การควบคุมการจ่ายจากเครื่องสูบ

โดย ดร. เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์
เรียบเรียงจาก Application of Turbo Type Pumps & Blower Focused on Energy Saving EBARA Corporation

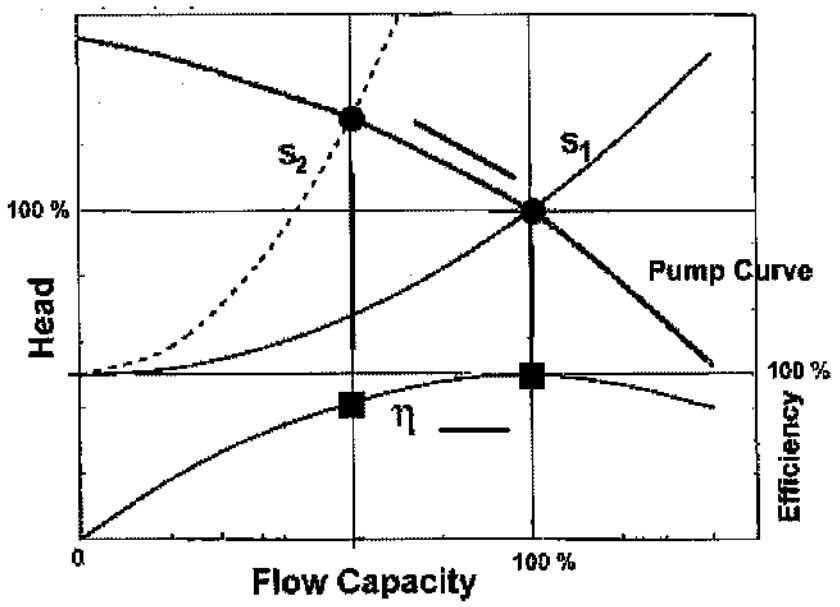
บทนำ

เครื่องสูบ (Pump) เป็นอุปกรณ์ที่พบเห็นได้บ่อยครั้งในงานด้านวิศวกรรมที่มีการขนถ่ายของเหลวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยมีเงื่อนไขสำคัญ 2 ประการที่เครื่องสูบจะต้องทำให้ได้คือ ค่าหัวน้ำ (Head, H) และปริมาณของเหลว (Capacity, Q) ที่ต้องการ ณ จุดปลายทาง รวมทั้งหากความต้องการที่ปลายทางมีการเปลี่ยนแปลงตามภาระที่เกิดขึ้น เครื่องสูบจะต้องสามารถสนองตอบความต้องการดังกล่าวได้ ดังนั้น จึงต้องอาศัยการควบคุมการจ่ายจากเครื่องสูบเพื่อรักษาผลลัพธ์การทำงานของเครื่องสูบให้ได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้การประหยัดพลังงานที่ให้กับเครื่องสูบเพื่อให้บรรลุถึงการทำงานดังกล่าวข้างต้นก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง อีกทั้งการพยายามรักษาช่วงการทำงานของเครื่องสูบให้อยู่ในช่วงการทำงานที่เป็นไปได้ของเครื่องก็เป็นสิ่งที่ต้องให้สำคัญด้วยเช่นกัน

การควบคุมการจ่ายจากเครื่องสูบเพื่อให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น สามารถกระทำได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

