

# บทที่ 1

## ระบบอัดอากาศ ป้อนน้ำ และพัดลม

### (Compressed-Air, pump, and fan systems)

#### ความสำคัญของเนื้อหาวิชา (Overview)

ในบทนี้เป็นเพียงพื้นฐานที่กล่าวถึงประเภท และหลักการทำงานของระบบอากาศอัด ป้อนน้ำ และพัดลม และอุปกรณ์ร่วมอื่นๆ ตลอดจนการควบคุมการทำงานแบบต่างๆ ซึ่งมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสม มิฉะนั้นอาจจะเกิดผลเสียต่อระบบหรืออุปกรณ์ได้ รวมไปถึงการใช้งาน และควบคุมการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัย รวมไปถึงการใช้งานในระบบอากาศอัด ป้อนน้ำ และพัดลมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และทำให้เกิดงานมากที่สุด และไม่มีการสูญเสียหรือการรั่วไหลระหว่างทางเป็นหลักสำคัญของการทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน รวมไปถึงการควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่ดูได้จากสมการหาประสิทธิภาพจะทำให้ทราบเงื่อนไขในการทำงานของระบบอากาศอัด ป้อนน้ำ และพัดลมที่ต้องควบคุมที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

#### วัตถุประสงค์ (Objective)

1. อธิบายระบบอากาศอัด ป้อนน้ำ และพัดลมได้
2. อธิบายวิธีการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด ป้อนน้ำ และพัดลมได้
3. วิเคราะห์แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด ป้อนน้ำ และพัดลมได้

#### บทนำ (Introduction)

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการแนะนำถึงประเภท และหลักการทำงานของระบบอากาศอัด ป้อนน้ำ และพัดลม คุณลักษณะเฉพาะ และวิธีการควบคุมการทำงานในแต่ และแบบที่ให้ผลการทำงานที่ต่างกันให้เลือกใช้ได้ตามสภาพ และความเหมาะสมในการใช้งาน

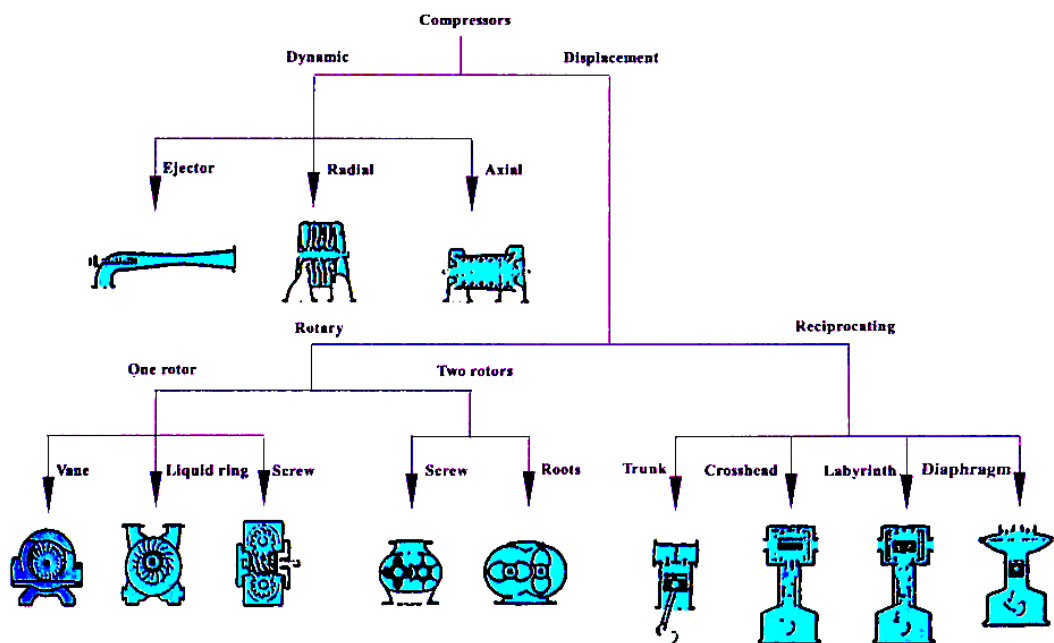
## 1.1 ประเภท และหลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศ (Type and principle of operation of air-compressor)

### 1.1.1 ประเภท และหลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศอาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ประเภทปริมาตร และแบบไดนามิกส์

1) เครื่องอัดอากาศประเภทปริมาตรแทนที่เชิงบวก (Positive Displacement) มีหลักการทำงานคือ ให้อากาศเข้าไปในปริมาตรแล้วลดปริมาตรอากาศนี้ลงโดยใช้พลังงานจากภายนอก เมื่อปริมาตรของอากาศลดลงก็จะทำให้ความดันสูงขึ้น เครื่องอัดอากาศปริมาตรมีทั้งแบบลูกสูบและโรตารี

2) เครื่องอัดอากาศประเภทไดนามิกส์ (Dynamics) มีหลักการทำงานคือ ให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้นโดยผ่าน โรเตอร์แล้วอาศัยรูปร่าง Casing ภายในเครื่องอัดอากาศลดความเร็วลง ทำให้พลังงานจลน์ของอากาศเปลี่ยนรูปเป็นความดัน ของอากาศ เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ได้แก่ Centrifugal compressor , Turbo compressor , Air jet



รูปที่ 1.1 ประเภทของเครื่องอัดอากาศ

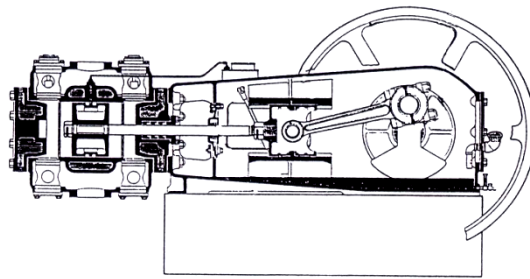
เครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- (1) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (Reciprocating compressors)
- (2) เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี (Rotary compressors)
- (3) เครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal compressors)

## 1) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (Reciprocating compressors)

เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กใช้แหล่งกำลังต้นกำลังจากมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยมีสายพานเป็นอุปกรณ์ถ่ายทอดกำลังไปสู่เครื่องอัดเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่อัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลง และความกดดันของอากาศสูงขึ้น อากาศอัดจะถูกส่งไปเก็บไว้ในถังลมก่อนที่จะนำไปใช้งานต่อไป เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ส่วนใหญ่จะระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังนั้นบริเวณรอบๆ เสื้อสูบของเครื่องอัดจึงทำเป็นแผ่นครีป (Vane) เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนให้มากยิ่งขึ้น การเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะอัดแต่ละครั้งจะทำให้เกิดอากาศหรือแก๊สเกิดการอัดตัวขึ้น และการไหลของอากาศอัดจะมีลักษณะเป็นแบบห้วงๆ (Pulsation) ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบท่อส่ง เพราะอาจทำให้เกิดความดันย้อนกลับ ณ จุดที่มีการหักเลี้ยวในระบบท่อส่งได้ ทำให้ท่อส่งได้รับความเสียหายในภายหลัง

เนื่องจากในอากาศมีความชื้น หรือไอน้ำ และฝุ่นละอองปะปนอยู่ด้วยไม่มากนักน้อย ดังนั้นอากาศที่เข้าสู่เครื่องอัดอากาศจึงมีไอน้ำ และฝุ่นละอองปะปนเข้าไปด้วย เมื่ออากาศถูกอัดตัว โมเลกุลของอากาศจะเกิดการเสียดสีกันทำให้อากาศที่ถูกอัดมีความร้อนสูง ดังนั้น อากาศที่ถูกอัดก่อนที่จะถูกนำไปยังถังอัดอากาศจึงต้องมีการระบายความร้อนออกเสียก่อน เพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนซึ่งจะทำให้ ชิ้นส่วนภายในเครื่องอัดอากาศได้รับความเสียหายขึ้น อากาศอัดดังกล่าวเมื่อถูกนำไปเก็บในถังอัดอากาศก็ยังคงมีความร้อนเหลือบ้าง เมื่ออากาศอัดภายในถังอากาศเย็นตัวลง ก็จะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำอยู่ในถังอัดอากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ในขณะที่นำอากาศไปใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการระบายน้ำส่วนนี้ออกไปจากถังอัดอากาศก่อนที่จะมีการใช้งานอยู่เสมอทุกวัน

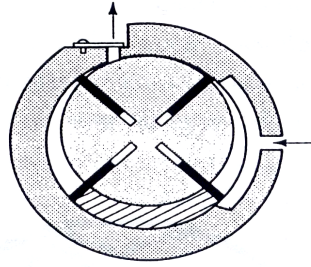


รูปที่ 1.2 ลักษณะภายในเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

## 2) เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี (Rotary compressors)

เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีหรือแบบลูกสูบหมุนจะอัดอากาศอันเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ผลักดันของโรเตอร์ในลักษณะการแทนที่ของอากาศ อากาศอัดที่ได้จะมีอัตราการไหลอย่างสม่ำเสมอแต่ปริมาณอากาศอัดที่ได้จะมีค่าความกดดันค่อนข้างต่ำกว่ามาก การหมุนของโรเตอร์เพื่ออัดอากาศจะต้องหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงซึ่งจะก่อให้เกิดเสียงดัง และชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในจะมีอัตราการสึกหรอค่อนข้างสูง เครื่องอัดอากาศประเภทนี้แบ่งเป็นลักษณะย่อยๆ ดังนี้

### (2.1) Sliding vane compressors

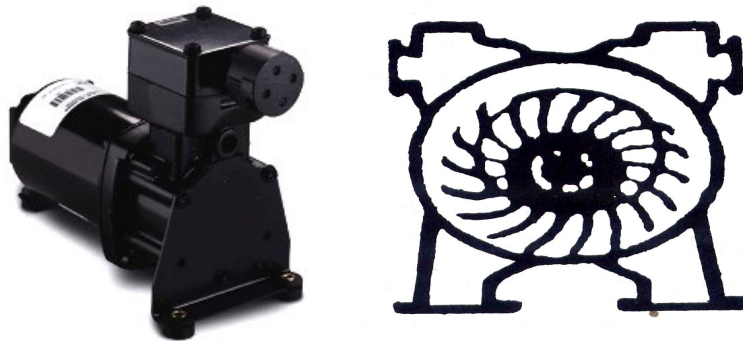


รูปที่ 1.3 ลักษณะภายในเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี Vane

เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีชนิดนี้จะมีแผ่นกวาด (Vane) เลื่อนเข้า และเลื่อนออกในแนวรัศมีอยู่ภายในเครื่องอัด แผ่นกวาดจะทำหน้าที่กวาดอัดอากาศให้มีปริมาตรที่เล็กลง และทำการส่งอากาศอัดออกไปจากเครื่องอัดเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

### (2.2) Liquid piston compressors

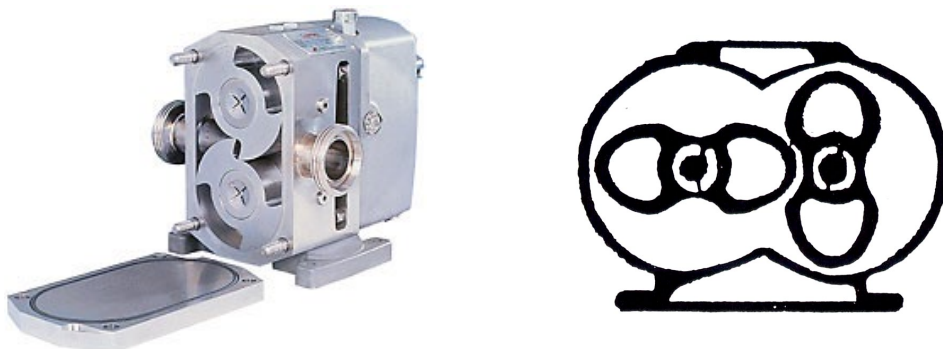
เครื่องอัดอากาศโรตารีชนิดนี้ ภายในจะมีของเหลวเป็นสารทำงานซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นลูกสูบในการอัดอากาศให้มีความดันสูงขึ้น



รูปที่ 1.4 ลักษณะภายในของเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีชนิด Liquid piston

### (2.3) Two -impeller straight - lobe

เครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะมีอุปกรณ์ในการอัดอากาศเป็นลอน (Lobe) 2 ชิ้นหมุนด้วยความเร็วรอบที่สัมพันธ์กันเพื่ออัด และส่งอากาศไปยังระบบต่อไป อากาศที่อัดได้ในระบบนี้จะมีความดันต่ำมาก

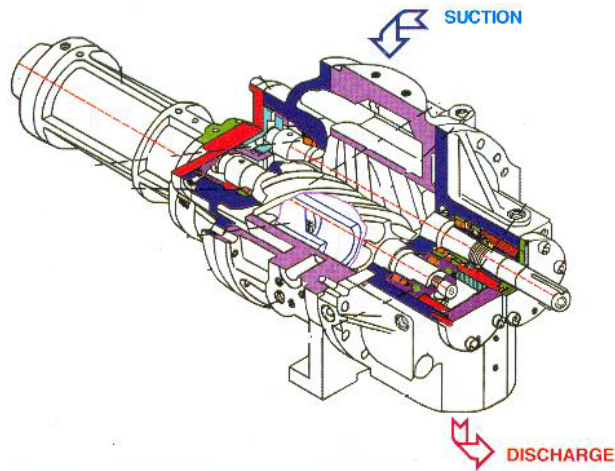


รูปที่ 1.5 ลักษณะภายในของเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีชนิด Straight - lobe



## (2.4) Helical or Spiral lobe

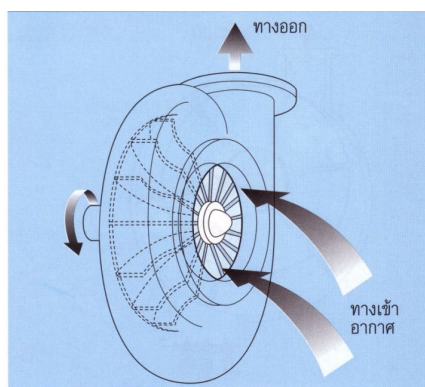
เครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะมีอุปกรณ์ในการอัดอากาศเป็นลักษณะโรเตอร์หมุนอยู่ภายในตัวเรือน เครื่องอัดอากาศจำนวน 2 ตัว ตัวหนึ่งจะเป็นเกลียวตัวผู้ (Helical) จะทำหน้าที่ในการอัดอากาศ อากาศอัดจะเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะของการแทนที่อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 1.6 ลักษณะภายในของเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีชนิด Helical or spiral lobe

## 3) เครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal compressors)

เป็นเครื่องอัดอากาศที่ใช้หลักการทางด้านพลศาสตร์ ทำงานด้วยการเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นความกดดัน ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศอัดจะถูกเหวี่ยงตัวออกไปในแนวรัศมี ลมดูดจะเข้าสู่แกนตรงกลางเพลลาใบพัดและถูกเหวี่ยงตัวออกไปในแนวรัศมีของใบพัดสู่ผนังเครื่องอัดและถูกส่งไปตามระบบท่อ อากาศอัดจะมีความกดดันสูงขึ้นแต่ความเร็วยังคงที่ เมื่อเราต้องการอากาศอัดที่มีค่าความกดดันสูงมากขึ้น เราสามารถกระทำได้โดยการใช้เครื่องอัดอากาศหลายสเตจโดยที่อากาศอัดซึ่งได้จากการอัดในสเตจแรกจะถูกส่งต่อไปยังสเตจต่อไปและอัดอากาศให้ได้ความดันที่ต้องการ อากาศที่อัดได้ในแต่ละสเตจจะมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากอากาศอัดก่อนที่จะส่งอากาศอัดไปยังสเตจต่อไป



รูปที่ 1.7 เครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง

### 1.1.2 คุณสมบัติ และสมรรถนะการทำงานของระบบอากาศอัด

#### (Characteristics and performane of air-compressor)

##### 1.1.2.1 คุณสมบัติ และสมรรถนะการทำงานของระบบอากาศอัด

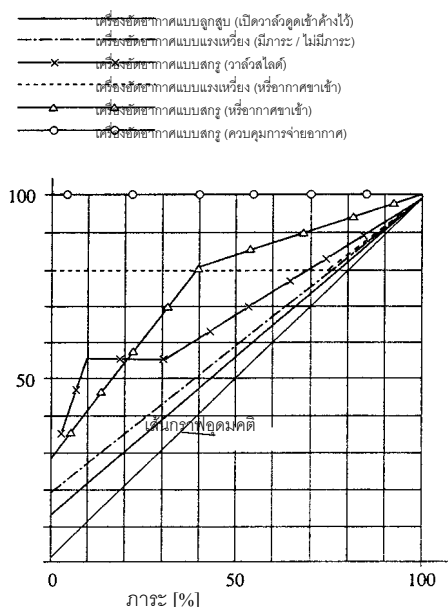
เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ และแบบสกรูซึ่งใช้วิธีอัดแบบปริมาตร แบ่งเป็นแบบใช้น้ำมัน กับแบบไม่ใช้น้ำมัน (Oil free) เครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบโดยโครงสร้างแล้วจะเป็นแบบไม่ใช้น้ำมัน แบบใช้น้ำมันจะทำการผนึกการรั่วของอากาศ ดังนั้น จึงมีกำลังขับจำเพาะ ต่ำกว่าแบบไม่ใช้น้ำมัน นิยมใช้กันมากใน เครื่องอากาศขนาดเล็กและขนาดกลาง อย่างไรก็ตาม ในอากาศที่ดูดเข้ามาจะมีละอองน้ำมันหล่อลื่นและ ไฮโดรคาร์บอนเข้ามาปะปนด้วย เครื่องอัดอากาศแบบสกรูจะมีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 150 [kW] ขึ้นไป ส่วนใหญ่จะเป็นแบบไม่ใช้น้ำมันเกือบทั้งหมด

เครื่องอัดอากาศแบบหลายชั้นจะลดกำลังขับเพลทำให้ต่ำลงด้วยการระบายความร้อนของอากาศอัดด้วยอินเตอร์คูลเลอร์ในแต่ละกระบวนการอัดอากาศ กรณีที่ความดันขาออกเท่ากับ 0.7 [MPa] หากเปลี่ยนการอัดอากาศ 1 ชั้นให้เป็น 2 ชั้นแล้วจะลดกำลังขับเพลาลงได้ประมาณ 15 [%] ด้วยความดันเท่านี้ โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบสกรูจะใช้ 1-2 ชั้น และแบบเทอร์โบจะใช้ 2-3 ชั้น

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบจะมีการสั่นสะเทือนและเสียงดังมากกว่าแบบสกรู รวมทั้งมีอากาศขาออกจะมีการกระเพื่อมสูงกว่า ส่วนเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบจะไม่มีการกระเพื่อม แต่จะมีเสียงดังมาก แบบสกรูจะมีระยะเวลารักษา 12,000-20,000 ชั่วโมง แต่แบบลูกสูบจะมีระยะเวลานั้นเพียง 1 ใน 4 เท่านั้น และแบบเทอร์โบจะสิ้นประมาณ 70%

