขห้อย 1 และ 2 หมายถึง ค่าของ CFM, SP และ BHP ที่ทราบและค่าที่ต้องการหาตามลำดับ

จึงกล่าวได้ว่า SP ก็จะแปรผันตาม CFM^2 ซึ่งทำให้เราสามารถใช้ความสัมพันธ์นี้ สร้างกราฟแสดงลักษณะระบบได้ ในระบบส่งลมที่ติดตั้งใช้งานจริง บ่อยครั้งที่จุดทำงานจริงอาจไม่ใช่จุดทำงานที่ได้ออกแบบไว้ ผลที่ได้คือระบบส่งลมนั้นๆ อาจส่งลมน้อยกว่าหรือมากกว่าอัตราการไหลที่ต้องการและออกแบบไว้

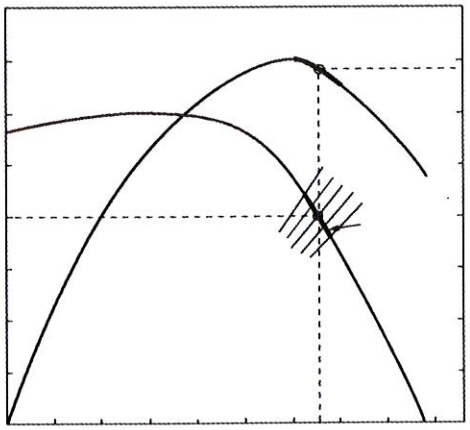




รูปที่ 7 *แสดงร่างเส้นกราฟสมรรถนะของพัดลมที่รอบหมุนน้อยกว่าและมากกว่ารอบหมุนเริ่มต้น*

ในกรณีนี้ ผู้ใช้งานระบบอาจต้องปรับรอบหมุนของพัดลมขึ้นเพื่อให้ได้อัตราการไหลเพิ่ม หรือลดรอบหมุนของพัดลมลงเพื่อลดอัตราการไหลที่สูงเกินไป ซึ่งเป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าจุดทำงานของพัดลมในระบบส่งลมหนึ่งๆ จะต้องเป็นจุดใดจุดหนึ่งบนกราฟแสดงลักษณะระบบ และจากกฎของพัดลมข้างต้น เราก็สามารถทำนายหรือร่างเส้นกราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมที่รอบหมุนต่างๆ ได้ ดังรูปที่ 7

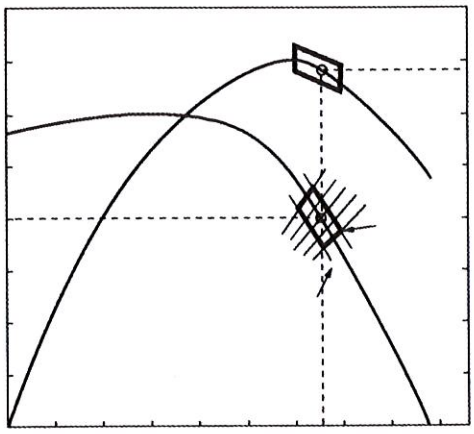
รูปที่ 7 แสดงร่างเส้นกราฟสมรรถนะของพัดลมที่รอบหมุนน้อยกว่าและมากกว่ารอบหมุนเริ่มต้น ซึ่งการปรับเปลี่ยนรอบหมุนของพัดลมอาจทำได้โดยการปรับเปลี่ยน Pulley ของพัดลมหรือใช้ VSD (Variable Speed Drive) ปรับรอบหมุนของมอเตอร์ อีกวิธีที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนอัตราการไหล



รูปที่ 8 *ตัวอย่างกราฟแสดงลักษณะระบบที่ได้จากการปรับมุมใบ Damper*

ของระบบส่งลมคือการติดตั้ง Damper เพิ่ม ซึ่งเมื่อปรับเปลี่ยนมุมใบของ Damper ก็จะทำให้ได้เส้นกราฟแสดงลักษณะระบบหลายเส้น ในลักษณะที่เมื่อหรี่ Damper เส้นกราฟแสดงลักษณะระบบก็จะเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายมือ และเมื่อปรับมุมใบ Damper ให้กว้างขึ้น เส้นกราฟแสดงลักษณะระบบก็จะเปลี่ยนแปลงโดยเคลื่อนไปทางด้านซ้ายมือ ดังรูปที่ 8

และหากในระบบส่งลมที่เราออกแบบติดตั้งใช้งานมีการติดตั้งทั้ง Damper สำหรับปรับเปลี่ยนอัตราการไหล และ VSD เพื่อปรับรอบหมุนของพัดลม เช่นในระบบปรับอากาศแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Air Volume, VAV) ที่ใช้ VAV box เป็นตัวปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของลมเย็นตามภาระทำความเย็นที่ต้องการของพื้นที่ใช้งานนั้นๆ และใช้ VSD ปรับรอบหมุนมอเตอร์พัดลมในเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit, AHU) เพื่อการประหยัดพลังงาน การทำงานของระบบส่งลมเย็นนี้ จะมีลักษณะเป็นย่านทำงานของคล้ายๆ กับการรวมกราฟรูปที่ 7 และ 8 เข้าด้วยกันให้เป็นย่านทำงานของระบบส่งลม ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 *แสดงย่านทำงานของระบบส่งลมที่มีการติดตั้งทั้ง Damper และ VSD*

เอกสารอ้างอิง

1. Twin City Fan Companies, Ltd., "Engineering Data Letter No. ED-2000"

2. Air Movement and Control Association International, Inc. Fan Application Manual Publication 201-90 "Fan and Systems"