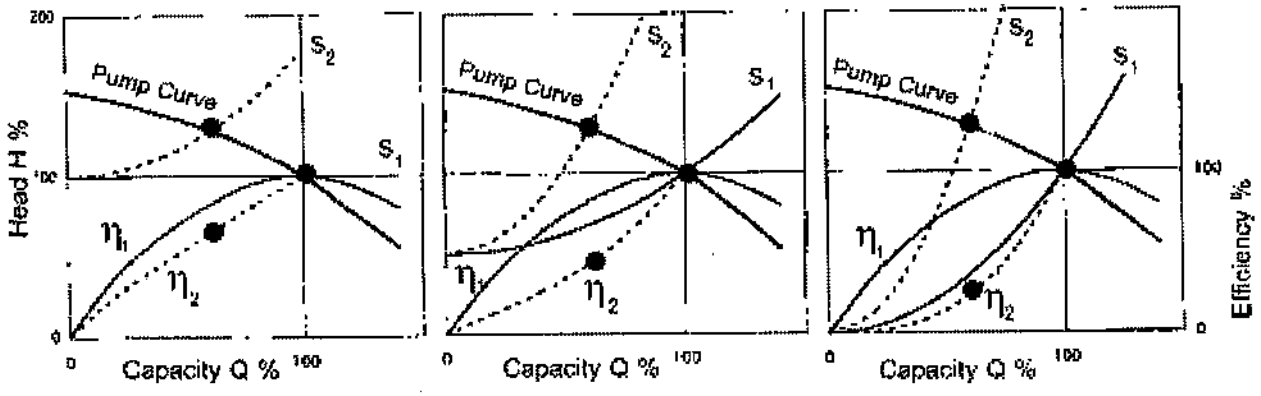
1. การควบคุมโดยการหรี่วาล์ว

การติดตั้งวาล์วไว้ที่ด้านขาออกของเครื่องสูบ จะช่วยในการปรับปริมาณการจ่ายจากเครื่องสูบ ซึ่งกระทำโดยการหรี่วาล์ว (Throttle) การควบคุมโดยวิธีนี้มักจะใช้ในงานติดตั้งที่มีความต้องการปริมาณการจ่ายที่ไม่สูงมาก อย่างไรก็ตาม การหรี่วาล์วจะมีผลเสียคือ เกิดการสูญเสีย (Loss) ภายในระบบท่อมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เครื่องสูบสร้างหัวน้ำที่สูงเกินความจำเป็นในขณะที่ลดปริมาณการจ่าย ดังแสดงในรูปที่ 1 โดย S_1 และ S_2 เป็นกราฟหัวน้ำของระบบก่อนและหลังการหรี่วาล์ว สังเกตุกราฟของเครื่องสูบจะไม่เปลี่ยนเนื่องจากเราไม่ได้เปลี่ยนแปลงการทำงานของเครื่องสูบ



รูปที่ 1 แสดงผลการควบคุมโดยการหรี่วาล์วซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบลดลง

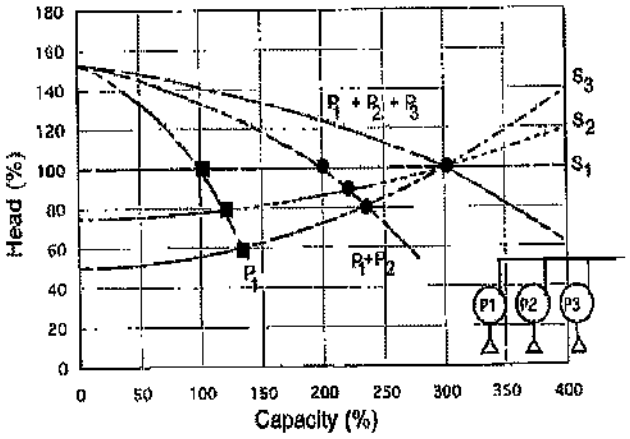
สำหรับระบบท่อที่มีหัวน้ำสูญเสียจากความเสียดทานในท่อ (Friction Head Loss) สูง การหรี่วาล์วก็จะยิ่งทำให้มีการสูญเสียของระบบท่อมากขึ้น ดังนั้น การควบคุมปริมาณการจ่ายจากเครื่องสูบโดยวิธีนี้จึงมักจะแนะนำให้ใช้ในกรณีที่องค์ประกอบหลักของกราฟหัวน้ำของระบบ (System Head Curve, S) มาจากหัวน้ำจริง (Actual Head) ซึ่งเป็นหัวน้ำไม่ขึ้นกับปริมาณการจ่ายของเครื่องสูบ เช่น ระดับความสูงหรืออีกนัยหนึ่งก็คือ กรณีที่ความลาดชันของกราฟหัวน้ำของระบบไม่มาก (Flat System Head Curve) รูปที่ 2 แสดงถึงผลความลาดชันของกราฟหัวน้ำของระบบที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบ เมื่อควบคุมการจ่ายจากเครื่องสูบโดยวิธีการหรี่วาล์ว ในรูปที่ 2 (1.1) แสดงถึงกรณีที่กราฟหัวน้ำของระบบในตอนเริ่มต้นวางตัวอยู่ในแนวนอน (S_1) และมีจุดตัดการทำงานกับกราฟของเครื่องสูบตามที่ออกแบบไว้ เมื่อทำการหรี่วาล์วเพื่อลดปริมาณการจ่าย กราฟหัวน้ำของระบบจะขยับขึ้น (S_2) แต่เนื่องจากตัวกราฟมีความลาดชันไม่มาก ดังนั้น ประสิทธิภาพของเครื่องสูบจะลดลงเล็กน้อย สำหรับกราฟหัวน้ำของระบบที่มีความลาดชันปานกลาง (รูปที่ 2 (1.2)) เมื่อมีการหรี่วาล์ว กราฟหัวน้ำของระบบจะยกตัวสูงขึ้น ไปหาจุดตัดการทำงานใหม่ ประสิทธิภาพของเครื่องสูบจะลดต่ำลงไปอีกรวมถึงกรณีที่กราฟหัวน้ำของระบบมีความลาดชันสูงมาก (รูปที่ 2 (1.3)) ประสิทธิภาพของเครื่องสูบจะลดต่ำลงไปค่อนข้างมาก เมื่อมีการหรี่วาล์ว



รูปที่ 2 แสดงผลของกราฟหัวน้ำของระบบที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องสูบเมื่อมีการหรี่วาล์ว

2. การควบคุมโดยให้เครื่องสูบทำงานมากกว่าหนึ่งเครื่อง

ในกรณีที่มีการติดตั้งเครื่องสูบหลายชุดและทำงานในลักษณะที่เป็นการต่อขนานกัน เราสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายจากเครื่องสูบโดยการควบคุมจำนวนเครื่องสูบที่ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3

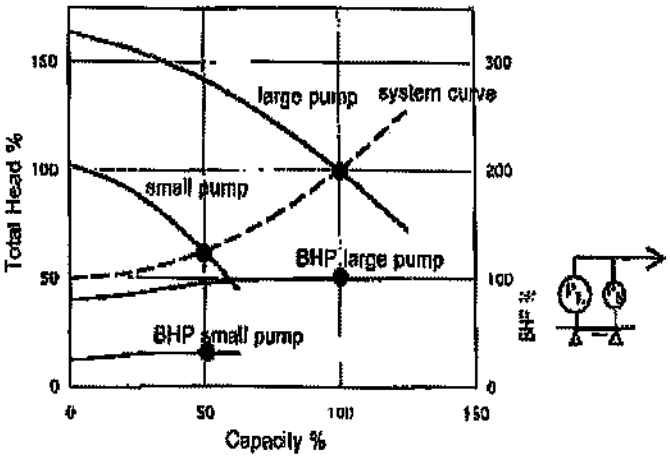


รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงจุดการทำงานของเครื่องสูบเมื่อเพิ่มจำนวนการทำงานของเครื่องสูบ บนกราฟหัวน้ำของระบบ (S) ที่เปลี่ยนแปลง