##### 1.1.2.2 ความสิ้นเปลืองกำลังขับกับเงื่อนไขการทำงาน

ยิ่งเครื่องอัดอากาศมีความดันขาออกสูงเท่าใด จะยิ่งต้องใช้กำลังขับมากขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ถ้าความดันขาออกลดลงจาก 0.7 [MPa] เป็น 0.6 [MPa] แล้ว กำลังขับจะลดลงประมาณ 8 [%] และยิ่งอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องอากาศมีค่าต่ำเท่าใด กำลังขับจะยิ่งลดลงเท่านั้น หากอุณหภูมิขาเข้าลดลง 10 [°C] เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ และแบบสกรูจะใช้กำลังขับลดลงประมาณ 2 [%] ส่วนแบบเทอร์โบจะลดลง 1-1.5 [%] จึงสามารรถอนุรักษ์พลังงานได้ ดังนั้น กรณีที่ดูดอากาศจากภายในอาคารจึงต้องพิจารณาเรื่องการระบายอากาศให้ถี่ถ้วน ทั้งนี้ กรณีที่ดูดอากาศจากภายนอกอาคารจะต้องระมัดระวังเรื่องความดันสูญเสีย และเสียงดังด้วย



ที่มา : “การอนุรักษ์พลังงาน” (ก.พ. 2541) หน้า 68

รูปที่ 1.8 คุณสมบัติภาระของเครื่องอัดอากาศ

ความสิ้นเปลืองกำลังขับในกรณีที่เดินเครื่องที่ภาระต่ำกว่าพิกัด (เมื่อปริมาณอากาศมีค่าต่ำกว่าพิกัด) จะขึ้นอยู่กับวิธีควบคุม ตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 1.8 จะเห็นว่าเมื่อ Load factor มีค่าต่ำกว่า 100 [%] แม้แต่ในแบบลูกสูบซึ่งกำลังขับมีค่าต่ำสุดก็ยังมีกำลังขับเมื่อไม่มีภาระไม่น้อยกว่าประมาณ 10 [%]

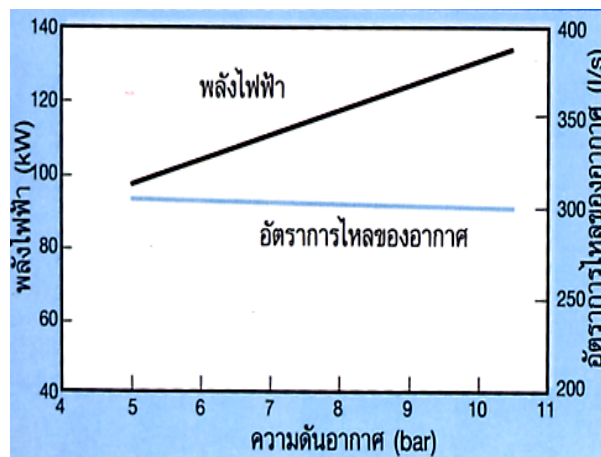
เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ถ้าควบคุมด้วยวิธี Unloader และปริมาณอากาศขาออก ลดลงจนความดันของเส้นทางลมขาออก (Discharge line) ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้แล้ว วาล์วลูกสูบ Unloader จะเปิดวาล์วดูดเข้าค้างไว้ ทำให้เกิดการเดินเครื่องโดยไม่มีการอัดอากาศ ซึ่งแม้ว่าจะทำให้ความดันขาออก กระเพื่อม แต่จะมีประสิทธิภาพมากในการอนุรักษ์พลังงาน

ในเครื่องอัดอากาศแบบสกรูที่ใช้ น้ำมัน จะมีการจ่ายอากาศอัดความดันออกมาโดยปิด วาล์วดูดเข้าพร้อมๆ กับเปิดวาล์วปรับความดันขาออก เนื่องจากเครื่องจะจ่ายอากาศอัดความดัน การที่ภาระไม่ เต็มพิกัดจึงมีผลน้อยต่อการอนุรักษ์พลังงาน ตัวอย่างเช่น หากปริมาณอากาศที่จ่ายออกลดลง 50 [%] กำลังขับ เผลาจะลดลงเพียงประมาณ 15 [%] เท่านั้น

### 1.1.2.3 ความดันอากาศที่ต้องการ

การออกแบบที่ดีของการส่งจ่ายอากาศอัดจะมีความดันลดลงประมาณ 0.7 บาร์ ณ จุดใช้ งานดีที่สุด เมื่อเครื่องมือ และอุปกรณ์ของอากาศอัดส่วนใหญ่ทำงานที่ระดับความดัน 6.3 บาร์ ดังนั้น ความดัน ที่ผลิตต่ำสุดของเครื่องอัดอากาศจะอยู่ที่ 7 บาร์ ดังนั้นการทำงานของระบบที่ไม่จำเป็นของการผลิตอากาศอัดที่ มีความดันสูงดังนั้นจึงเป็นสาเหตุทำให้ต้องใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายเพิ่ม ดังรูป

ดังนั้น ควรหลีกเลี่ยงการส่งจ่ายอากาศที่มีความดันสูง และปริมาณมากๆ ไปยังอุปกรณ์ที่มี ขนาดเล็ก แต่ควรพิจารณาการติดตั้งเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดเล็กเพิ่มเติมแทนให้กับอุปกรณ์ในสถานที่นั้นๆ



รูปที่ 1.9 คุณลักษณะการทำงานเครื่องอัดอากาศ

### 1.1.2.4 ระดับคุณภาพของอากาศที่ต้องการ

เครื่องอัดอากาศที่ไม่มีน้ำมัน (Oil free compressor) เหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตอากาศ เพราะอากาศจะมีคุณภาพสูงกว่าเครื่องอัดอากาศชนิดที่มีน้ำมัน

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศชนิดไม่มีน้ำมันกับชนิดมีน้ำมัน

| เครื่องอัดอากาศชนิดไม่มีน้ำมัน                                                                                                                                                                                                            | เครื่องอัดอากาศชนิดมีน้ำมัน                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ข้อดี                                                                                                                                                                                                                                     | ข้อดี                                                                                                                                                                                                                                             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีประสิทธิภาพมากกว่าจึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ต่ำกว่า</li> <li>- มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น</li> <li>- ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่รับผลกระทบได้ง่ายๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเภสัชกรรม</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ส่วนมากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ</li> <li>- เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากสำหรับนำมาใช้ในอุตสาหกรรม</li> <li>- น้ำมันมีผลอย่างมากในการระบายความร้อน</li> <li>- ความเร็วรอบต่ำ / ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า</li> </ul>  |
| ข้อเสีย                                                                                                                                                                                                                                   | ข้อเสีย                                                                                                                                                                                                                                           |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง</li> <li>- ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง</li> <li>- จำเป็นต้องอัดอากาศหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้ความดันที่ต้องการ</li> <li>- เครื่องอัดอากาศมีความซับซ้อนมากกว่า</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องทำการซ่อมแซมบ่อย</li> <li>- มีการบำรุงรักษาและเปลี่ยนน้ำมันบ่อย</li> <li>- ต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพอากาศจะสูงกว่าและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมากกว่า (เนื่องจากความดันลดลงที่ตัวกรองน้ำมัน)</li> </ul> |

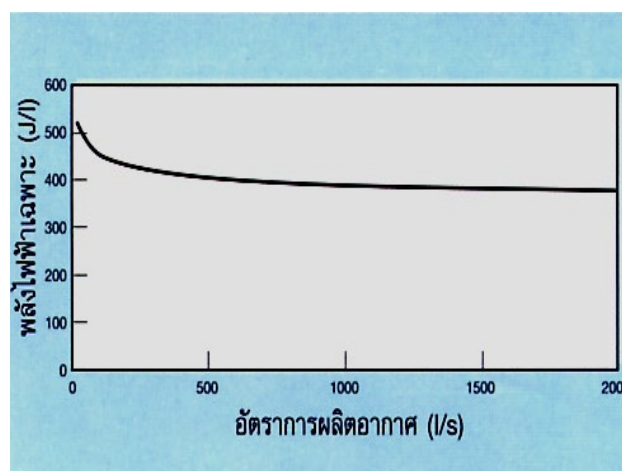
#### 1.1.2.5 รูปแบบความต้องการอากาศอัด

ปริมาณความต้องการอากาศอัดแต่ละโรงงานมีความต้องการแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการไปใช้ประโยชน์ เครื่องอัดอากาศจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานมีโหลดเต็มพิกัดหรือใกล้เคียงเต็มพิกัด

##### ● อัตราการผลิตอากาศของเครื่องอัดอากาศ

คือ การผลิตอากาศให้เพียงพอกับความต้องการโดยมีความดันที่เหมาะสมและอากาศอัดมีคุณภาพ ค่าใช้จ่ายต่ำสุดเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศที่เพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดที่เพิ่มขึ้นดังรูป

ถ้าเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมี ประสิทธิภาพสูงแต่นำมาใช้กับสภาวะโหลดบางส่วนก็คงไม่เหมาะสมเช่นกันดังนั้นเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดเล็กแต่ทำงานใกล้เคียงกับพิกัดจะมีประสิทธิภาพการใช้งานที่เหมาะสมกว่า



รูปที่ 1.10 อัตราการผลิตเทียบกับพลังงานไฟฟ้า

### 1.1.3 การควบคุมการทำงานของระบบอากาศอัด (Operation control of air-compressor)

#### 1.1.3.1 การควบคุมการทำงานของระบบอากาศอัด

เครื่องอัดอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่ทำงานน้อยกว่าปกติเพราะเป็นเครื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ตามความต้องการในแต่ละวัน ดังนั้นการควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศอย่างมีประสิทธิภาพทำให้ประหยัดพลังงานได้ประมาณ 5-20 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด หลักเกณฑ์การควบคุมเครื่องอัดอากาศ 3 หลักเกณฑ์ที่ต้องคำนึงถึงคือ

1. การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง
2. การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบหลายเครื่อง
3. การควบคุมระบบเครื่องอัดอากาศโดยรวม

(1) การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง เครื่องอัดอากาศมีหลากหลายรูปแบบและมีวิธีการควบคุมเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้มากที่สุดคือ

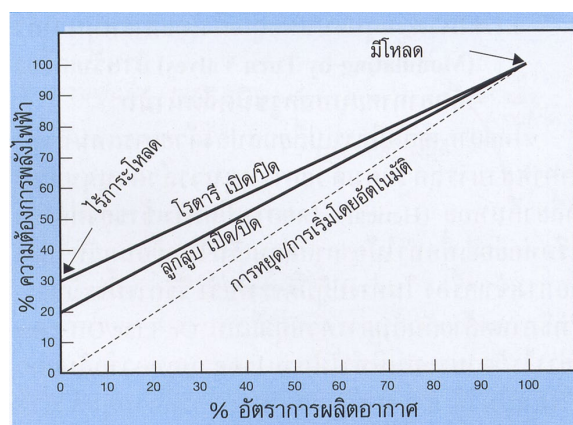
- ก. การเปิด/ปิด เฉพาะเครื่องขนาดเล็ก
- ข. มีภาระและปลดภาระ (On-line/Off-line)
- ค. ลดโหลด (Unloading) ใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ
- ง. แบบมอดูเลตติ้ง (Modulating)

#### 1.1 ระบบเปิด/ปิดอัตโนมัติ (Automatic start/stop) ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู

สำหรับเครื่องอัดอากาศที่มีอัตราการผลิตอากาศน้อยกว่า 10 ลิตรต่อวินาที มอเตอร์เครื่องอัดอากาศจะปิดเมื่อไม่ต้องการใช้งาน จะเปิดเมื่อมีการทำงานพร้อมกับการใช้พลังงานอย่างคงที่ ณ ระดับความดันปกติ อย่างไรก็ตามอาจมีปัญหาที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เกิดขึ้นกับความต้องการที่มีโหลดบางส่วนจากการเปิด/ปิดบ่อยๆ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่

#### 1.2 ระบบควบคุมแบบมีภาระ/ปลดภาระ (On-line / Off-line) ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเวนและสกรู

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู ส่วนมากจะใช้กับระบบควบคุมแบบมีภาระ/ปลดภาระ (On-line/Off-line)



รูปที่ 1.11 การควบคุมแบบมีภาระ / ปลดภาระ (On-line / Off-line)

จากรูปที่ 1.11 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมแบบมีภาระ / ปลดภาระ (On-line / Off-line) โดยมีโหลดบางส่วน และยังแสดงให้เห็นถึงอัตราเฉลี่ยของความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ภาระโหลดเฉพาะ

การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบบางรุ่นโดยการปิดวาล์วอย่างสมบูรณ์ที่ท่อทางเข้าของอากาศ การปิดวาล์วที่ตำแหน่งท่อดูดจะทำให้มีผลต่อการปลดภาระ เมื่อระบบความดันอยู่ที่ระดับสูงสุดที่กำหนดไว้จะทำให้การทำงานของเครื่องอัดอากาศย้อนกลับมาที่มีภาระที่ระดับความดันต่ำตามที่กำหนดไว้ การควบคุมแบบนี้จะทำให้ประหยัดพลังงานได้อย่างมากในการใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ การใช้พลังงานจะลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเต็มพิกัด

สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรูและแบบโรตารีเวนชนิดมีน้ำมัน ปกติจะมีระบบฉีดน้ำมันเพื่อรักษา ระดับความดัน ซึ่งจะทำให้มีการใช้พลังงานในช่วงไม่มีภาระโหลดประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเต็มพิกัด

การใช้ On-line / Off-line ควบคุมการไหลที่ท่อทางเข้าของเครื่องอัดอากาศแบบสกรูชนิดไม่มีน้ำมัน จะคล้ายกับวิธีการที่อธิบายมาแล้วข้างต้น โดยส่วนใหญ่เครื่องอัดอากาศชนิดไม่มีน้ำมันจะทำงาน 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นการควบคุมอัตราการไหลเวียนของอากาศ ในขั้นตอนที่ 2 จะนำกลับมาที่ท่อทางเข้าเพื่อลดอุณหภูมิที่ชุดหล่อเย็น ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานได้น้อยกว่าเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรูชนิดใช้น้ำมัน

การควบคุมแบบมีภาระ / ปลดภาระและแบบอัตโนมัติ (On-line/ Off-line + Auto) สวิตช์ปิดอัตโนมัติของมอเตอร์ จะทำงานเมื่อเครื่องทำงานโดยไม่มีโหลดตามที่ผู้ใช้กำหนดเวลาไว้และเครื่องจะเปิดใหม่เมื่อต้องการอากาศอัด การหยุด/การเริ่มเดินอัตโนมัติทำให้สามารถนำระบบซอฟต์แวร์สตาร์ทเตอร์ (Soft starter) มาใช้กับมอเตอร์ เมื่อต้องการเปิด-ปิดเครื่องบ่อยๆ ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมาก

### 1.3 การควบคุมแบบหลายขั้นตอน (Clearance pocket unloading) เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

เป็นความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของอากาศที่ท่อทางเข้ากับความดันป้อนเข้าภายในฝาครอบส่งเข้าไปในกระบอกสูบ มีค่าเท่ากับหนึ่งในสี่ส่วนของอัตราการผลิตอากาศของเครื่องอัดอากาศ ลักษณะเฉพาะของการทำงานที่มีภาระโหลดบางส่วน จะคล้ายๆ กับการควบคุมแบบ On-line/Off-line ที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบแต่สามารถปรับปริมาณอากาศได้ถึง 5 ระดับ คือ 100%, -75%, -50%, -25% และ 0 % อย่างไรก็ตามวิธีนี้ถูกมองว่ามีประสิทธิภาพต่ำ

### 1.4 การควบคุมแบบมอดูเลตติ้งโดยการหมุนวาล์ว (Modulating-by Turn valves) สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรูชนิดฉีดน้ำมัน

โดยอากาศอัดมีการเปลี่ยนแปลงด้วยการแทนที่ของอากาศด้วยการหมุนวาล์วควบคุมแบบเกลียวกันหอย โดยการปิดทางเข้าของท่อรองเพื่อให้อากาศส่วนเกินไหลย้อนกลับไปยังท่อทางเข้าเครื่องวิธีการนี้มีประสิทธิภาพคล้ายการควบคุมแบบ On-line/Off-line อย่างไรก็ตามระบบนี้ทำให้สามารถควบคุมความดันแตกต่างภายในได้ 0.1 บาร์

### 1.5 การควบคุมแบบมอดูเลตติ้งด้วยคันบังคับการไหลเข้า (Modulating-by Inlet Throttling) สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู

วิธีการนี้นำมาใช้ในการเปลี่ยนแปลงช่องวาล์วโดยยอมให้อากาศบางส่วนไหลมาที่ท่อทางเข้า ทำให้ระบบมีความดันเพื่อขึ้น เพื่อให้อากาศที่ผลิตจากเครื่องลดลง ข้อดีของวิธีนี้สามารถรักษาระดับความดันภายในให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

ถ้ามีการควบคุมการไหลอย่างต่อเนื่องจะทำให้ความดันที่ท่อทางเข้าลดลง และอัตราส่วนของการอัดอากาศเพื่อขึ้นทำให้มีความต้องการใช้พลังงานที่ต่ำ วิธีการควบคุมการไหลของอากาศอัดที่ผลิตได้วิธีนี้จะ

ประสิทธิภาพน้อยกว่าการควบคุมแบบ On-line/Off-line และจะนำมาใช้กับเครื่องอัดอากาศที่มีภาระโหลดสูงเท่านั้น

#### 1.6 การควบคุมแบบมอดูเลตติ้ง ด้วยคันบังคับการไหลเข้า (Modulating-by Inlet Throttling) ร่วมกับการควบคุมแบบ On-line / Off-line สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู

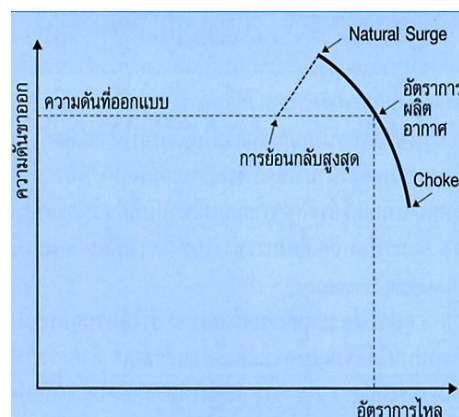
การเลือกการควบคุมแบบมอดูเลตติ้งหรือควบคุมแบบ On-line / Off-line เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการควบคุมมอดูเลตติ้งจะไม่ถูกนำมาใช้กับการทำงานที่มีโหลดต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

#### 1.7 การควบคุมแบบมอดูเลตติ้งด้วยวาล์วที่ท่อด้านดูด (Modulating – by Suction Value) ที่ไม่มีโหลด ใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