จากรูปจะเห็นการทำงานของเครื่องสูบ 3 ชุดที่เหมือนกัน ซึ่งมีการต่อท่อขาออกเข้าด้วยกันในท่อร่วม (Header) และทำงานที่กราฟหัวน้ำของระบบ (S) ต่างๆ กัน ซึ่งในกรณีที่กราฟหัวน้ำของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงความลาดชันจากน้อยไปมาก (จาก S_1 ไปเป็น S_3) การใช้เครื่องสูบ 1 ชุดทำงานจะทำให้ได้ปริมาณการจ่ายมากกว่าปริมาณที่ต้องการ (จุด 100% ของค่าปริมาณการจ่ายในรูป) และห่างมากขึ้นเรื่อยๆ ตามความลาดชันที่เพิ่มขึ้นของกราฟหัวน้ำของระบบ ซึ่งทำให้มีโอกาสสูงที่ตัวเครื่องสูบจะเกิดโพรงอากาศ (Cavitation) เนื่องจากหัวน้ำด้านดูดที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งทำให้หัวน้ำด้านจ่ายมีค่าลดลงด้วย ดังนั้น เพื่อรักษาระดับหัวน้ำด้านจ่าย ในขณะที่ต้องการเพิ่มปริมาณการจ่าย วิธีควบคุมจำนวนการทำงานของเครื่องสูบเพื่อให้ได้ปริมาณการจ่ายที่ต้องการจึงเหมาะที่จะนำมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่กราฟหัวน้ำของระบบมีความแปรผันระหว่างหัวน้ำกับปริมาณที่ไม่มาก หรือเหมาะอย่างยิ่งกับกรณีที่หัวน้ำของระบบมีค่าคงที่ (S_1) หรือหัวน้ำจริงมีค่าสูงมากๆ เมื่อเทียบกับหัวน้ำความเสียดทานซึ่งมีค่าแปรผันตามปริมาณการจ่าย

3. การควบคุมโดยใช้เครื่องสูบหลายๆ ขนาด

การติดตั้งเครื่องสูบหลายๆ ขนาด จะมีประโยชน์ในงานที่ความต้องการของระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก ทั้งนี้ ในกรณีที่มีความต้องการปริมาณการจ่ายเพิ่มขึ้น ก็สามารถเลือกใช้เครื่องสูบขนาดใหญ่ให้ทำงาน ซึ่งในทางกลับกันเมื่อความต้องการปริมาณการจ่ายลดลงก็สามารถที่จะเลือกใช้เครื่องสูบที่มีขนาดเล็กกว่าทำงานแทน การเลือกใช้เครื่องสูบขนาดเท่าใดในการทำงานจะขึ้นอยู่กับกราฟหัวน้ำของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงผลของการใช้เครื่องสูบขนาดต่างๆ กัน

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อความต้องการปริมาณการจ่ายลดลง 50% การเดินเครื่องสูบที่มีขนาดเล็กกว่าจะช่วยในการประหยัดพลังงาน ในกรณีที่ใช้เครื่องสูบเพียงชุดเดียว การเปลี่ยนขนาดเครื่องสูบสามารถทำได้โดยใช้มอเตอร์ขับเครื่องสูบชนิดกระแสสลับที่ปรับเปลี่ยนจำนวนขั้วได้ ทำให้เราสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการทำงานของเครื่องสูบได้ ทั้งนี้ คุณลักษณะของเครื่องสูบก็จะปรับเปลี่ยนไปตามกฎของเครื่องสูบ (Affinity Law)

4. การควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ

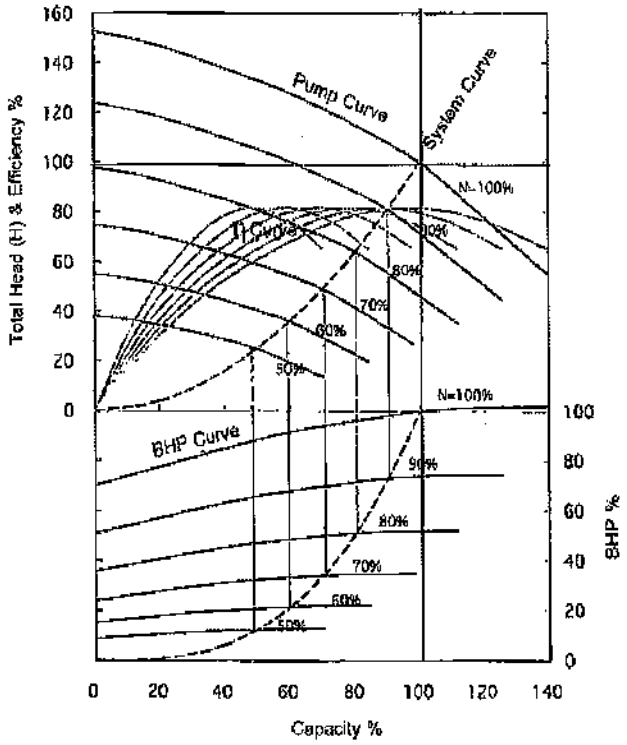
การใช้อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบเพื่อปรับการทำงานของเครื่องสูบให้สอดคล้องกับความต้องการของระบบซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานที่ให้กับเครื่องสูบเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ การเปลี่ยนคุณลักษณะของเครื่องสูบตามความเร็วรอบจะเป็นไปตามกฎของเครื่องสูบ ดังนี้

$Q_2/Q_1 = N_2/N_1$, $H_2/H_1 = (N_2/N_1)^2$, $BHP_2/BHP_1 = (N_2/N_1)^3$

โดยที่ Q_1 และ Q_2 = อัตราการไหลเชิงปริมาตรก่อนและหลังการเปลี่ยนความเร็วรอบ

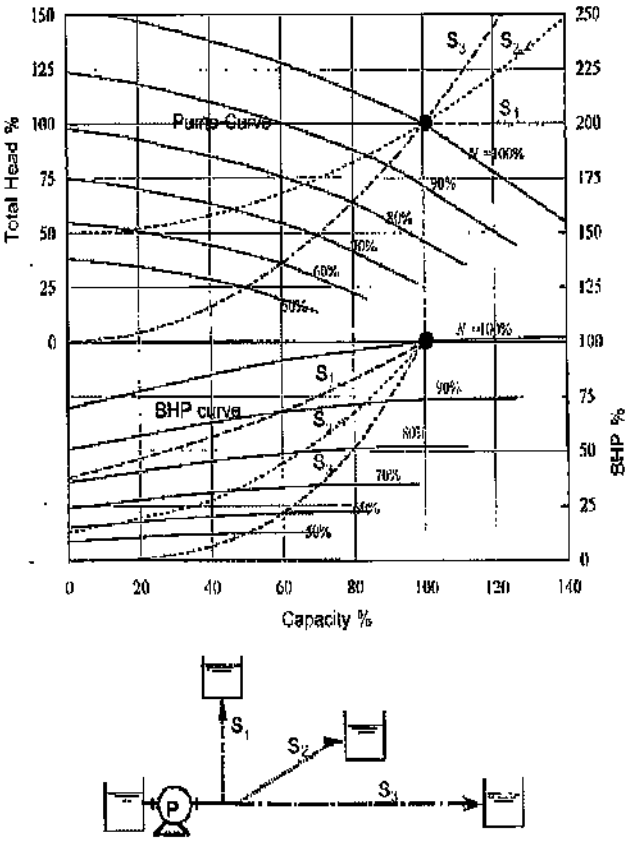
N_1 และ N_2 = ความเร็วรอบของเครื่องสูบก่อนและหลังการเปลี่ยน

BHP_1 และ BHP_2 = กำลังงานที่ให้กับเครื่องสูบก่อนและหลังการเปลี่ยนความเร็วรอบ



รูปที่ 5 คุณลักษณะของเครื่องสูบที่เปลี่ยนไปตามค่าความเร็วรอบ (N) ต่างๆ ตามกฎของเครื่องสูบ