การทำงานของวาล์วที่ท่อด้านดูดจะสามารถปรับเพิ่มเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงการควบคุมระยะเวลาระหว่างการเปิดวาล์ว ซึ่งวิธีนี้สามารถที่จะนำมาใช้ควบคุมจังหวะการเปิดให้น้อยลงจากภาวะที่ไร้ภาระโหลดจนถึงภาวะที่มีโหลดเต็มพิกัด

#### 1.8 การควบคุมแบบมอดูเลตติ้งด้วยวาล์วควบคุมการไหลที่ทางเข้าพร้อมกับท่อบายพาส (Modulating – by Inlet throttle with bypass) ใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ

เครื่องอัดอากาศแบบไดนามิก (Dynamic) จะถูกออกแบบเพื่อให้มั่นใจว่า จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของอุณหภูมิสูงและความดันต่ำในแต่ละวัน ดังแสดงในรูปที่ 1.12 รวมทั้งการไหลย้อนกลับของอากาศทันทีทันใดภายในเครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 1.12 การควบคุมแบบมอดูเลตติ้งด้วยวาล์วควบคุมการไหลที่ทางเข้าพร้อมกับท่อบายพาส

การควบคุมวิธีนี้เป็นวิธีที่ทำให้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการควบคุมแบบมอดูเลตติ้ง การใช้พลังงานจะลดลงเหลือ 70 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเต็มพิกัด



### 1.9 การควบคุมอากาศด้วยใบนำร่องทางเข้ากับบายพาส (Inlet Guide Vanes with Atmospheric Bypass) ใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ

จะเป็นใบพัดชนิดปรับมุมได้ที่ตั้งอยู่ที่ท่อดูดของเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ การควบคุมวิธีนี้นิยมใช้มากกว่าการควบคุมการไหลที่ท่อทางเข้า ซึ่งจะทำให้การทำงานที่มีโหลดบางส่วนมีประสิทธิภาพมากกว่าและประสิทธิภาพลดลงภายในระยะที่กำหนด

### 1.10 การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic dual control ) ใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ

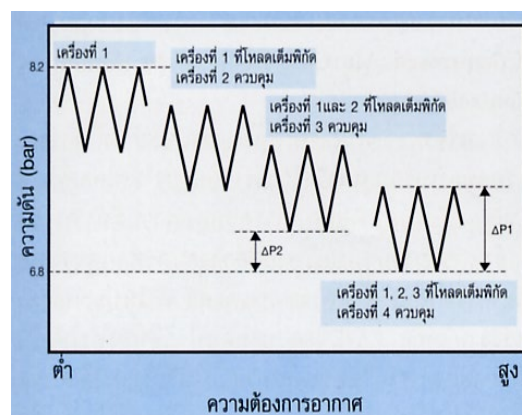
เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียของอากาศอัดจากการทำงานโดยวิธีการควบคุมแบบอัตโนมัติ สามารถที่จะนำมาใช้เพื่อหาเหตุผลของจุดย้อนกลับสูงสุดและอยู่ใกล้กับวาล์วควบคุมการไหลท่อทางเข้า การควบคุมวิธีนี้จะใช้วิธีการเดียวกับ Modulating + On-line/Off-line ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานน้อยลง

### 1.11 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ

การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ ทำให้สามารถผลิตอากาศอัดได้สอดคล้องกับความต้องการ เป็นวิธีที่เหมาะสมกับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ แบบโรตารีเวน และแบบสกรู ที่มีโหลดบางส่วนเป็นระยะเวลานานๆ แต่จะไม่เหมาะกับเครื่องอัดอากาศที่มีโหลดเต็มพิกัดเพราะไม่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน

#### (2) การควบคุมแบบหลายๆ เครื่อง (Multiple compressor control)

ลักษณะการติดตั้งเครื่องอัดอากาศส่วนใหญ่จะมีเครื่องอัดอากาศมากกว่า 1 เครื่อง เพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างดีและเหมาะสมที่สุดเหมาะกับความต้องการ วิธีการควบคุมแบบอัตโนมัติที่เหมาะสมกับเครื่องอัดอากาศหลายๆเครื่องที่นิยมใช้อยู่ มี 2 วิธี คือ

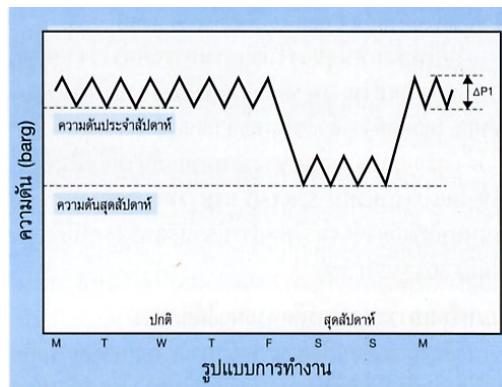


รูปที่ 1.13 การควบคุมความดันตามลำดับขั้น



## 2.1 การควบคุมความดันตามลำดับขั้น ( Cascade pressure control)

เป็นการควบคุมพื้นฐานของสวิตช์ควบคุมความดันของเครื่องอัดอากาศซึ่งนำไปสู่การควบคุมเครื่องจำนวนมากเพื่อป้องกันความดันตกต่อเนื่อง



รูปที่ 1.14 การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์

จากรูปแสดงการทำงานของเครื่องอัดอากาศ โดย เครื่อง 1. “เครื่องสำคัญที่สุด” ที่กำหนดให้มีความดันสูงที่สุดสำหรับการอัดอากาศต่ำๆ ซึ่งถ้ามีการอัดอากาศเพิ่มขึ้น ความดันจะลดลงนำไปสู่การทำงานของเครื่องที่ 2. และจะส่งต่อไปยังเครื่องต่อไป จนถึงระดับความดันที่ต้องการอากาศสูงสุดสำหรับเครื่องอัดอากาศทั้ง 4 เครื่อง

## 2.2 การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic control)

การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาใช้กับการควบคุมตามลำดับขั้นบนพื้นฐานของการรวมความดัน และความดันอากาศที่สัมพันธ์ วิธีนี้จำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการกำหนดความดันที่ต่อเนื่องกันสำหรับเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง ซึ่งความดันที่เกิดขึ้นจะผันแปรสอดคล้องกับความต้องการความดันอากาศอัด และอาจมีความดันต่ำเกิดขึ้นระหว่างช่วงเย็นและสุดสัปดาห์

### (3) การควบคุมระบบโดยรวม (Overall system control)

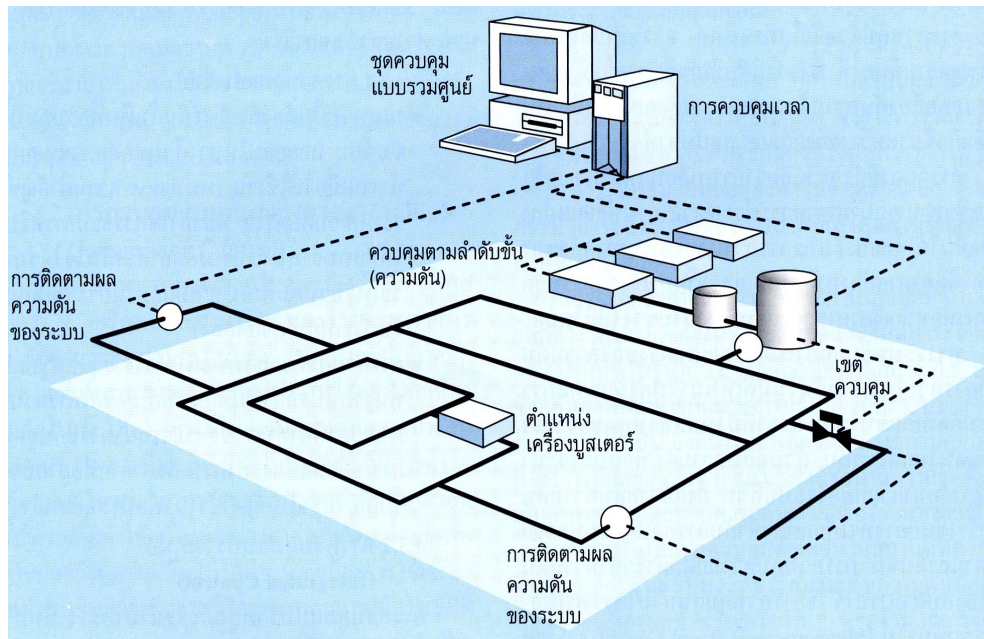
โดยทั่วไประบบควบคุมที่มีความซับซ้อนมากจะสามารถยืดหยุ่น และประหยัดพลังงานที่มากขึ้น แต่ต้องระมัดระวังระดับความดันอากาศของระบบทั้งหมด ต้องติดตามตรวจวัดเพื่อให้มั่นใจว่าทำงานถูกต้องอย่างต่อเนื่อง และเชื่อมต่อกับระบบการจัดการอาคารสำนักงาน (Building management system)

#### 3.1 การควบคุมอย่างง่าย

- ระบบจำเป็นต้องสัมพันธ์กันกับพื้นที่ควบคุมที่ไม่ซับซ้อน และยอมให้บางส่วนของระบบหยุดการทำงานเมื่อไม่ได้ใช้งาน
- การควบคุมด้วยสวิตช์เวลาอย่างง่าย ๆ เป็นรูปแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด ซึ่งสามารถนำมาใช้กับจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของการผลิตอากาศที่อยู่ไกลออกไป

#### 3.2 การควบคุมแบบรวมศูนย์ (Integrated control)

การควบคุมแบบรวมศูนย์อาจนำมารวมกับระบบการจัดการอาคาร (Building management system) สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือติดตามผลปฏิบัติงานในโรงงาน แล้วยังสามารถนำมาแสดงให้เห็นถึงความต้องการบำรุงรักษาตามชั่วโมงการทำงาน



รูปที่ 1.15 แสดงการควบคุมแบบรวมศูนย์

**ตัวอย่างที่ 1.1** มีปั๊มที่มีอัตราการไหลที่จุดพิกัด  $Q_N = 10 \text{ m}^3/\text{min}$  เหนือรวม  $H_N = 30 \text{ m}$  ความเร็วรอบ  $N_N = 1500 \text{ min}^{-1}$  ประสิทธิภาพปั๊ม  $\eta_N = 60\%$  เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างเหนือรวมของปั๊มกับอัตราการไหล และความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของปั๊มกับอัตราการไหล มาทำให้เป็นมาตรฐาน (Normalization) ด้วยค่าที่จุดพิกัดจะได้สูตรดังนี้

$$h = 1.25n^2 - 0.25q^2$$

$$\eta^* = 2.0 \left( \frac{q}{n} \right) - \left( \frac{q}{n} \right)^2$$

แต่  $h = \frac{H}{H_N}, \quad n = \frac{N}{N_N}, \quad q = \frac{Q}{Q_N}, \quad \eta^* = \frac{\eta}{\eta_N}$

นอกจากนี้ หากนำคุณลักษณะความต้านทานของภาระมาทำให้เป็นมาตรฐาน จะได้สูตรดังนี้

$$\gamma = 0.5 + 0.5q^2$$

พจน์ที่ 1 ทางขวาของสูตรข้างต้นหมายถึงเหนือจริง และพจน์ที่ 2 จะหมายถึงความสูญเสียของท่อ ให้ปั๊มนี้นี้เดินเครื่องด้วยอัตราการไหล  $Q = 5 \text{ m}^3/\text{min}$  จงเปรียบเทียบกำลังขับเพลลาในกรณีที่ปรับวาล์วด้วยจำนวนรอบที่พิกัดและในกรณีที่ปรับด้วยการควบคุมความเร็ว และให้หาความเร็วในการหมุนของปั๊มในกรณีที่ควบคุมความเร็ว

**วิธีทำ** ในกรณีที่ปรับวาล์ว หากกำหนดให้  $q = 0.5$  และ  $n = 1$  แล้ว

$$h = 1.188, \quad \eta^* = 0.75$$

ดังนั้น เมื่อกำหนดให้กำลังขับเพลลาที่ทำให้เป็นมาตรฐานเท่ากับ  $p$  แล้ว

$$p = \frac{qh}{\eta^*} = \frac{0.5 \times 1.188}{0.75} = 0.792$$

ในกรณีของการควบคุมความเร็ว หากให้  $q = 0.5$  แล้ว  $\gamma = 0.625$

ซึ่งปริมาณนี้จะสมดุลกับเอนโทรปีของปั๊ม จะได้

$$h = 1.25n^2 - 0.25 \times 0.5^2 = 0.625$$

ดังนั้น  $n = 0.742$  ซึ่งเวลานี้  $\eta^* = 0.894$  ดังนั้น กำลังขับเพลลา จะเท่ากับ

$$P = \frac{qh}{\eta^*} = \frac{0.5 \times 0.625}{0.894} = 0.350$$

ในอีกด้านหนึ่ง กำลังขับเพลลา  $P_N$  ของจุดมาตรฐาน จะเป็น

$$P_N = \frac{Q_N H_N}{6.12 \eta_N} = 81.7 \text{ kW}$$

จากสิ่งเหล่านี้ กำลังขับเพลลาเมื่อปรับวาล์วจะเท่ากับ 64.70 kW กำลังขับเพลลาเมื่อควบคุมความเร็วจะเท่ากับ 26.60 kW การควบคุมความเร็วจะทำให้สามารถลดกำลังขับเพลลาได้ถึง 36.10 kW นอกจากนี้ความเร็วรอบของปั๊มเมื่อทำการควบคุมความเร็วจะเท่ากับ  $1,112 \text{ min}^{-1}$

#### 1.1.4 ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

กำลังขับเคลื่อนตามทฤษฎีของเครื่องอัดอากาศ จะมีความซับซ้อนเล็กน้อย ในกรณีของการอัดไม่ถ่ายเทความร้อน ระหว่างความดันก๊าซกับปริมาตร จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$pV^K = \text{ค่าคงที่} \quad (1.1)$$

โดย  $K$  คือ Specific heat ratio (Adiabatic index) = ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ / ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่

จากความสัมพันธ์นี้ กำลังขับเคลื่อนตามทฤษฎี  $P$  เพื่อทำการอัดปริมาณลม  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{min}$ ] ตั้งแต่ความดัน  $P_1$  [Pa] จนถึง  $P_2$  [Pa] จะเท่ากับสูตรต่อไปนี้

$$P = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{P_1 Q}{60000} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \text{ [kW]} \quad (1.2)$$

ดังนั้น หากให้ผลคูณของประสิทธิภาพเชิงกลและประสิทธิภาพการกันความร้อนเท่ากับ  $\eta$  [%] และให้ Tolerance เท่ากับ  $\alpha P_m$  กำลังขาออกที่ใช้ในเครื่องมอเตอร์ จะหาค่าได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P_m = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{P_1 Q}{60000} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \cdot \frac{100}{\eta} (1 + \alpha) \text{ [kW]} \quad (1.3)$$

#### 1.1.5 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด

ประเด็นสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานของระบบอากาศอัด

(1) คำนวณต้นทุนของอากาศอัด [ $\text{บาท}/\text{m}^3$ ] แล้วใช้ต้นทุนนี้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายตามปริมาณความสิ้นเปลืองอากาศของอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยอากาศอัด ในจำนวนต้นทุนนี้จะมีค่าไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเป็นหลัก

(2) ปริมาณอากาศขาออกของเครื่องอัดอากาศ โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 7.5-5.5 ที่กำลังขับจำเพาะ [ $\text{kW}/\text{m}^3/\text{min}$ ] (ANR) กล่าวคือเท่ากับ 0.13-0.18 [ $\text{m}^3/\text{min}/\text{kW}$ ] (ANR) ต่อ 7.5 [kW]

(3) เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจะใช้แบบลูกสูบ ขนาดกลางจะใช้แบบสกรู และขนาดใหญ่จะใช้แบบเทอร์โบ เป็นหลัก ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศคือ จะใช้แบบใช้น้ำมันหรือไม่ใช้น้ำมัน จำนวนชั้นของการอัดอากาศ การสิ้นสะท้อน เสียงดัง และวิธีควบคุม Capacity เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระ

(4) หากมีเครื่องอัดอากาศหลายตัว แล้วใช้วิธีควบคุมจำนวนเครื่องให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงภาระ จะทำให้เดินเครื่องได้อย่างอนุรักษ์พลังงานใกล้เคียงกับเส้นกราฟกำลังขับในอุดมคติ และในกรณีที่ทำการจัดกลุ่มเครื่องอัดอากาศ ไม่ควรให้มีกลุ่มเครื่องอัดอากาศประเภทปริมาตรทดแทนเชิงบวก (Positive displacement) รวมกับกลุ่มเครื่องอัดอากาศประเภทไดนามิกส์ (Dynamics) เนื่องจากในสภาวะ Unload เครื่องอัดอากาศประเภทปริมาตรทดแทนเชิงบวก จะสร้างความดันอากาศอย่างต่อเนื่อง ทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้า

(5) สิ่งที่สำคัญคือการอนุรักษ์พลังงานทางด้านผู้ใช้อากาศอัด (การปรับความดันให้เหมาะสม การลดการปล่อยอากาศทิ้งและอากาศรั่ว เป็นต้น)

การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศต้องประกอบด้วย การออกแบบระบบที่ดีการเลือกใช้ประเภทและขนาดให้เหมาะสม ขนาดของถังเก็บอากาศมีปริมาณที่เพียงพอกับลักษณะงาน ขนาดของท่อเมนต้องโตพอที่ทำให้ความเร็วของอากาศไม่สูงเกินไปจนทำให้เสียความดัน และสามารถแยกคอนเดนเสทได้ดี การใช้งานและการบำรุงรักษาที่ดี

#### 1.1.5.1 การเลือกเครื่องอัดอากาศ

(1) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ยังมีจำนวนชั้น (Stage) เพิ่มขึ้นยังมีประสิทธิภาพสูง ส่วนใหญ่ใช้เพียง 2 ชั้น เครื่องอัดอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเหมาะสมกับการรับโหลดที่ไม่สม่ำเสมอได้ดีเนื่องจากมีอุปกรณ์ Un-load ที่ดี การใช้อุปกรณ์ Un-load น้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องแบบอื่นๆ การควบคุมยังสามารถทำเป็นแบบ Multi step ในช่วงการเดิน Part load จะให้ประสิทธิภาพดี

(2) เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู เป็นเครื่องที่มีความสั่นหรือรบกวนน้อยเนื่องจากตัวสกรูไม่ได้สัมผัสกัน การอัดอากาศมีประสิทธิภาพพอสมควรแต่โครงสร้างเป็นตัวสกรูกำหนดให้มีอัตราส่วนความดันคงที่ เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรูเหมาะกับการรับโหลดเต็มพิกัดและสม่ำเสมอ จึงจะให้ประสิทธิภาพที่ดีได้

(3) เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงพอควรเหมาะกับระบบที่ความต้องการอากาศมาก

#### 1.1.5.2 ท่อดูดอากาศ

การออกแบบท่อดูดอากาศควรให้ท่อดูดอากาศจากภายนอก โดยอากาศต้องเย็นแห้งและสะอาด อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำลง  $3^{\circ}\text{C}$  จะทำให้ใช้พลังงานลดลง 1% การอัดอากาศที่แห้งจะช่วยลดการอัดไอน้ำให้ได้ความดันเท่าอากาศและความดันไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำ เรียกว่า คอนเดนเสท ซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ใดๆได้และต้องหาวิธีกำจัดด้วยวิธีต่างๆ ความสะอาดของอากาศจะมีผลต่อฟิลเตอร์ หากมีฝุ่นมากจะทำให้ฟิลเตอร์อุดตัน มีผลให้อากาศไหลเข้าน้อย อัตราส่วนความดันจะสูงขึ้น ทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

#### 1.1.5.3 After cooler

เนื่องจากอากาศที่ดูดเข้าไปมีความชื้นผสมอยู่ด้วยถ้าไม่มี After cooler ความชื้นจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ การติดตั้ง After cooler จะช่วยลดปัญหาการเกิดคอนเดนเสทได้มาก

#### 1.1.5.4 Air dryer

งานบางอย่างต้องการความชื้นในอากาศน้อยหรือมีความสะอาดมาก เช่น อุตสาหกรรม ฟนสี อุตสาหกรรมอาหาร และยา Air dryer จะช่วยแยกความชื้น และทำให้อากาศมีความแห้งมาก

#### 1.1.5.5 ถังเก็บอากาศ

ระบบที่ต้องการความดันอากาศที่สม่ำเสมอ ถังเก็บอากาศจะช่วยให้ลมในระบบมีความสม่ำเสมอ ถังเก็บอากาศยังช่วยลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้อากาศเย็นแยกจากอากาศอัดได้บางส่วน

#### 1.1.5.6 ท่อเมน

ท่อเมนจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ให้ความเร็วของอากาศภายในสูงเกินไป ลักษณะการต่อท่อเมน ในระบบใหญ่นิยมต่อเป็นวงแหวน สำหรับระบบขนาดเล็กต่อเป็นแนวตรงก็ได้ ระบบท่อเมนต้องดูแลให้มีการรั่วของอากาศไม่เกิน 5%

#### 1.1.5.7 ความดันของอากาศอัด

(1) การใช้ความดันของอากาศอัดปกติระบบนิวเมติกส์จะใช้ความดันอากาศไม่เกิน 5 บาร์ โรงงานส่วนใหญ่ผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์แล้วส่งไปตามท่อ แล้วลดความดันที่ตรงจุดใช้งานตามความต้องการของอุปกรณ์ การออกแบบลักษณะนี้ประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานไม่ดี เนื่องจากต้องลดความดันอีกมากที่จุดใช้งาน การออกแบบท่ออากาศส่วนใหญ่การสูญเสียความดันต้องไม่เกิน 5% ถ้าระบบต้องการความดันไม่เกิน 5 บาร์ อาจต้องผลิตอากาศที่ 5.6 บาร์ เมื่อเกิดการลดในท่อ 5% จะเหลือความดันที่ปลายท่อ 5.3 บาร์ ซึ่งเพียงพอกับการใช้งาน

(2) ในกรณีที่ความดันของอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ระดับ เช่น กลุ่มหนึ่งใช้ความดัน 6 บาร์ อีกกลุ่มหนึ่งใช้ความดัน 3 บาร์ ทั้งสองกลุ่มมีปริมาณการใช้อากาศใกล้เคียงกัน โรงงานส่วนใหญ่มักจะผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์ แล้วลดความดันลงให้เหมาะกับจุดที่ใช้งาน ซึ่งกลุ่มที่ใช้ความดัน 3 บาร์ จะสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก การใช้งานลักษณะนี้ควรผลิตอากาศแยกระบบโดยระบบแรกผลิตที่ความดัน 7 บาร์ เพื่อความต้องการความดัน 6 บาร์ และอีกระบบผลิตที่ความดัน 3.5 – 4 บาร์ เพื่อใช้กับความต้องการ 3 บาร์ จะทำให้ลดพลังงานลง 33% เมื่อแบ่งเป็นสองระบบแล้วอาจจะต่อท่อ และลดความดันระหว่างระบบทั้งสองเพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน

(3) ในกรณีที่ความดันของอากาศ แบ่งเป็น 2 ระดับ แต่ในระดับสูงมีจำนวนใช้น้อยกว่า เช่น โรงงานแห่งหนึ่งใช้ความดันที่ 6 บาร์ และ 10 บาร์ แต่ความดันที่ 10 บาร์ มีความต้องการใช้อยู่ระหว่าง 10-15% ของการใช้ทั้งหมด ลักษณะนี้อาจจะผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์ แล้วติดตั้ง Booster เพื่ออัดอากาศจากความดัน 7 บาร์ เป็น 11 บาร์ เพื่อป้อนให้กลับความดัน 10 บาร์ การจัดการลักษณะนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก

#### การดูแลรักษา

ตรวจสอบเครื่องต้นกำลังหรือเครื่องอัดลม และอุปกรณ์  
ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดลม  
ตรวจสอบตำแหน่งของท่อน้ำลมเข้า  
ตรวจสอบขั้นตอนในการบำรุงรักษา  
ตรวจสอบการจัดระบบควบคุม  
ตรวจสอบปริมาณของลมอัดที่จ่ายไปใช้  
ตรวจสอบอุณหภูมิ และความดันที่จ่าย

ตรวจสอบการรั่วต่างๆ  
การรั่วต้องมีการป้องกัน  
ตรวจสอบค่าความดันที่จุดใช้งาน  
ตรวจสอบการใช้งานของเครื่องอัดลม  
ตรวจสอบลักษณะของการใช้งาน

### การติดตั้งและดูแลรักษา

- การติดตั้งท่อลมหลัก
- การต่อท่อย่อยออกจากท่อลมหลัก
- การเดินท่อเมื่อมีสิ่งกีดขวาง
- การติดตั้งอุปกรณ์รองรับท่อลมหลัก
- ตำแหน่งของกรองอากาศ
- ตำแหน่งของอุปกรณ์ปรับความดัน
- ตำแหน่งของอุปกรณ์เติมสารหล่อลื่น
- เลือกใช้อุปกรณ์ถ่ายทอดแรงขับที่เหมาะสม
- บำรุงรักษาที่เหมาะสม (การรั่ว การทำความสะอาดแผ่นกรอง และไส้กรอง เป็นต้น)
- พิจารณารูปแบบการเดินเครื่อง และกำหนดให้เหมาะสม

## 1.2 ประเภทและหลักการทำงานของปั๊ม

ปั๊มมีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งถูกนำมาใช้งานในหลายๆ ด้าน ส่วนปริมาตรก็มีตั้งแต่ร้อยละยี่สิบถึง 6,000 kW ประเภทของปั๊มที่มีการนำมาใช้งานจริงนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

### 1.2.1 ประเภทของปั๊ม

1) ปั๊มแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal pump) เป็นปั๊มประเภทที่สามารถผลิตเสตน้ำโดยการเพิ่มความเร็วน้ำซึ่งเกิดจากการหมุนของใบพัดไปตามตัวเรือนของปั๊ม ซึ่งอัตราการไหลของน้ำจะแปรผันตามความดันด้านขาออก (Discharge) เช่น End suction pump, In-line pump, Double suction pump, Vertical multistage pump, Horizontal multistage pump, Submersible pumps, Self-priming pumps, Axial-flow pumps, และ Regenerative pumps

2) ปั๊มแบบปริมาตรแทนที่เชิงบวก (Positive displacement pump) เป็นปั๊มประเภทที่ให้น้ำเข้าไปแทนที่อยู่ในปริมาตรในเรือนปั๊มอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะสามารถให้อัตราการไหลของน้ำที่คงที่ ถึงแม้ว่าความดันด้านขาออก (Discharge) จะมีการแปรผัน เช่น Reciprocating pumps, Power pumps, Steam pumps, และ Rotary pumps

ปั๊มทำหน้าที่ในการสูบของเหลว จากจุดที่มีเสตนกดดันต่ำ (Low pressure head) โดยส่งของเหลวดังกล่าวออกไปตามระบบท่อ ด้วยเสตนความกดดันที่สูงกว่าเดิม (High pressure head) การที่จะให้ของไหลไหลจากจุดที่มีเสตนกดดันต่ำกว่าไปยังจุดที่มีเสตนความกดดันสูงนั้นจะต้องใช้ปั๊มทำหน้าที่ในการป้อนพลังงานกลให้แก่ของไหลนั้นๆ เพื่อที่จะทำให้ของไหลมีพลังงานที่จะใช้ขับเคลื่อนตัวเอง โดยสามารถเอาชนะความต้านทานที่จะเกิดขึ้นต่อการไหลภายในระบบนั้น ปั๊มจะสูบของไหลจากทางด้านดูด (Suction) และปล่อยไปยังอีกด้านหนึ่ง (Delivery) โดยรับพลังงานจากเครื่องต้นกำลัง อาทิ เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น

ปั๊ม สามารถจำแนกออกเป็นลักษณะทางด้านไฮดรอลิกส์ ได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

- (1) แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)
- (2) แบบโรตารี (Rotary pumps)
- (3) แบบเลื่อนชัก หรือแบบลูกสูบ (Reciprocating pump)
- (4) แบบพิเศษ (Specialized pumps)

ตารางที่ 1.2 ประเภทและหลักการทำงานของปั๊ม

| ประเภทของปั๊ม    |                  | จำนวนชั้นและรูปแบบการดูด      | N <sub>s</sub> | หลักการทำงาน                                                                                                                                                                                           |                                                                                   |
|------------------|------------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| centrifugal pump | turbine* pump    | 1 ชั้น<br>แบบดูดเข้าข้างเดียว | 100 - 250      | น้ำจะไหลเข้ามาที่ข้อไบพัดในทิศทางเกือบตั้งฉากหรือเฉียงเล็กน้อยกับเพลลา จะกำเนิด static head และ dynamic head จากแรงเหวี่ยงของไบพัด                                                                     | แปลง dynamic head เป็น static head ด้วย guide vane และ spiral casing              |
|                  |                  | แบบดูดเข้าสองข้าง             |                |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                   |
|                  | centrifugal pump | หลายชั้น                      | 120 - 200      |                                                                                                                                                                                                        | ไม่มี guide vane จะแปลง dynamic head เป็น static head ด้วย spiral casing เท่านั้น |
|                  |                  | 1 ชั้น แบบดูดเข้าข้างเดียว    | 100 - 450      |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                   |
|                  |                  | 1 ชั้น แบบดูดเข้าสองข้าง      | 120 - 750      |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                   |
| mixed flow pump  |                  | หลายชั้น                      | 120 - 200      | มีโครงสร้างที่อยู่ระหว่าง mixed flow pump กับ axial flow pump น้ำจะเข้าไปในไบพัดในทิศทางเฉียงๆ กับแกน และไหลออกในแนวเฉียง ปั๊มนี้จะกำเนิด static head และ dynamic head ด้วยแรงเหวี่ยงของไบพัดและแรงสูบ |                                                                                   |
|                  |                  |                               | 700-1200       |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                   |
| axial flow pump  |                  |                               | 1200-2000      | น้ำจะไหลเข้าไปในไบพัดตามทิศทางเพลลา แล้วไหลออกในทิศทางเพลลาเช่นกัน ซึ่งจะกำเนิด static head และ dynamic head จากแรงสูบของไบพัด                                                                         |                                                                                   |

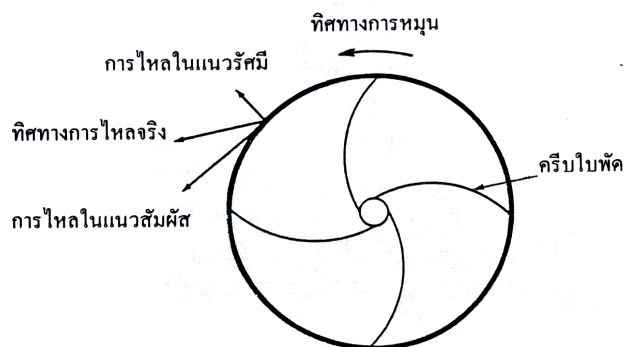
\* หมายถึง Centrifugal pump ที่มี Guide vane

### (1) แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)

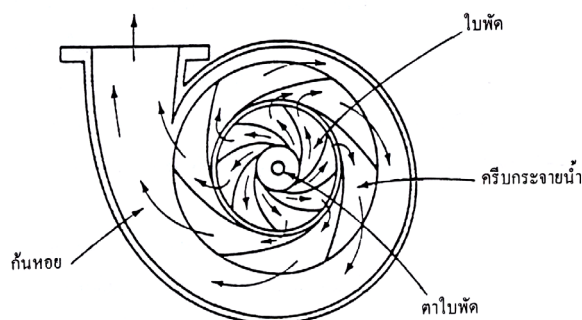
ปั๊มประเภทนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการสูบน้ำ นม สารหล่อลื่น สารละลายเคมี วัสดุทางการเกษตรที่ใช้ในการแปรรูป เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการสูบสูงถึง 90% และยังสามารถออกแบบเพื่อการทำงานที่ระดับความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั๊มจะทำให้เกิดการขับเคลื่อนของไหล เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) หรือไบพัด (Impeller) ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฮดความเร็ว (Velocity head) ให้อยู่ในรูปความดันสถิต (Static pressure) ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับพื้นระนาบ และถูกผลักดันออกไปตามแนวรัศมีของไบพัดหรือโรเตอร์

กลไกการส่งผ่านพลังงานในโรเตอร์หรือไบพัด จะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหลก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบเกิดการขับเคลื่อนของไหลให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวง (Tangential flow) เป็นผลให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) ทำให้เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของไบพัดของไบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวง ทุกทิศทางออกไปทางท่อส่ง ดังนั้น ของไหลที่ถูกขับเคลื่อนออกมาจะมีทิศทางการไหลที่เกิดจากผลรวมของแรงทั้งสอง ดังรูปที่ 1.16





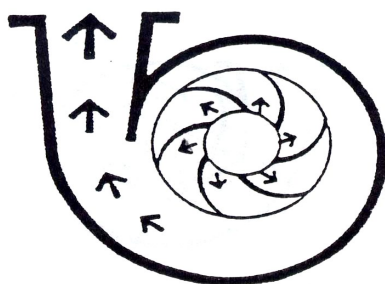
รูปที่ 1.16 ทิศทางการไหลของของไหลขณะผ่านออกจากใบพัดของ Centrifugal pump



รูปที่ 1.17 ลักษณะทั่วไปของ Centrifugal pump

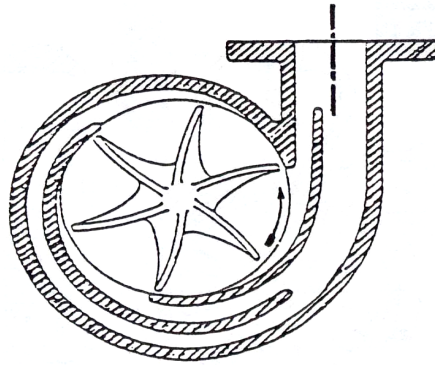
#### (1.1) ปั้มน้ำเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Volute

เป็นปั้มน้ำประเภทแรงดันต่ำ ให้ความดันดันปล่อยน้อยกว่า 30 เมตรของน้ำ ครีบบใบพัดจะหมุน และเหวี่ยงของไหลออกไปกระแทกกับภายในของเรือนปั้มน้ำ ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 ปั้มน้ำเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Volute

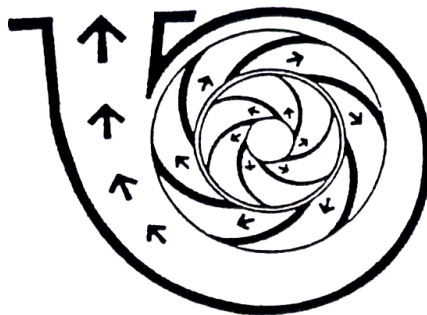
ในกรณีที่ใบพัดหมุนจะเกิดแรงในแนวรัศมีขึ้นซึ่งจะมีผลกระทาต่อเพลลาของใบพัดอาจทำให้เพลลาได้รับความเสียหายได้ จึงออกแบบให้ปั้มมีช่องเพิ่มขึ้นเป็นสองช่อง (Double volute) ดังรูปที่ 1.19



รูปที่ 1.19 ปั้มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Double volute

#### (1.2) ปั้มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Diffuser

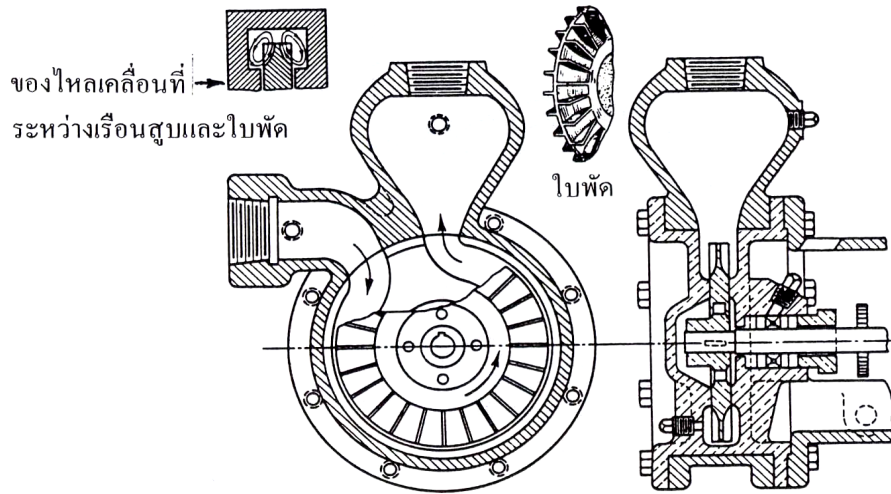
เป็นปั้มประเภทแรงดันปานกลาง (สูงกว่าแบบ Volute) จะมีลักษณะเหมือนกับปั้มแบบ Volute แต่จะมีแผ่นกระจายของไหล (Guide vane) ติดอยู่รอบๆ เรือนของปั้ม และยังทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของของไหลเพื่อที่จะทำให้เกิดความดันที่สูงขึ้น



รูปที่ 1.20 ปั้มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Diffuser

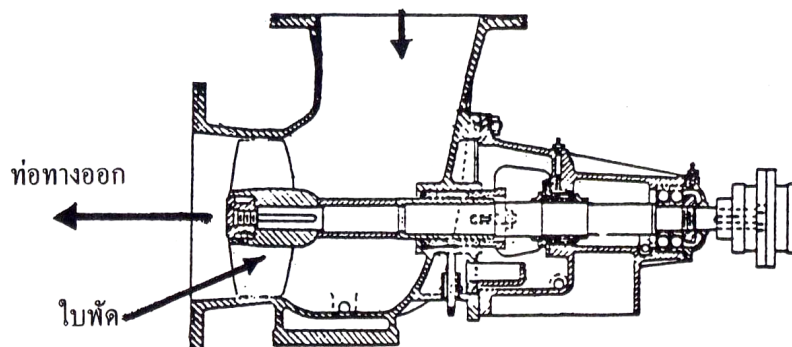
#### (1.3) ปั้มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Regenerative turbine