เนื่องจากจุดทำงานของเครื่องสูบจะเปลี่ยนไปตามกราฟหัวน้ำของระบบ ดังนั้น การประหยัดพลังงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องสูบจึงขึ้นอยู่กับความลาดชันของกราฟหัวน้ำของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งในรูปจะแสดงกราฟหัวน้ำของระบบไว้ 3 เส้น (S_1, S_2 และ S_3) จากรูปเห็นได้ชัดเจนว่า การควบคุมโดยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องสูบจะเหมาะสมในกรณีที่องค์ประกอบหลักของกราฟหัวน้ำของระบบมาจากค่าหัวน้ำความเสียดทาน หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเหมาะที่จะใช้ในกรณีที่ระบบท่อมีความยาวค่อนข้างมาก หรือในระบบท่อแบบปิด เนื่องจากเราสามารถควบคุมให้เครื่องสูบทำงาน ณ จุดที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุดหรือใกล้เคียงกับจุดดังกล่าวสำหรับค่าความเร็วรอบที่ต้องการดังแสดงไว้ในกราฟหัวน้ำของระบบ S_3



รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนคุณลักษณะของเครื่องสูบตามความเร็วรอบกับกราฟหัวน้ำของระบบ

อย่างไรก็ตาม การใช้อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบจะทำให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น การเปรียบเทียบที่ถูกต้องควรจะเป็นการเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างมูลค่าที่ได้จากการประหยัดพลังงานกับมูลค่าอุปกรณ์ที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะพบว่าวิธีดังกล่าวมีความเหมาะสมเมื่อนำไปใช้กับเครื่องสูบที่มีขนาดปานกลางและขนาดใหญ่ที่มีการใช้งานสูง

5. การควบคุมโดยการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด

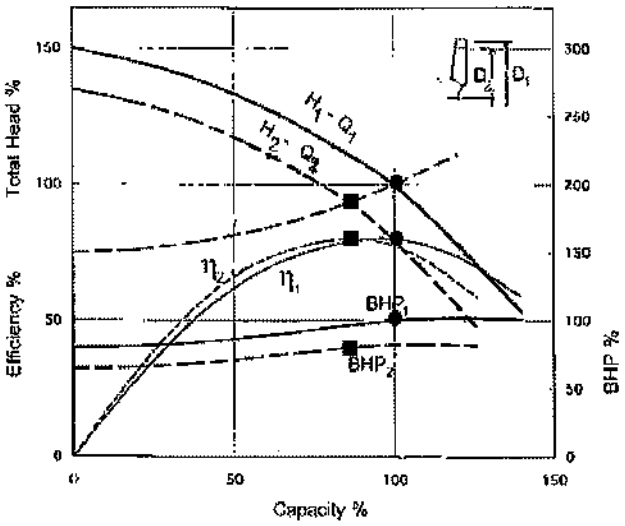
สำหรับเครื่องสูบชนิดหอยโข่ง (Centrifugal Pump) การปรับปริมาณการจ่ายจากเครื่องสูบสามารถกระทำได้โดยการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของใบพัด ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะของเครื่องสูบมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q_2/Q_1=(D_2/D_1),\ H_2/H_1 = (D_2/D_1)^2,\ BHP_2/BHP_1 = (D_2/D_1)^3$$

โดย D_1 และ D_2 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดก่อนและหลังการเปลี่ยนขนาด

ในทางปฏิบัติ ตัวเรือนของเครื่องสูบชนิดหอยโข่งสามารถที่จะติดตั้งใบพัดได้มากกว่าหนึ่งขนาด ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถที่จะนำมาใช้ปรับเปลี่ยนการทำงานของเครื่องสูบในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนใบพัดจำเป็นจะต้องมีการถอดและประกอบเครื่องสูบใหม่เสมอ

สำหรับกรณีที่เครื่องสูบมีขนาดใหญ่เกินความต้องการ เราสามารถที่จะเจียรใบพัดของเครื่องสูบให้มีขนาดเหมาะสมกับความต้องการ โดยการประมาณขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดใหม่ตามสมการดังกล่าวข้างต้น โดยทั่วไป ในทางปฏิบัติ เราสามารถปรับลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดลงได้ถึง 15% หรือ $D_2/D_1 > 0.85$