เป็นปั้มประเภทแรงดันสูง ภายในมีชุดใบพัดหลายใบติดอยู่บนเพลลาเดียวกัน ใบพัด 1 ชุด เรียกว่า 1 สเตจ ของไหลที่ถูกสูบเมื่อไหลออกมาจากสเตจที่หนึ่งก็จะถูกส่งไปยังสเตจต่อไป ทำให้ของไหลมีความดันสูงขึ้นนั่นเอง



#### (1.4) ปั้มน้ำเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Axial flow

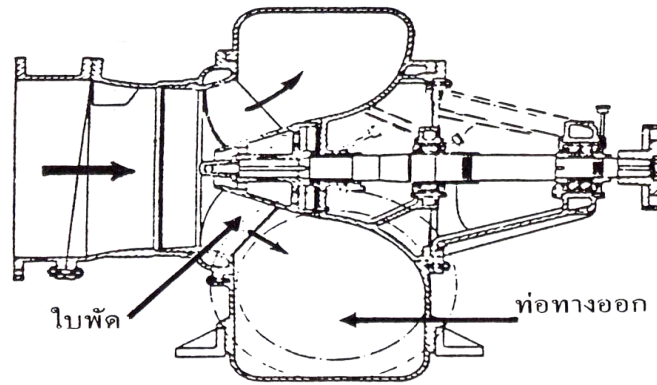
ปั้มน้ำแบบนี้ของไหลจะไหลในแนวแกนเพลาชับ สามารถใช้ได้กับของไหลที่มีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย นิยมใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งต้องการเสดความดันต่ำๆ แต่มีอัตราการไหลสูง



รูปที่ 1.22 ปั้มน้ำเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Axial flow

#### (1.5) ปั้มน้ำเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Mixed flow

ปั้มน้ำแบบนี้จะทำให้การไหล มีการไหลทั้งในแนวแกน และในแนวรัศมีของใบพัดซึ่งจะทำให้เกิดแรงในแนวรัศมี และแรงในแนวแกนขึ้นซึ่งจะช่วยในการขับดันของไหล นิยมใช้กับงานที่ต้องการเสดความดันต่ำๆ แต่มีอัตราการไหลสูง



รูปที่ 1.23 ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Mixed flow

## (2) แบบโรตารี (Rotary pumps)

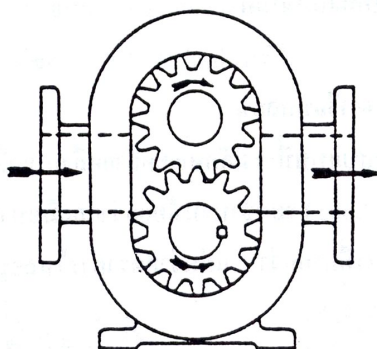
ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวภายในห้องของตัวปั๊มด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนซึ่งหมุนเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในระบบ ของเหลวจะถูกดูดเข้าและอัดให้เกิดแรงดันสูงขึ้น แล้วปล่อยออกมาทางด้านปล่อย ชิ้นส่วนที่หมุนดังกล่าวเรียกว่า โรเตอร์ การหมุนของโรเตอร์ จะก่อให้เกิดการแทนที่ของของเหลวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของไหลที่ไหลผ่านปั๊มมีอัตราการไหลอย่าง ต่อเนื่องตลอดเวลา

ปั๊มแบบนี้จะมีอัตราการสูบลดต่ำกว่าปั๊มประเภทอื่นๆ เนื่องจากอัตราการแทนที่ของเหลวมีค่าต่ำ โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพประมาณ 80 – 85 % ขึ้นอยู่กับการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานและคุณลักษณะของของไหลที่ใช้สูบหรือมากกว่านี้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ดีกว่า

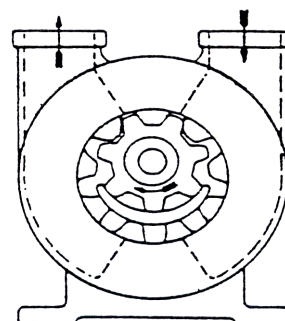
### (2.1) ปั๊มโรตารีแบบเกียร์ (Gear type)

นิยมใช้กันแพร่หลาย ของเหลวจะถูกสูบด้วยอัตราที่ต่อเนื่องกัน ทำให้การไหลเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เหมาะกับงานที่ต้องการสูบของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น ในระบบไฮดรอลิกส์ในระบบหล่อลื่นของเครื่องยนต์ต่างๆ ไป เป็นต้น ภายในตัวเรือนประกอบด้วยเฟืองเกียร์ 2 ตัว หมุนขบกันอยู่ ซึ่งง่ายต่อการซ่อมแซม ทำความสะอาด และสามารถถอดประกอบได้ง่าย ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มประเภทนี้ค่อนข้างสูงเมื่อทำงานกับของไหลที่มีคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่น

ปั๊มประเภทนี้แบ่งย่อยตามลักษณะการวางของเฟืองเกียร์เป็น 2 ลักษณะ ดังรูป



รูปที่ 1.24 External gear pump

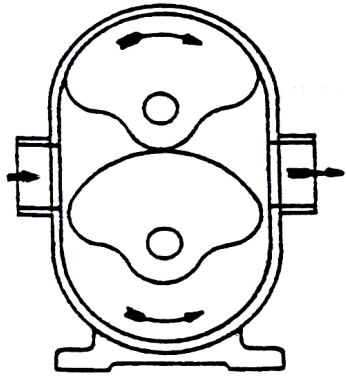


รูปที่ 1.25 Internal gear pump

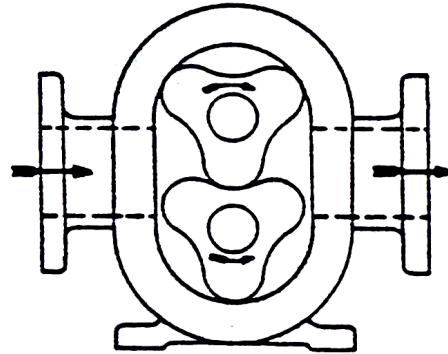
จากรูปที่ 1.24 และรูปที่ 1.25 แสดงปั๊มโรตารีแบบเกียร์ จะเห็นว่าจำนวน และขนาดฟันเกียร์จะมีผลต่ออัตราการไหลของของไหล โดยที่ปั๊มประเภทนี้ใช้กับงานที่อัตราการไหลของของไหลไม่มากนัก

### (2.2) ปั๊มโรตารีแบบลอน

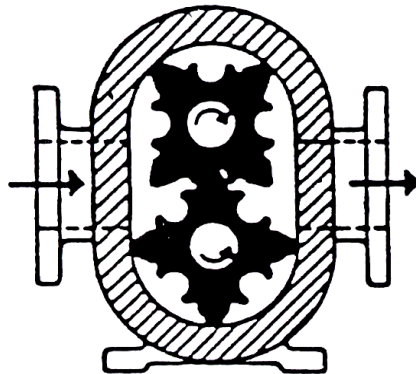
ปั๊มแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับปั๊มแบบ External gear pump นอกจากนี้จำนวนลอน (Lobe) จะมีจำนวนน้อยกว่า และมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถสูบของไหลได้ในปริมาณที่มากกว่าแต่อัตราการไหลจะไม่ค่อยคงที่



ก. แสดง Single – lobe rotary



ข. แสดง Three – lobe rotary

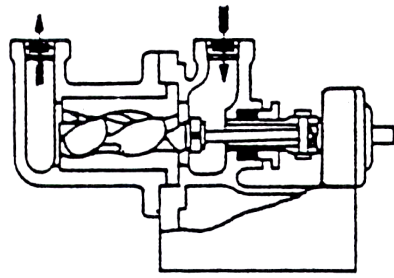


ค. แสดง Four –lobe rotary

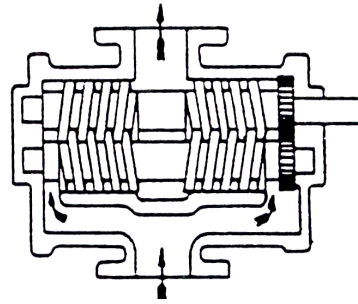
รูปที่ 1.26 ปั๊มโรตารีแบบลอน

### (2.3) ปั๊มโรตารีแบบเกลียว

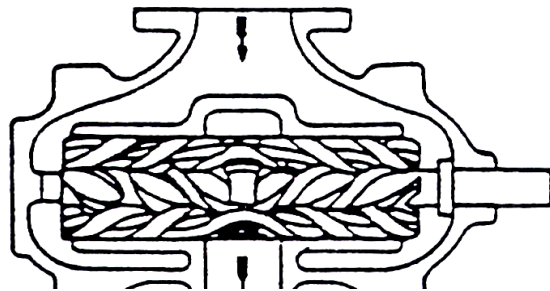
ภายในปั๊มโรตารีแบบเกลียว (Screw) นี้ ภายในจะมีลักษณะเป็นเกลียวหมุนขบกัน การหมุนขบกันของเกลียวจะทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันขึ้นภายในระบบ ทำให้สามารถขับเคลื่อนให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่ได้



ก. Single – screw rotary



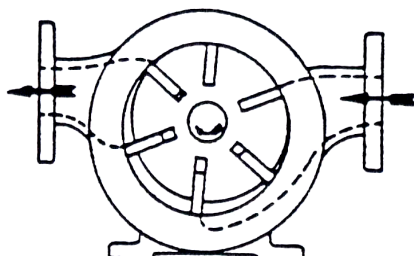
ข. Two – screw rotary



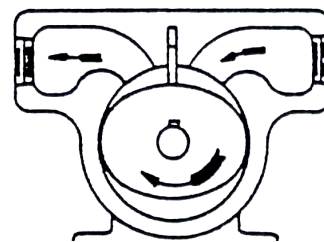
รูปที่ 1.27 ปั๊มโรตารีแบบเกลียว

#### (2.4) ปั๊มโรตารีแบบแผ่นกวาด

ปั๊มโรตารีแบบแผ่นกวาด (Vane) ภายในปั๊มจะมีครีปหรือแผ่นกวาด ซึ่งสามารถเลื่อนเข้า-ออกได้ภายในเรือนปั๊มแรงจากการหมุนของแผ่นกวาดจะทำให้ช่องไหลถูกขั้ตัน และเกิดการเคลื่อนที่ ส่วนปลายของแผ่นกวาดจะสัมผัสกับผนังของเรือนปั๊มอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่หมุนกวาดอยู่ภายในเรือนปั๊มจะทำให้ส่วนปลายของแผ่นกวาดเกิดการสึกหรอเร็วแต่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของความดันภายในระบบ เพราะว่า แผ่นกวาดสามารถที่จะเลื่อนออกมาจนสัมผัสกับผนังของเรือนปั๊มได้เหมือนเดิม



ก. Sliding vane rotary



ข. External vane rotary

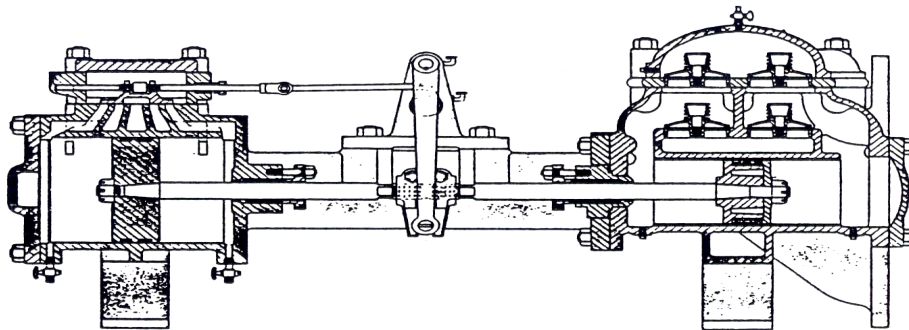
รูปที่ 1.28 ปั๊มโรตารีแบบแผ่นกวาด

### (3) ปั้มนแบบเลื่อนชักหรือแบบลูกสูบ (Reciprocating pumps)

ปั้มนแบบเลื่อนชักจะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ด้วยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเหมาะสมสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเสดในระบบที่สูง ของเหลวที่ใช้ปั้มนประเภทนี้จะต้องมีความสะอาดเพียงพอที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอที่เร็วขึ้น การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปมาของสูบ ไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้ การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ (Pulsation)

#### (3.1) ปั้มนแบบเลื่อนชักแบบขับเคลื่อนโดยตรง (Direct acting)

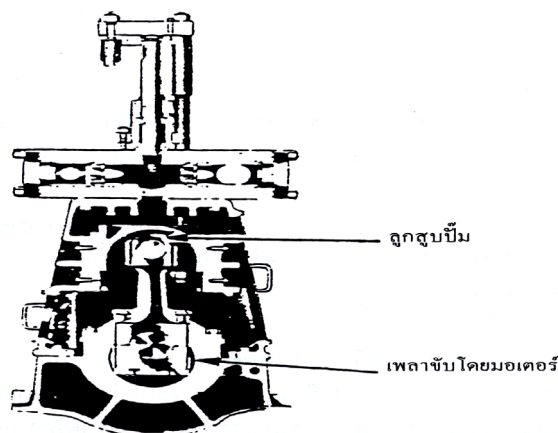
ปั้มนแบบนี้จะใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์หรือไอน้ำ เป็นตัวเพิ่มพลังงานให้แก่ลูกสูบเคลื่อนที่อัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้น ลักษณะการสร้างจะมี 2 แบบ คือ แบบลูกสูบเดี่ยว (Simplex) และแบบ (Duplex) รูปที่ 1.29 แสดงภาพปั้มนแบบเลื่อนชักแบบ Duplex ด้านซ้ายของภาพเป็นส่วนที่ไอน้ำเข้า และด้านขวาเป็นส่วนที่ของไหลออก



รูปที่ 1.29 ปั้มนแบบเลื่อนชักแบบขับเคลื่อนโดยตรง

#### (3.2) ปั้มนแบบเลื่อนชักแบบกำลัง (Power)

ปั้มนแบบนี้จะใช้พลังงานจากภายนอกมาใช้ในการขับเคลื่อน พลังงานดังกล่าวได้จากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลัง ถ่ายทอดกำลังโดยสายพานหรือเพลาคูที่ความเร็วคงที่ปั้มนแบบนี้จะสูบของไหลได้ในอัตราที่เกือบคงที่ ปั้มนแบบนี้จะให้แรงดันขับที่สูง ดังนั้นในการติดตั้งสูบประเภทนี้จะต้องติดตั้งลิ้นระบายความดัน เพื่อช่วยป้องกันระบบท่อส่งและตัวปั้มนไม่ได้รับความเสียหาย เนื่องจากแรงดันที่สูงเกินไป

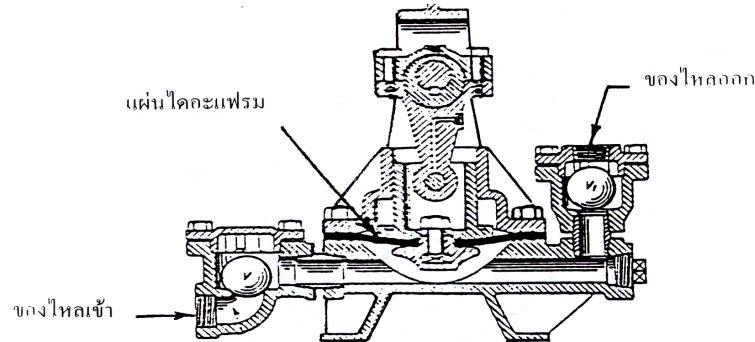


รูปที่ 1.30 ปั้มนแบบเลื่อนชักแบบกำลัง



### (3.3) ปั๊มเลื่อนชักแบบไดอะแฟรม

ปั๊มแบบนี้จะมีแผ่นไดอะแฟรมทำด้วยโลหะ ซึ่งมีความหยุ่นตัวและแข็งแรงจะทำหน้าที่ในการดูดและอัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้น แผ่นไดอะแฟรมจะถูกยึดติดอยู่กับที่นิยมใช้กับงานที่อัตราการสูบไม่มากนักและของไหลมีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย



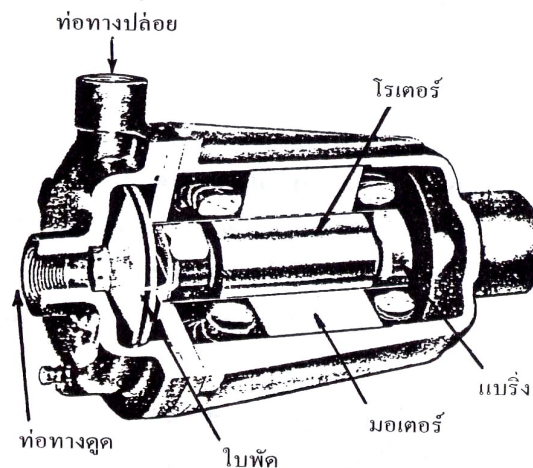
รูปที่ 1.31 ปั๊มเลื่อนชักแบบไดอะแฟรม

### (4) แบบพิเศษ (Specialized pumps)

ปั๊มแบบพิเศษ เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษนอกเหนือไปจากปั๊มแบบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจุบันปั๊มแบบพิเศษมีใช้อย่างแพร่หลายดังนี้

#### (4.1) ปั๊มพิเศษแบบ Canned

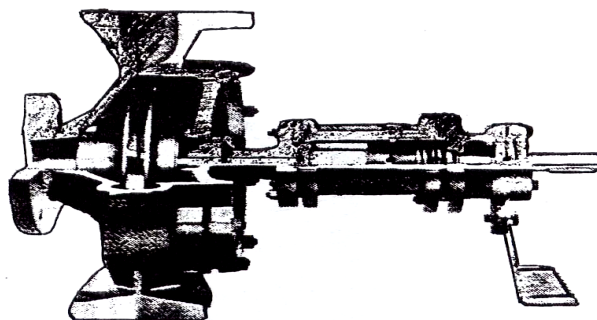
ปั๊มแบบนี้มีคุณสมบัติพิเศษกว่าแบบต่างๆ คือ สามารถป้องกันการรั่วไหลของของไหลได้อย่างสมบูรณ์ ภายในเรือนปั๊มจะมี Impeller rotor หมุนขับเคลื่อนของไหล โดยได้รับกำลังจากมอเตอร์



รูปที่ 1.32 ปั๊มพิเศษแบบ Canned

#### (4.2) ปั้มพิเศษแบบ Intermediate Temperature

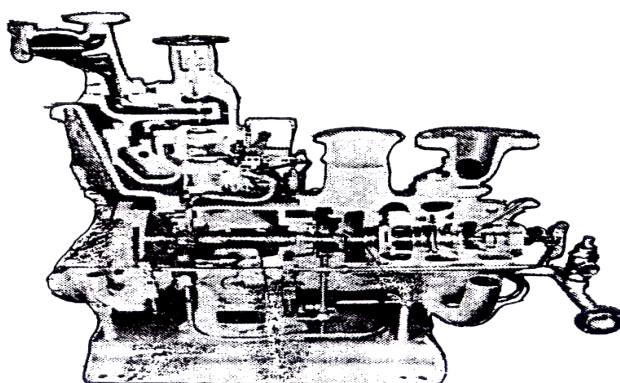
ปั้มแบบนี้ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 300 °C ขึ้นส่วนภายในปั้มถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อสามารถทำให้ทนทานต่อความร้อนจากที่ไหลจากของไหลที่จะใช้สูบได้



รูปที่ 1.33 ปั้มพิเศษแบบ Intermediate temperature

#### (4.3) ปั้มพิเศษแบบ Turbo

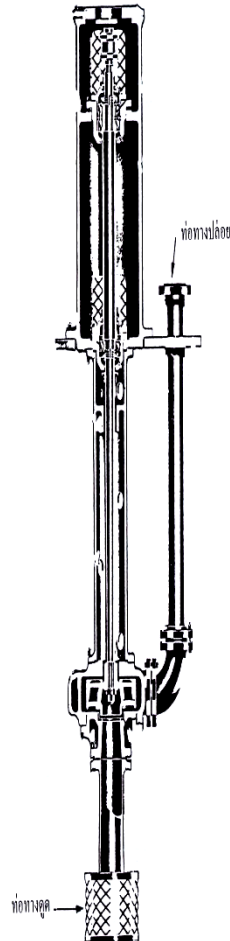
ปั้มแบบนี้จะเป็นการรวมเอากังหันไอน้ำ (Steam turbine) มาใช้ในการขับเคลื่อนปั้มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางปั้มแบบนี้นิยมใช้กับงานที่ต้องการความดันด้านปล่อยสูงมีทั้งแบบหนึ่งสแตจหรือสองสแตจ



รูปที่ 1.34 ปั้มพิเศษแบบ Turbo

#### (4.4) ปั๊มพิเศษแบบ Cantilever

ปั๊มแบบนี้จะติดตั้งในแนวตั้งใช้กับงานที่ไม่ต้องการให้ชุดแบริ่งหรือชิ้นส่วนภายในสัมผัสกับของไหลที่ใช้ในการสูบเนื่องจากปั๊มแบบนี้ได้ออกแบบให้ชุดใบพัดยึดติดกับเพลาลูกสูบโดยไม่มีแบริ่งในตัวปั๊ม แสดงดังรูปที่ 1.35



รูปที่ 1.35 ปั๊มพิเศษแบบ Cantilever



รูปที่ 1.36 ปั๊มพิเศษ แบบ Vertical turbine

#### (4.5) ปั๊มพิเศษแบบ Vertical turbine

ปั๊มแบบนี้จะใช้กับงานสูบน้ำบาดาลที่มีความลึกมากๆ ดังนั้นจึงมีหลายสเตจในเพลาลูกสูบเดียวกันเพื่อที่จะเพิ่มความดันของของไหลให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละสเตจ ทำให้สามารถสูบน้ำจากก้นบ่อที่มีความลึกมาสู่ปากบ่อนพื้นดินได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.36

## 1.2.2 คุณลักษณะและสมรรถนะการทำงานของปั๊ม

คุณลักษณะเมื่อเดินเครื่องปั๊มด้วยความเร็วรอบคงที่แสดงไว้ในรูปที่ 1.37 โดยถือว่าอัตราไหลเสถียรประสิทธิภาพกำลังขับเพลลาที่จุดประสิทธิภาพสูงสุด (จุดอ้างอิง) เท่ากับค่าอ้างอิง (100%) ณ จุดอ้างอิงในรูปข้างต้น เมื่อกำหนดให้

$Q$  คือ ปริมาณน้ำออก ณ จุดอ้างอิง [ $\text{m}^3/\text{min}$ ] แต่ในปั๊มแบบดูดเข้าสองข้างนั้นให้เท่ากับ  $(1/2) Q$

$H$  คือ เฮดจริง ณ จุดอ้างอิง [ $\text{m}$ ] แต่ในกรณีของปั๊มหลายชั้น จะให้เป็นค่าของแต่ละชั้น

$N$  คือ ความเร็วรอบ [ $\text{min}^{-1}$ ]

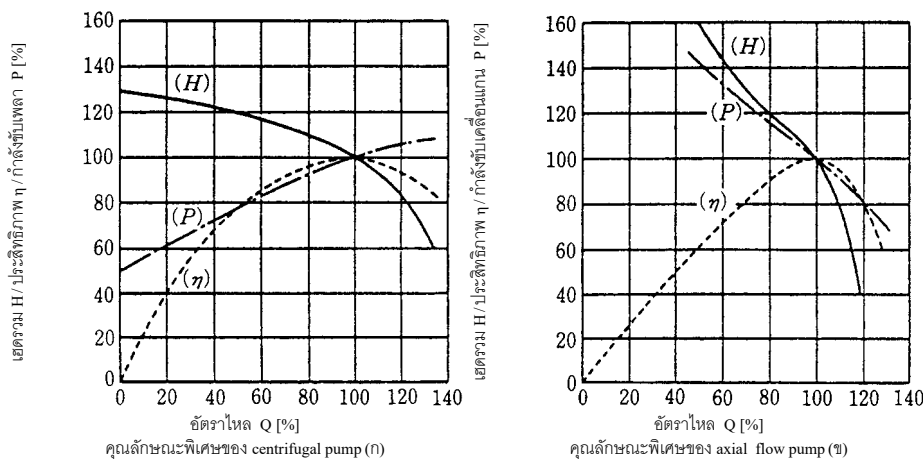
ในกรณีนี้ จะเรียกค่า  $N_s$  ตามสูตรต่อไปนี้

$$N_s = N \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (1.4)$$

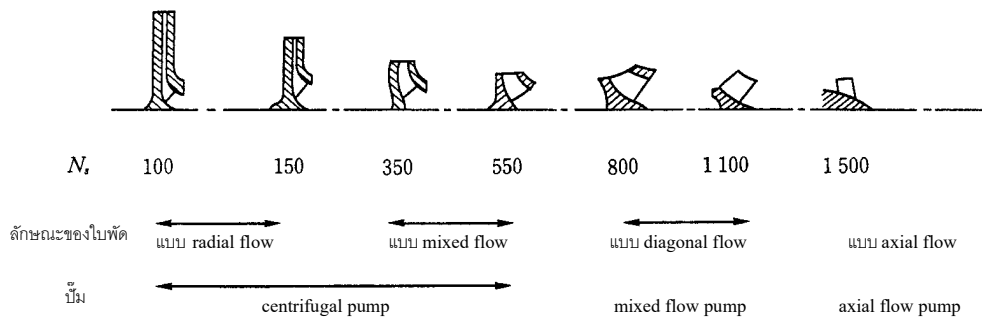
ความเร็วจำเพาะเป็นสิ่งขึ้นกับลักษณะของใบพัด ดังจะเห็นได้จากสูตรว่า ยิ่งปั๊มที่มีอัตราไหลสูงและมีเฮดต่ำ (เช่น Axial flow pump)  $N_s$  จะมีค่ามากขึ้น และยิ่งปั๊มที่มีอัตราไหลต่ำและมีเฮดสูง (เช่น Turbine pump)  $N_s$  จะมีค่าน้อยลง รูปที่ 1.38 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความเร็วจำเพาะกับลักษณะของใบพัด

เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบของปั๊ม ทั้งอัตราไหลและเฮดจะเปลี่ยนไปด้วย แต่จากการที่  $N_s$  มีค่าคงที่ ความสัมพันธ์พื้นฐานของปั๊มจึงมีดังต่อไปนี้ โดย  $P$  เท่ากับกำลังขับเพลลา

$$Q \propto N, \quad H \propto N^2, \quad P \propto N^3 \quad (1.5)$$



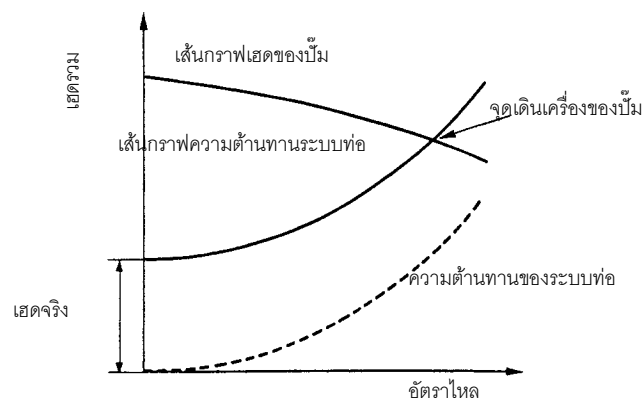
รูปที่ 1.37 คุณลักษณะของปั๊ม



รูปที่ 1.38 ลักษณะของใบพัดกับความเร็วจำเพาะ

ในการเลือกปั๊ม เมื่อพิจารณาความเร็วจำเพาะจากเงื่อนไขของ  $Q$  และ  $H$  จะสามารถระบุแนวทางได้ว่าจะเลือกประเภทใด

ปั๊มนั้นไม่จำกัดว่าจะถูกเดินเครื่องด้วยเงื่อนไขคงที่ตลอดเวลาหรือไม่ว่าจะพิจารณาสภาพการเดินเครื่องไหนก็ตาม การเดินเครื่องในขณะนั้นจะมีเสถียรภาพเสมอ ซึ่งสามารถแสดงสภาพทั้งหมดของระบบปั๊มที่รวมถึงวาล์วน้ำเข้าและวาล์วน้ำออก และการเดินท่อน้ำก่อนและหลังปั๊มอยู่ในสภาพที่สมดุล ในสภาพสมดุลนี้เฮดรวมของปั๊ม จะเท่ากับผลบวกระหว่างเฮดจริง ซึ่งเท่ากับผลต่างของระดับน้ำขาเข้าและด้านขาออก กับเฮดสูญเสีย เช่น ความสูญเสียของการเสียดสีของท่อตามการไหลของ ของไหล ดังนั้น ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 1.39 จุดเดินเครื่องของปั๊มนั้น จะระบุได้ด้วยจุดตัดของเส้นกราฟเฮดของปั๊มกับเส้นกราฟความต้านทานของท่อ (เฮดจริง + เฮดสูญเสีย)



รูปที่ 1.39 จุดการเดินเครื่องของปั๊ม

### (1) กำลังขับเพลากับความสัมพันธ์พลังงานของพัดลมและปั๊ม

พลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนของไหลให้ไหลไปในระบบท่อนำเลี้ยงของไหลคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงาน} &= \text{แรง} \times \text{ความเร็วของของไหล (ความเร็วของกระแส)} \\
 &= \text{ความดัน} \times \text{พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางในท่อ} \times \text{ความเร็วของของไหล} \\
 &= \text{ความดัน} \times \text{อัตราไหล (1.6)}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหา กำลังขับเพลากำลังไฟฟ้าขาเข้า และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปของมอเตอร์ที่จะป้อนพลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนให้ลำเลียงอากาศได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์} = \text{ความดัน} \times \text{อัตราไหล} / \text{ประสิทธิภาพของพัดลม} \quad (1.7)$$

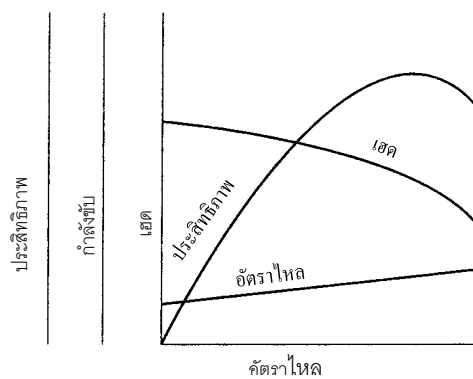
$$\text{กำลังไฟฟ้าเข้าของมอเตอร์} = \text{กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์} / \text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์} \quad (1.8)$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปของมอเตอร์} = \text{กำลังไฟฟ้าเข้าของมอเตอร์} \times \text{ระยะเวลาที่เดินเครื่องมอเตอร์} \quad (1.9)$$

หน่วยที่ใช้ในที่นี้ ความดัน [kPa] อัตราไหล [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] และกำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ [kW]

## (2) เส้นกราฟคุณลักษณะของปั๊ม

เส้นกราฟคุณลักษณะของปั๊ม หมายถึง เส้นกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงเฮด กำลังขับเคลื่อน และประสิทธิภาพของปั๊มเทียบกับอัตราไหลในขณะเดินเครื่องดังรูปที่ 1.40 อนึ่ง คำว่า เฮด หมายถึง แรงดันส่งน้ำที่ปั๊มกำเนิดขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกของความดันเทียบเท่ากับความสูงของสามารถสูบน้ำขึ้นไปจริง (เฮดจริง) กับแรงต้านของระบบท่อ เช่น แรงต้านจาก แรงเสียดทานของท่อ แรงต้านจากอุปกรณ์ต่างๆ และกับความดันน้ำที่ปลายท่อขาออก (ดูรูปที่ 1.41) ซึ่งเฮดในที่นี้จะเท่ากับเฮดรวม ในสูตรที่ (1.18) กรณีที่ระบบท่อเป็น วงจรปิด เช่น ปั๊มหมุนเวียนในระบบปรับอากาศ จะมีเฮดจริงเท่ากับศูนย์



รูปที่ 1.41 กราฟคุณลักษณะของปั๊ม

การทำความเข้าใจคุณลักษณะของปั๊ม และกฎการแปรผันที่จะกล่าวต่อไปนี้ รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบกับพลังงาน และคุณลักษณะที่ขึ้นอยู่กับระบบท่อต่างๆ เป็นความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในการเดินเครื่องปั๊มอย่างเหมาะสมและอนุรักษ์พลังงาน

## (3) กฎการแปรผันและกฎความคล้ายของปั๊ม

อัตราไหลของของไหลจะแปรผันตามความเร็วรอบของปั๊ม ความดันสูญเสียในท่อลมและท่อน้ำที่ต่ออยู่กับปั๊ม จะแปรผันตามกำลังสองของความเร็วรอบ (ความเร็ว) ตามสูตร (1.5) นั่นคือ แปรผันตามอัตราไหลกำลังสองนั่นเอง ดังนั้น หากความเร็วรอบเปลี่ยนแปลง ความดันจะแปรผันตามกำลังสองของความเร็วรอบ และกำลังขับเคลื่อนจะแปรผันตามกำลังสามของความเร็วรอบ ตามสูตร (1.7) ความสัมพันธ์นี้เรียกว่ากฎการแปรผัน ซึ่งแสดงได้ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.10)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (1.11)$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{V_1 P_1}{V_2 P_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (1.12)$$

ในสูตรข้างต้น  $V_1, V_2$  แทนอัตราไหล  $n_1, n_2$  แทนความเร็วรอบ  $P_1, P_2$  แทนความดัน  $W_1, W_2$  แทนกำลังขับเพลานอกจากนี้ เมื่อเดินเครื่องปั๊มที่ลักษณะคล้ายกันภายใต้สภาวะที่คล้ายกัน (เช่น จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด) และสมมติว่าประสิทธิภาพของปั๊มเท่าเดิมแล้ว การไหลภายในปั๊มทั้งหมดจะมีลักษณะคล้ายกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D$  ความเร็วรอบ  $n$  กับอัตราไหล ความดัน และกำลังขับเพลาคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ เรียกว่า กฎความคล้าย

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^3 \quad (1.13)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^5 \quad (1.14)$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^5 \quad (1.15)$$

กฎการแปรผันและกฎความคล้ายบอกเราว่าหากเรามีปั๊มที่มีกำลังมากเกินไป (มีขนาดใหญ่เกินไป) ไม่เพียงแต่การลดขนาดท่อน้ำเพื่อให้เกิดแรงต้านมากขึ้นเท่านั้น แต่หากเปลี่ยนขนาดของปั๊ม (ใบพัด) หรือความเร็วรอบ ก็สามารถลดการใช้พลังงานลงอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย วิธีการนี้เป็นกลวิธีอนุรักษ์พลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกใช้หรือดัดแปลงอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยของไหล

## 1.2.4 คุณลักษณะการเดินเครื่องของปั๊ม

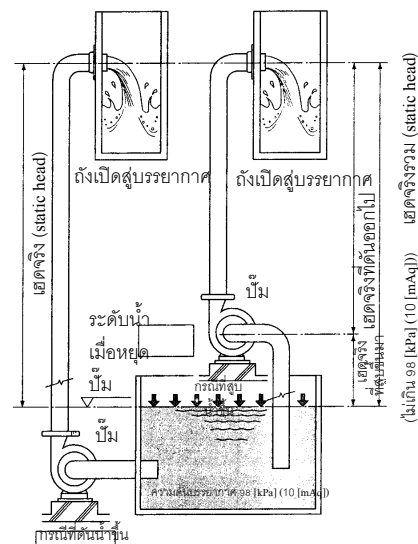
### 1) การเดินเครื่องปั๊ม

ต่อไปนี้จะยกปั๊มมาเป็นตัวอย่างในการอธิบายจุดเดินเครื่องโดยใช้กราฟคุณลักษณะ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำกับแรงต้านในระบบ ท่อเรียกว่ากราฟแรงต้าน ตามที่อธิบายในหัวข้อที่แล้วว่าแรงต้านของระบบที่จะแปรผันตามกำลังสองของอัตราไหล ดังนั้น กราฟแรงต้านจึงสามารถแสดงได้ด้วย เส้นโค้งกำลังสอง เมื่อนำไปวาดซ้อนกับกราฟคุณลักษณะของปั๊มจะได้รูปที่ 1.41

ในรูปที่ 1.41 ปั๊มจะเดินเครื่องที่จุดตัด

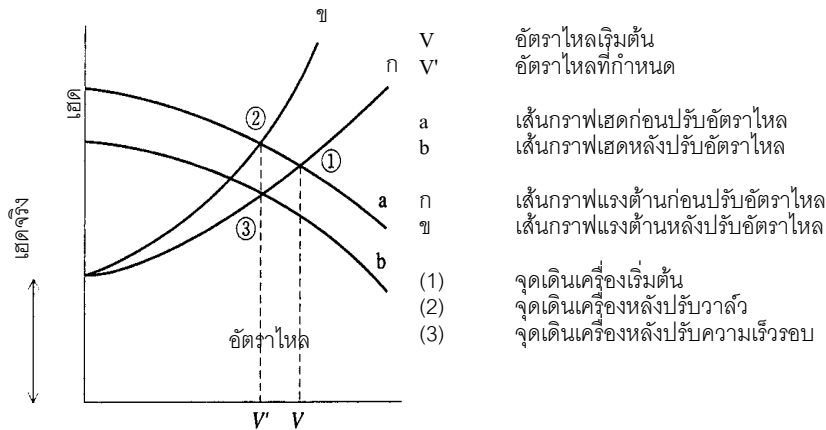
(1) ระหว่างเส้นกราฟ a ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของ