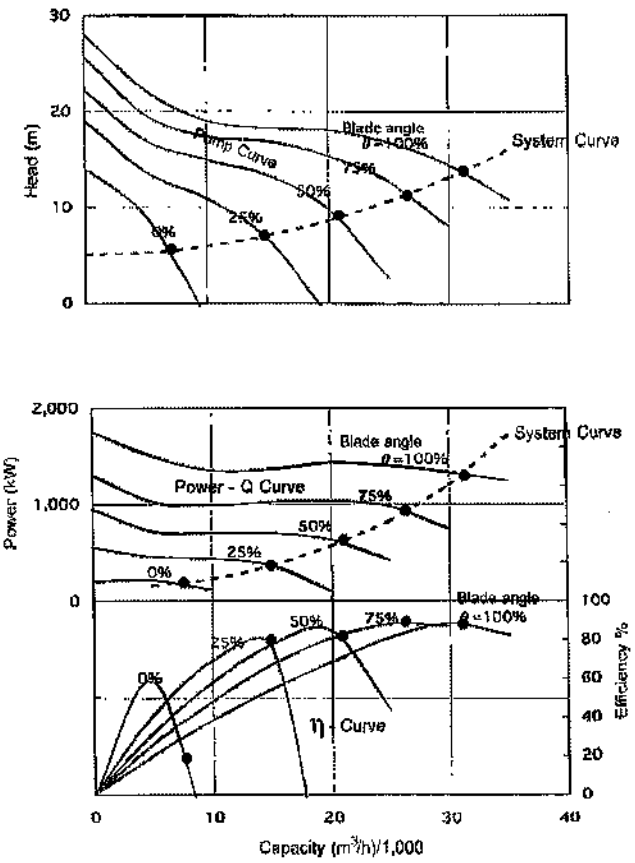


รูปที่ 7 คุณลักษณะของเครื่องสูบที่เปลี่ยนไปโดยการเจียรเปลี่ยนขนาดใบพัด

6. การควบคุมโดยการปรับเปลี่ยนระยะพิตช์ของใบพัด

สำหรับเครื่องสูบที่มีค่าความเร็วจำเพาะสูง (High Specific Speed) เราสามารถที่จะใช้การปรับเปลี่ยนมุมปีกหรือระยะพิตช์ของใบพัดเพื่อปรับปริมาณการจ่ายจากเครื่องสูบให้สอดคล้องกับความต้องการ ทั้งนี้ การปรับเปลี่ยนมุมปีกใบพัดจะทำให้คุณลักษณะของเครื่องสูบเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นใบพัดชนิดไหลผสม (Mixed Flow Impeller) จากรูปจะเห็นว่า ค่าหัวน้ำและปริมาณการจ่าย ณ จุดที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุดจะมีค่าลดลงเมื่อทำการลดมุมปีกใบพัดในขณะที่ค่าประสิทธิภาพสูงสุดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานที่ให้กับเครื่องสูบในขณะที่ความต้องการปริมาณการจ่ายลดลง การปรับมุมปีกใบพัดสามารถกระทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ทางกล ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถที่จะทำการปรับมุมปีกใบพัดได้แม้ในขณะที่เครื่องสูบทำงาน การควบคุมโดยวิธีนี้มักจะพบเห็นในเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนที่ใช้ในโรงจักรพลังงานความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งมักจะใช้เครื่องสูบที่มีดุมใบพัดขนาดใหญ่และใช้ใบพัดชนิดไหลผสมที่ปรับมุมปีกใบพัดได้

การควบคุมวิธีนี้ยังเหมาะสมกับเครื่องสูบชนิดไหลตามแกนขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานระบายน้ำซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของกราฟหัวน้ำของระบบเป็นหัวน้ำจริง นอกจากนี้ หากมีการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติในการปรับมุมปีกใบพัดเพื่อรักษากำลังงานขาเข้าเครื่องสูบให้มีค่าคงที่ ก็จะยิ่งทำให้เราสามารถใช้งานตัวขับเครื่องสูบ เช่น มอเตอร์ ได้อย่างมีประสิทธิผลยิ่งขึ้น