เฮดของปั๊มกับเส้นกราฟแรงต้าน จากการเดินเครื่องปั๊ม เมื่ออัตราไหลสูงกว่าอัตราไหลที่กำหนด จะต้องทำการปรับอัตราไหลด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ในกรณีนี้ โดยทั่วไปจะปรับอัตราไหลด้วยการปรับวาล์ว อย่างไรก็ตามการดำเนินการเช่นนี้เท่ากับการย้ายจุดเดินเครื่องจาก (1) ไปยัง (2) ในรูปที่ 1.42



รูปที่ 1.41 เฮดของปั๊ม





รูปที่ 1.42 คุณลักษณะการเดินเครื่องปั๊ม

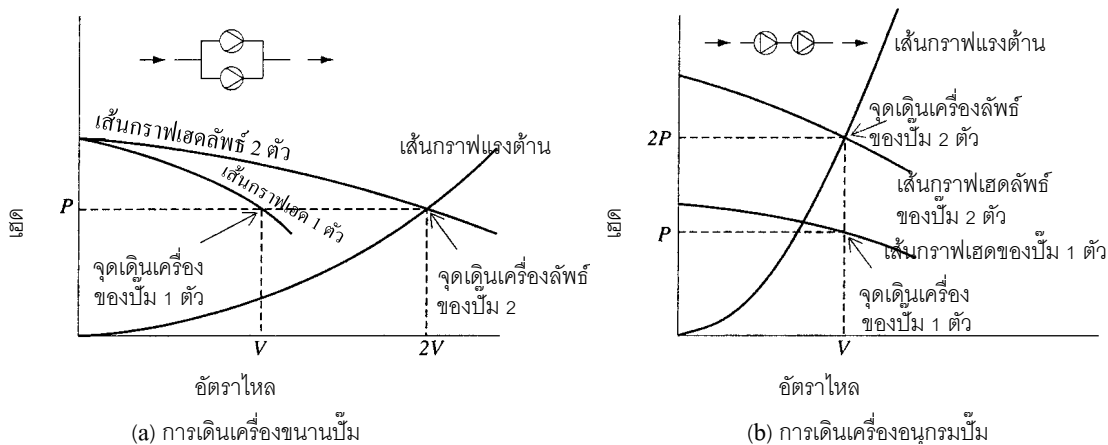
กรณีที่ปั๊มไม่ใช้วาล์วปรับอัตราไหล แต่ใช้วิธีควบคุมความเร็วรอบ เนื่องจากเฮดจะแปรผันตามกำลังสองของความเร็วรอบตามเส้นกราฟ b ในรูปที่ 1.42 ด้วย ดังนั้น จุดเดินเครื่องจึงย้ายไปอยู่ที่ (3) เทียบกับจุดเดินเครื่อง (2) แล้วจะสามารถเดินเครื่องได้โดยอนุรักษ์พลังงานมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับที่อธิบายไปแล้วในหัวข้อก่อน

## 2) การเดินเครื่องขนานและการเดินเครื่องอนุกรม

ในอุปกรณ์จริงๆ บ่อยครั้งที่เราต้องเดินเครื่องปั๊มและพัดลมแบบขนานหรืออนุกรมเพื่อรองรับคุณลักษณะของภาระการใช้งาน ในที่นี้จะอธิบายจุดเดินเครื่องเมื่อเดินเครื่องขนานและเดินเครื่องอนุกรมโดยใช้เส้นกราฟคุณลักษณะ

กรณีที่เดินเครื่องขนานและเดินเครื่องอนุกรม เราต้องนำคุณลักษณะของปั๊มมาคำนวณประกอบกันเป็นคุณลักษณะลัพธ์ โดยใช้หลักการว่าในการเดินเครื่องขนาน ปั๊มแต่ละตัวจะมีความดันเท่ากัน และในการเดินเครื่องอนุกรม ปั๊มแต่ละตัวจะมีอัตราไหลเท่ากัน แรงต้านลัพธ์ในกรณีที่ต่อขนานปั๊มที่มีความจุ (Capacity) เท่ากัน 2 ตัว จะเท่ากับแรงต้านในแนวแกนอัตราไหลของปั๊ม 2 ตัวบวกกันตามรูปที่ 1.43 (a) และในกรณีที่ต่ออนุกรมปั๊ม 2 ตัว จะเท่ากับแรงต้านแนวแกนเฮดของปั๊ม 2 ตัวบวกกัน ตามรูปที่ 1.43 (b)

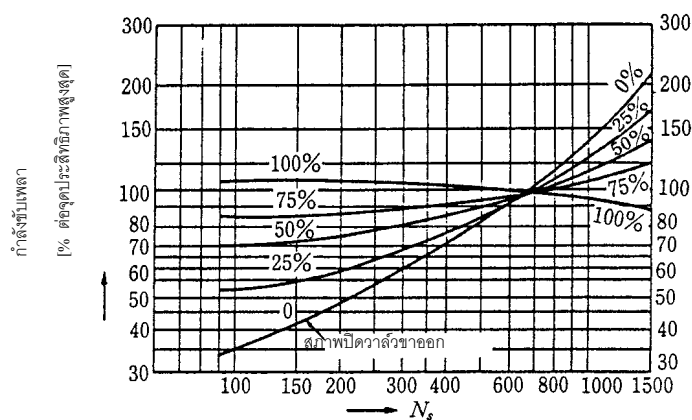
ดังนั้น จุดเดินเครื่องจึงอยู่ที่จุดตัดระหว่างเส้นกราฟเฮดและแรงต้านลัพธ์ที่คำนวณได้ตามข้างต้น กรณีที่ต่อปั๊มตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปหรือกรณีที่ขนาด (ความจุ) ของปั๊มไม่เท่ากัน ก็สามารถใช้วิธีคิดเช่นเดียวกันได้



รูปที่ 1.43 การเดินเครื่องขนานและอนุกรมปั๊ม

### 1.2.3 การควบคุมการทำงานของปั๊ม

ในการใช้งาน เนื่องจากจะเดินเครื่องปั๊มเฉพาะที่บริเวณใกล้เคียงกับจุดพิกัด โดยที่ไม่จำเป็นต้องปรับอัตราไหล ปรับแรงดัน และเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่ก็เพียงพอแล้ว ทั้งยังมีปัญหาในการเดินเครื่องที่มีภาระน้อย จึงใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบกรงกระรอก โมเมนต์ความเฉื่อยของปั๊มเองก็มีไม่มาก ซึ่งหากสตาร์ทเครื่องในสภาพที่ปิดวาล์วขาออก ในกรณีของ Centrifugal pump จะไม่มีปัญหาใดๆ เป็นพิเศษ แต่สำหรับปั๊มที่มีความเร็วจำเพาะสูง หากเป็นความเร็วในการเดินเครื่องในสภาพที่ปิดวาล์วขาออก ก็จะมีบางตัวที่ใช้กำลังขับเพลาขึ้นไปมากเกินกว่า 200% ดังในรูปที่ 1.44 ปั๊มลักษณะนี้จะต้องสตาร์ทโดยปิดวาล์วขาออก แล้วเปิดวาล์วไปพร้อมๆ กับเร่งความเร็ว หากเดินเครื่องปั๊มด้วยความเร็วแปรผันโดยใช้อินเวอร์เตอร์ จะทำให้ปัญหาในตอนสตาร์ทหมดไป ทั้งยังมีประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานดังที่จะอธิบายในหัวข้อต่อไป ในกรณีที่ต้องหยุดและสตาร์ทเครื่องบ่อยๆ หรือในกรณีที่จำเป็นที่จะต้องสตาร์ทเครื่องด้วยแรงดันต่ำ จำเป็นที่จะต้องพิจารณาให้ดี ซึ่งรวมถึงการนำการขับเคลื่อนด้วยความเร็วแปรผันด้วยอินเวอร์เตอร์มาใช้ด้วย



รูปที่ 1.44 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะ  $N_s$  กับ กำลังขับเพลา

ในกรณีที่จำเป็นต้องปรับอัตราไหลและแรงดัน หรือใช้งานอัตราไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก หากเดินเครื่องปั๊มด้วยความเร็วแปรผันของปั๊ม จะทำให้มีประสิทธิภาพอย่างมากในการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้น การขับเคลื่อนด้วยความเร็วแปรผันด้วยอินเวอร์เตอร์จึงเป็นที่แพร่หลายได้อย่างรวดเร็ว ข้อดีของการขับปั๊มแบบอินเวอร์เตอร์มีดังต่อไปนี้

- ลดกำลังการเดินเครื่องเมื่อมีภาระไม่เต็มพิกัด
- ลดความสูญเสียจากการหรี เพื่อกำหนดจุดทำงาน
- การควบคุมความดันและอัตราไหลต่างๆ ทำได้สะดวก
- สามารถทำการสตาร์ทและหยุดบ่อยๆ ได้

### 1.2.4 การควบคุมความดันและอัตราไหล และการอนุรักษ์พลังงานจากการเดินเครื่องด้วยความเร็วแปรผัน

สำหรับวิธีดำเนินการเพื่อควบคุมความดันและอัตราไหลนั้น วิธีที่เป็นไปได้ประกอบด้วย (a) การปรับวาล์วขาออกและวาล์วปรับ (b) การควบคุมความเร็ว (c) การควบคุมจำนวนเครื่อง การควบคุมจำนวนเครื่องนั้น เป็นวิธีการที่เป็นขั้นตอน ซึ่งในการที่จะทำการควบคุมอย่างต่อเนื่องนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้ควบคู่ไปกับวิธีการที่เหลือน้อยๆ อย่างใดอย่างหนึ่ง

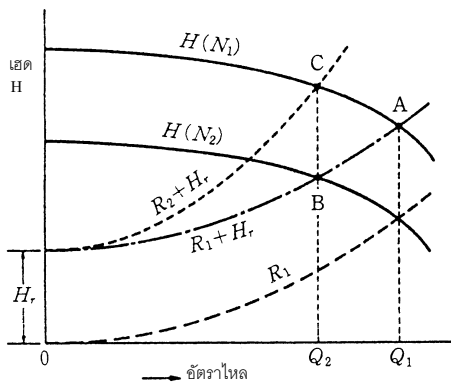
รูปที่ 1.45 ได้แสดงหลักการในกรณีที่ทำการควบคุมความดันที่ปลายทางของปั๊มให้คงที่ด้วยการปรับวาล์วและในกรณีที่ทำการควบคุมความเร็ว เส้นโค้ง  $H(N_1)$  เป็นเฮดรอมของปั๊มที่ความเร็วรอบเท่ากับ  $N_1$

ถ้าให้  $R_1$  แสดงเฮดสูญเสียที่ท่อ และ  $H_r$  แสดงความดันน้ำ ณ จุดซึ่งแปลงเป็นเฮดแล้ว เฮดรวมของปั๊มที่อัตราไหล  $Q$  ที่จุดตัด A ของ  $H(N_1)$  กับเส้นกราฟ  $R_1 + H_r$  จะสมดุลกับเฮดของภาระ ในกรณีที่อัตราไหลลดลงเป็น  $Q_2$  ในการควบคุมความเร็ว จะลดความเร็วรอบเป็น  $N_2$  และเปลี่ยนเส้นกราฟของเฮด รวมเป็น  $H(N_2)$  ซึ่งจะเป็นการเดินเครื่องที่จุดสมดุลใหม่ B ในกรณีที่ใช้วิธีปรับวาล์ว หากหวั่นวลวาล์วเพื่อให้เฮดสูญเสียเท่ากับ  $R_2$  แล้วจุดสมดุลจะเลื่อนไปที่ C และจะสามารถรักษาความดันที่ปลายทางให้คงที่ได้ หากแต่กำลังขับเพลานั้น จะแปรผันตามผลคูณระหว่างอัตราไหลกับเฮดรวม ซึ่งแม้อัตราไหลจะเท่ากัน จุด B ซึ่งมีเฮดรวมต่ำจะได้เปรียบกว่ามากในแง่การอนุรักษ์พลังงาน

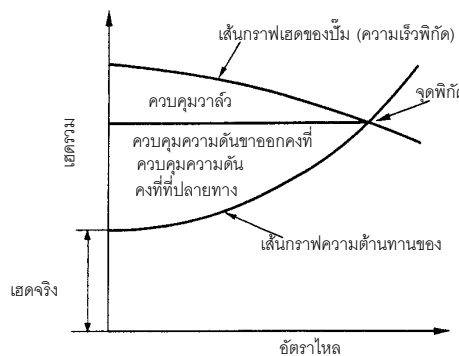
ในการควบคุมความดันด้วยการควบคุมความเร็ว จะแบ่งเป็นกรณีที่รักษาความดันที่ปลายทางให้คงที่กับกรณีที่รักษาความดันขาออกของปั๊มให้คงที่ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลกับเฮดรวมของปั๊มจะเป็นดังรูปที่ 1.46 และการควบคุมความดันปลายทางให้คงที่จะเป็นการอนุรักษ์พลังงานมากยิ่งขึ้น อนึ่ง ในการดำเนินการควบคุมความดันปลายทางให้คงที่นั้น จำเป็นที่จะเข้าใจถึงความสูญเสียของวาล์วต่างๆ และการเดินท่ออย่างถูกต้อง ซึ่งสามารถใช้วิธีบันทึกเส้นโค้งความสูญเสียจากภาระไว้ที่ไม่โครคอมพิวเตอร์ได้

สำหรับข้อควรระวังในกรณีที่ทำการควบคุมความเร็วนั้น ปั๊มส่วนใหญ่จะมีเฮดจริง ซึ่งจะมีขีดจำกัดต่ำสุดด้วยความเร็วรอบ สำหรับรอบหมุนที่ต่ำกว่าความเร็วรอบนี้ ในกรณีที่ไม่มี Non return valve จะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับ และถึงแม้ว่าจะมี Non return valve ก็ตาม ก็ะกลายเป็นการใช้กำลังการขับเคลื่อนโดยสูญเปล่า

อินเวอร์เตอร์สำหรับปั๊มส่วนใหญ่จะได้รับมาจากผู้ผลิต แต่โดยทั่วไปแล้วจะทำการควบคุม V/f ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก สำหรับปั๊มเนื่องจากแรงบิดที่ต้องใช้ที่ความเร็วต่ำ มีค่าต่ำ จะสามารถเลือกแบบของ V/f ในช่วงยกกำลัง 1 ถึง 2 ให้ตรงกับคุณลักษณะของปั๊ม และอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจะมีฟังก์ชันการเดินเครื่องแบบอนุรักษ์พลังงานโดยมีการปรับแรงดันอย่างเหมาะสมโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ทำงานแบบจำกัดความถี่การเดินเครื่องต่ำสุด และลดความสูญเสียของมอเตอร์ให้น้อยที่สุด



รูปที่ 1.45 การควบคุมความดันที่ปลายทางของปั๊ม



รูปที่ 1.46 การควบคุมความดันปลายทางคงที่ และการควบคุมความดันขาออกคงที่

### 1.2.5 ประสิทธิภาพของปั้มน้ำ

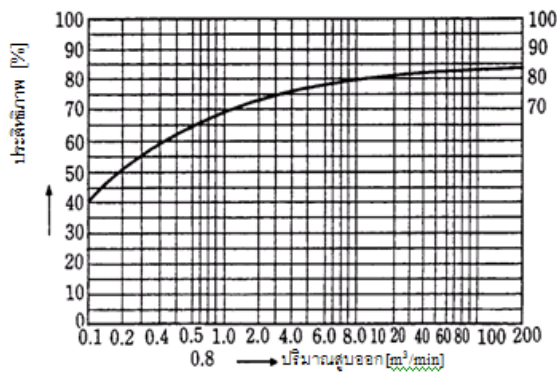
กำลังขับปั้มน้ำ  $P$  นั้น หากกำหนดให้  $Q$  คือ อัตราการไหล [ $\text{m}^3/\text{min}$ ]  $H$  คือ เฮดรวม [ $\text{m}$ ]  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] (สำหรับน้ำ จะเป็น 1) จะได้ว่า

$$P = \frac{\rho Q g H}{60} = \frac{9.8}{60} \rho Q H = \frac{QH}{6.12} \quad [\text{kW}] \quad (1.16)$$

เวลาที่กำหนดกำลังขาออกของมอเตอร์นั้น หากให้มี Tolerance  $\alpha$  ที่เฮดสักเล็กน้อย และให้ประสิทธิภาพของปั้มน้ำเป็น  $\eta$  [%] จะได้

$$P_m = \frac{QH}{6.12} \cdot \frac{100}{\eta} (1 + \alpha) \quad [\text{kW}] \quad (1.17)$$

ซึ่งได้แสดงประสิทธิภาพของปั้มน้ำไว้ในรูปที่ 1.47 และได้แสดง tolerance  $\alpha$  ไว้ในตารางที่ 1.3



ตารางที่ 1.3 tolerance ของปั้มน้ำ

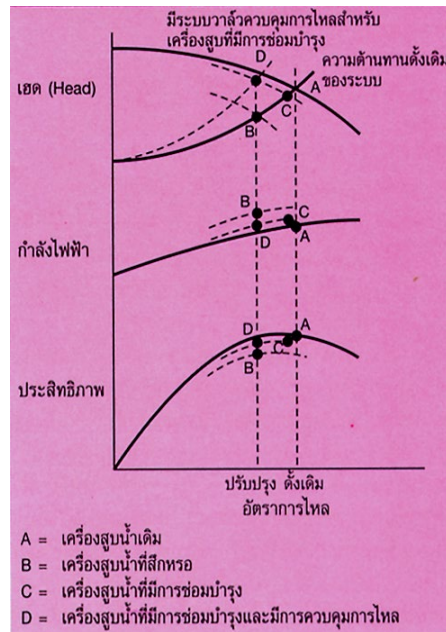
| ประเภท           | tolerance $\alpha$ [%]     |                           |
|------------------|----------------------------|---------------------------|
|                  | การเปลี่ยนแปลงของเฮดจะน้อย | การเปลี่ยนแปลงของเฮดจะมาก |
| centrifugal pump |                            |                           |
| { เฮดสูง         | 15                         | 20                        |
| { เฮดกลาง ต่ำ    | 10                         | 15                        |
| mixed flow pump  | 15                         | 20                        |
| axial flow pump  | 20                         | 25                        |

รูปที่ 1.47 ประสิทธิภาพของปั้มน้ำมาตรฐานทั่วไป

### 1.2.6 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบปั้มน้ำ

จากการตรวจสอบระบบสูบน้ำและวิเคราะห์จุดที่มีปัญหาประกอบจนแนวทางการแก้ไขที่เกิดขึ้นสามารถนำมาจัดกลุ่มได้ดังนี้