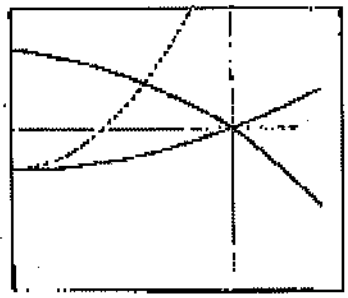
รูปที่ 8 คุณลักษณะของเครื่องสูบที่ปรับเปลี่ยนตามการปรับระยะพิตช์หรือมุมใบพัด

บทสรุป

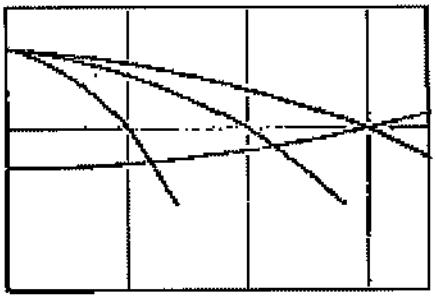
จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นว่าหลักใหญ่ที่ใช้ตัดสินใจในการเลือกวิธีควบคุมการจ่ายแบบไหนมักจะถูกกำหนดจากความลาดชันของกราฟหัวน้ำของระบบซึ่งจะเกี่ยวโยงกับกราฟของเครื่องสูบนั้นๆ แต่ไม่ว่าจะใช้วิธีควบคุมการจ่ายใดๆ การประหยัดพลังงานสูงสุดและการใช้งานให้สอดคล้องกันกับสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบจะเป็นหลักใหญ่ในการพิจารณาเสมอ รูปข้างล่างนี้แสดงบทสรุปโดยรวมของวิธีการควบคุมการจ่ายจากเครื่องสูบ ซึ่งความเหมาะสมที่จะเลือกใช้วิธีการควบคุมการจ่ายแบบไหนจะถูกแยกแยะตามความลาดชันของกราฟหัวน้ำของระบบ

ก. สำหรับกรณีที่กราฟหัวน้ำของระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากระหว่างหัวน้ำและปริมาณ

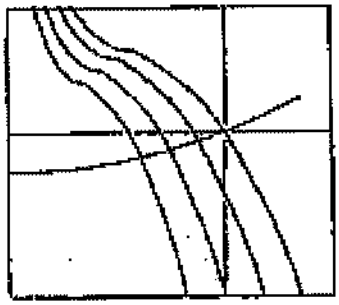
การหรี่วาล์ว



การใช้เครื่องสูบทำงานมากกว่าหนึ่งเครื่อง

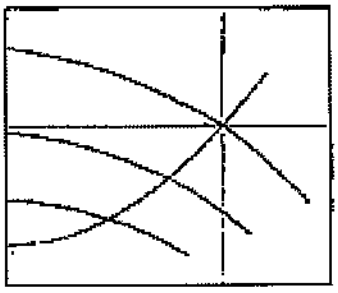


การปรับระยะพิตช์ของใบพัด

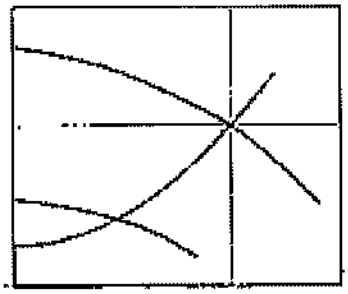


ข. สำหรับกรณีที่กราฟหัวน้ำของระบบมีการเปลี่ยนแปลงมากระหว่างหัวน้ำและปริมาณ

การใช้ตัวปรับเปลี่ยนรอบ



การใช้เครื่องสูบหลายๆ ขนาด



การเปลี่ยนขนาดใบพัด