- การบำรุงรักษา
- การดัดแปลงแก้ไขอุปกรณ์หรือการเดินเครื่อง
- การจัดการตรวจสอบ



รูปที่ 1.48 การซ่อมบำรุงที่มีผลต่อคุณลักษณะสมบัติของปั๊มน้ำ

#### 1.2.6.1 การบำรุงรักษา

การที่จะทำให้ปั๊มติ๊กหรือกลับมาสวมบูรณ์ และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้นอย่างน้อยที่สุดต้องซ่อมใหญ่ อาจจะรวมถึงการเปลี่ยนชิ้นส่วนหมุน (ใบพัดและแหวน) แบริ่งและประเก็น อย่างไรก็ตามภายหลังการซ่อมใหญ่ระยะช่องว่างต่างๆ ภายในโครงสร้างของปั๊มจะไม่เหมือนช่วงติดตั้งใหม่ ดังนั้นประสิทธิภาพปั๊มจะลดลงจากช่วงที่ติดตั้งใหม่ ประโยชน์ที่ได้จากการซ่อมใหญ่ ควรพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป ค่าใช้จ่ายของปั๊มน้ำส่วนใหญ่แล้วเป็นค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโดยรวมตลอดการใช้งาน ดังนั้นการที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ถือว่าคุ้มค่าในการปรับปรุง และมีข้อสังเกตว่า ปั๊มน้ำที่สึกหรอ อัตราการไหลจะลดลง ถ้าทำการซ่อมบำรุงใหญ่ควรปรับอัตราการไหลให้ต่ำลงมาจากจุดทำงานเดิม เพื่อให้ได้ผลประหยัดมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1.48

##### การบำรุงรักษาที่ช่วยส่งเสริมการประหยัด

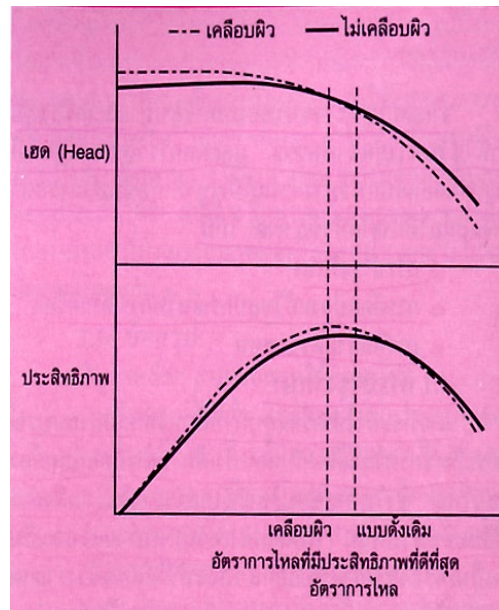
- การทำความสะอาดตัวกรองที่บริเวณท่อทางเข้าของปั๊มอย่างสม่ำเสมอ
- การตรวจสอบวาล์วกันการไหลย้อนกลับ (Check valve) อย่างสม่ำเสมอ
- การซ่อมแซมรอยรั่วต่างๆ

#### 1.2.6.2 การปรับปรุงอุปกรณ์

##### (1) การเคลือบผิวภายใน

ได้มีการพัฒนาของกลุ่มวัสดุที่ใช้สำหรับเคลือบผิวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวของวัสดุดั้งเดิมเพื่อลดการกัดกร่อน/การกัดเซาะ

วัสดุเคลือบผิวประเภทนี้เหมาะสำหรับปั๊มน้ำที่เสียหายรุนแรงอันเนื่องมาจากการใช้งานกับของเหลวที่มีฤทธิ์กัดกร่อน วัสดุเคลือบผิวจะช่วยเคลือบป้องกันไม่ให้พื้นผิวถูกกัดกร่อนและไม่ทำให้ระยะช่องว่างต่างๆ ภายในปั๊มน้ำเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 1.49 การเคลือบผิวที่มีผลต่อคุณลักษณะสมบัติของปั๊มน้ำ

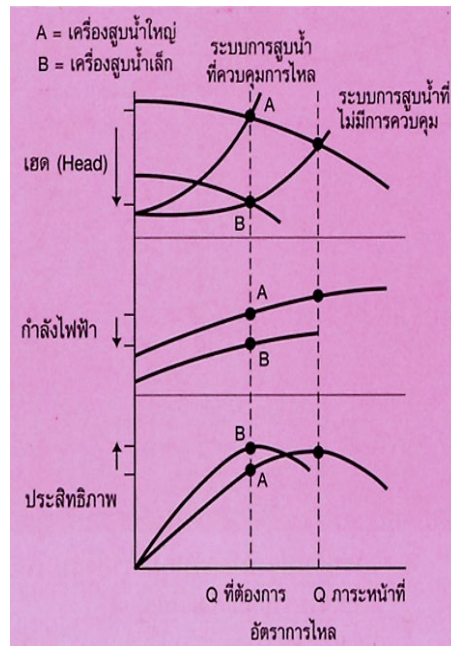
#### การเคลือบผิวเพื่อลดการเสียดทาน

การเคลือบผิวเพื่อลดการเสียดทานแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการลดการกักต่อนไม่เท่าสารเคลือบผิวเพื่อลดการกักต่อนและการกัดเซาะ แต่ก็ยังเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันการกักต่อนได้ดี จุดประสงค์หลักของวิธีนี้ก็เพื่อปรับพื้นผิวให้มีความเรียบมากที่สุด (เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิววัสดุเดิม) และเกิดการเสียดทานน้อยที่สุดขณะที่อัตราการไหลของน้ำสูง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ปั๊มน้ำมีความดันและอัตราการไหลสูงขึ้น ดังนั้นการเคลือบผิวด้วยวิธีนี้จะทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

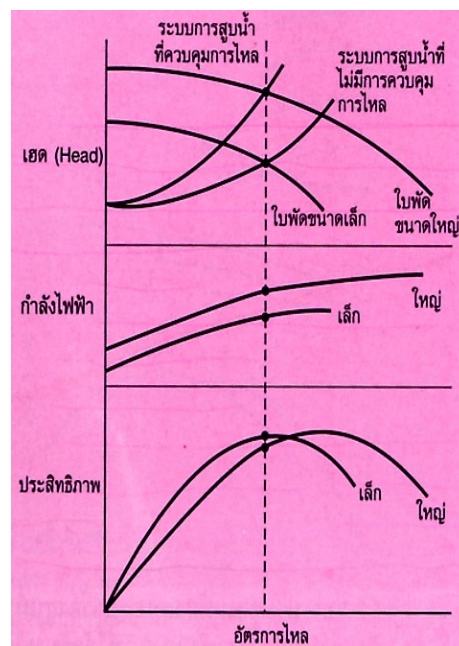
การเคลือบผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพปั๊มน้ำมักจะเคลือบเฉพาะโครงปั๊มน้ำและด้านนอกของใบพัดเพื่อลดความสูญเสียจากการเสียดทานหลัก ซึ่งก็คือ ความสูญเสียที่ผิวของโครงปั๊มน้ำและความสูญเสียจากการเสียดทานที่ใบหมุน

สรุปประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มอย่างมีประสิทธิภาพจากการเคลือบผิว ได้แก่

- ปรับปรุงประสิทธิภาพของปั๊มน้ำทำให้ต้นทุนของการเดินเครื่องลดลง
- มีความคงทนต่อการกัดกร่อนบนชิ้นส่วนที่ได้เคลือบพื้นผิวไว้
- ยืดอายุการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูง และทำให้อายุการใช้งานยาวขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มน้ำที่ไม่ได้เคลือบพื้นผิว



รูปที่ 1.50 ผลการลดขนาดของใบพัดต่อคุณลักษณะสมบัติปั๊มน้ำ



รูปที่ 1.51 ผลจากการใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลง

## (2) การเปลี่ยนขนาดของใบพัด

ปั๊มน้ำที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมใช้กับใบพัดได้หลายขนาด โดยใบพัดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด จะทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 1.52

การเปลี่ยนขนาดของใบพัดจะช่วยประหยัดพลังงานจากการสูบน้ำได้ เช่น ถ้าปั๊มน้ำหรือวาล์วควบคุมการไหลอยู่เสมอ จะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูงสุด จึงอาจนำใบพัดขนาดเล็กมาใช้เพื่อทำให้มีอัตราการไหลเท่าเดิมในระดับของความดันต่ำ ทำให้มีการใช้พลังงานลดลง



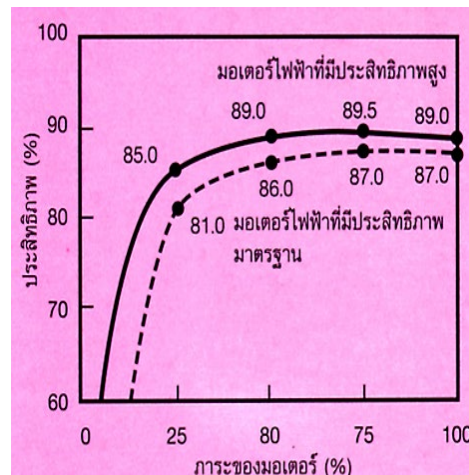
### (3) การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลง

การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลงจะคุ้มค่า ถ้า

- ปั๊มมีขนาดใหญ่เกินกว่าภาระสูงสุดของปั๊มน้ำมาก
- ปั๊มน้ำมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 80%

ณ ระดับของภาระไหลสูงสุด

- มีการใช้พลังงานสูง นั่นคือ เมื่อปั๊มน้ำขนาดใหญ่เดินเครื่องเป็นระยะเวลานาน เช่น ถ้าปั๊มน้ำที่ติดตั้งวาล์วควบคุมการไหลเพื่อควบคุมอัตราการไหลให้ได้ตามความต้องการ อาจใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลงกว่าที่ออกแบบเพื่อให้ส่งจ่ายน้ำด้วยอัตราการไหลเท่าเดิมแต่ด้วยประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.53



รูปที่ 1.52 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐาน และมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ขนาด 7.5 kW

### (4) มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

ปกติการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าปั๊มน้ำที่มอเตอร์นั้นขับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง (Higher Efficiency Motor : HEMS) ซึ่ง HEMS จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วๆ ไปประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงยังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (PF) ให้สูงขึ้น

#### 1.2.6.3 การจัดการตรวจสอบ

- การตรวจวัดประสิทธิภาพของปั๊มน้ำเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยาก และข้อจำกัดมากมาย ทำให้โอกาสในการประเมินประสิทธิภาพของปั๊มน้ำไม่มากนัก จึงมีการพัฒนาเทคนิคทางเทอร์โมไดนามิกส์มาคำนวณหาประสิทธิภาพได้โดยตรงเพียงวัดอุณหภูมิ และความดันตกคร่อมปั๊มน้ำ ผลที่ได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับคุณลักษณะสมบัติปั๊มน้ำตามข้อมูลที่ผู้ผลิตให้รายละเอียดไว้

- การติดตามตรวจวัดการทำงานของปั๊มน้ำ จะเป็นประโยชน์อย่างมากถ้าติดตั้งมาตรวัดความดันที่ท่อดูด และท่อส่งของปั๊มน้ำทุกเครื่อง และติดตั้งแอมป์มิเตอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้แน่ใจว่าท่อดูดไม่อุดตัน ความสามารถในการทำงานของปั๊มน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะสมบัติของปั๊มน้ำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินปั๊มน้ำ

- การติดตามตรวจวัดการทำงานของระบบ สำหรับปั๊มน้ำขนาดใหญ่จะมีความคุ้มค่าที่จะใช้ระบบติดตามบันทึกค่าการใช้งานด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการควบคุมการเดินปั๊มน้ำได้



อีกด้วย ทำให้เห็นศักยภาพในการปรับการเดินบั๊มน้ำให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้น้ำ การสูบน้ำเกินความต้องการ การรั่วของน้ำ

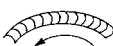
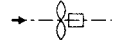
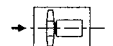
### 1.3 ประเภทและหลักการทำงานของพัดลม

#### 1.3.1 ประเภทของพัดลม

มาตรฐาน JIS กำหนดไว้ว่า พัดลมที่มีแรงดันลมต่ำกว่า 1,000 (mm-น้ำ) เรียกว่า แฟน (Fan) ส่วนพัดลมที่มีแรงดันลมตั้งแต่ 1,000 (mm-น้ำ) ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 10 (M-น้ำ) (0.1 MPa) เรียกว่า โบลเวอร์ (Blower) ทั้งสองชนิดเรียกรวมๆ กันว่า พัดลม

พัดลมมีหลายชนิด ตามขนาดอัตราไหล และความดันของของไหลที่ลำเลียง และตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ดังตารางที่ 1.4 แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้เป็นแบบ Centrifugal ซึ่งทำงานด้วยการให้ แรงหนีศูนย์กลางให้เกิดกระแสในทิศทางตั้งฉากกับแกน แบบ Axial flow ซึ่งสร้างกระแสของไหล (อากาศ) ในทิศทางเดียวกับเพลลา แบบ Cross flow ซึ่งมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างทั้งสองแบบข้างต้น และแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เพื่อสามารถติดตั้ง และเชื่อมต่อกับท่อต่างๆ ได้สะดวก พัดลมแบบ Centrifugal บางครั้ง ดูภายนอกแล้วจะมีลักษณะเหมือนกับแบบ Axial flow โดยทั่วไปพัดลมแบบ Axial flow จะเหมาะกับ ความดันต่ำ-อัตราไหลสูง ส่วนแบบ Centrifugal จะเหมาะกับความดันสูง

ตารางที่ 1.4 พัดลมประเภทต่างๆ

| แบบ               | ประเภท                              | รูปร่างใบพัดและตัวถัง                                                               | ขอบเขตความจุ (Capacity)<br>(บน) อัตราไหล [m <sup>3</sup> /min]<br>(ล่าง) ความดันสถิต [mmHg] |                        | การใช้งาน                                                          |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| พัดลม Centrifugal | พัดลม Multiblade (Sirocco)          |  | 0.5 - 20,000<br>0.5 - 7.5 [kPa]                                                             |                        | การปรับอากาศ-ระบายอากาศ<br>งานอุตสาหกรรม                           |
|                   | พัดลม Backward curved wheel (Turbo) |  | fan                                                                                         | ~ 40,000<br>~ 15 [kPa] | ท่อลมความเร็วสูง<br>งานอุตสาหกรรม                                  |
|                   | พัดลม Airfoil                       |  | blower                                                                                      | ~ 5,000<br>~ 0.1 [kPa] |                                                                    |
| พัดลม Axial flow  | พัดลม Propeller                     |  | ~ 500<br>~ 0.1 [kPa]                                                                        |                        | พัดลมระบายอากาศ Unit heater, Unit cooler หอทำน้ำเย็น งานอุตสาหกรรม |
|                   | พัดลม Tube                          |  | ~ 40,000<br>~ 10 [kPa]                                                                      |                        | ระบายอากาศเฉพาะที่ หอทำน้ำเย็น<br>ขนาดใหญ่ งานอุตสาหกรรม           |
|                   | พัดลมมี Vane                        |  | ~ 60,000<br>~ 0.1 [kPa]                                                                     |                        | การปรับอากาศ-ระบายอากาศ<br>งานอุตสาหกรรม                           |
|                   | พัดลม Cross flow                    |  | ~ 500<br>~ 1 [kPa]                                                                          |                        | Fan coil unit<br>งานอุตสาหกรรม                                     |

อย่างไรก็ตาม พัดลมแบบ Axial flow ที่สามารถรองรับความดันได้พอสมควร และแบบ Centrifugal ที่รองรับอัตราไหลได้พอสมควรก็มีอยู่ พัดลมแบบ Multiblade บางครั้งก็เรียกว่า พัดลมแบบ Sirocco นิยมใช้กันมากที่สุดกับการปรับอากาศ และระบายอากาศ

การจำแนกพัดลมสามารถแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศได้ 2 ลักษณะดังนี้

- (1) พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง (Centrifugal flow or radial fans)
- (2) พัดลมแบบอากาศตามแนวแกน (Axial flow fans)

### (1) พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง (Centrifugal flow or Radial fans)

พัดลมแบบแรงเหวี่ยงหรือพัดลมซึ่งมีการไหลของอากาศในแนวรัศมี จะประกอบด้วย ใบพัด หมุนอยู่ในตัวเรือนของพัดลม (Fan house) ชุดใบพัดจะประกอบด้วยแผ่นใบเล็กๆ ประกอบเข้าด้วยกัน เป็นลักษณะงอโค้ง ค่าความดันของอากาศจะถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลมซึ่งสามารถเพิ่มค่าให้สูงขึ้นได้ด้วยการเพิ่มขนาดความยาวของใบพัด ซึ่งจะทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในระบบมากยิ่งขึ้นนั่นเอง อากาศจะไหลผ่านเข้าไปในท่อทางเข้าโดยมีทิศทางขนานกับแกนของใบพัด และไหลออกในทิศทางตั้งฉากกับแกนของใบพัดในท่อทางออก พัดลมประเภทนี้จำแนกตามลักษณะรูปร่างของใบพัดเป็น 3 แบบ คือ

#### (1.1) แบบใบพัดตรง (Straight blade หรือ Radial fans)

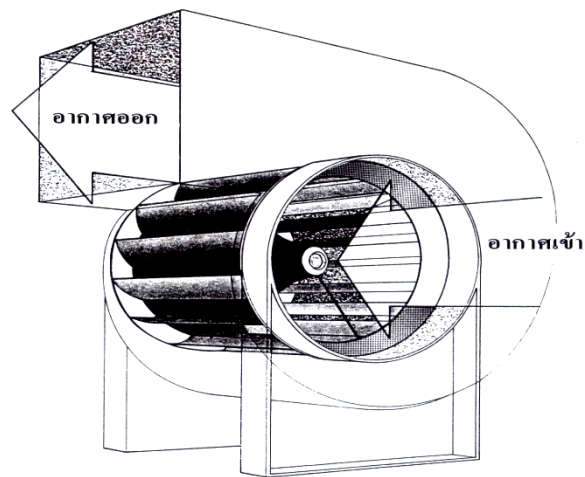
พัดลมชนิดนี้มีจำนวนใบพัดน้อยที่สุดประมาณ 6 ถึง 20 ใบ และใบพัดจะอยู่ในระนาบรัศมีจากเพลลา ใบพัดหมุนด้วยความเร็วรอบอย่างต่ำประมาณ 500-3000 รอบ/นาที ดังนั้นจึงเหมาะกับงานที่ต้องการปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนจำนวนน้อยๆ ที่มีค่าความกดดันของอากาศสูงๆ

#### (1.2) แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward curved blade fans)

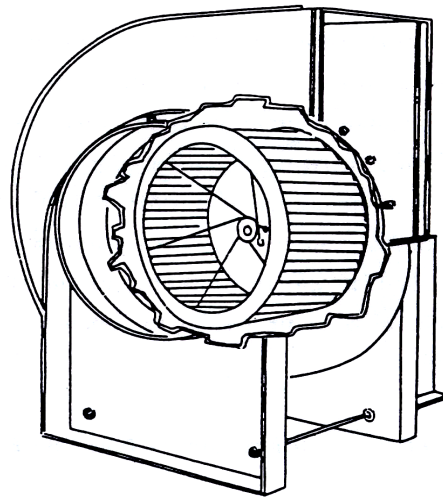
พัดลมชนิดนี้จะมีใบพัดโค้งไปข้างหน้า ในทิศทางเดียวกับการหมุนของชุดใบพัด จะมีจำนวนแผ่นใบพัดประมาณ 20 – 60 ใบ ชุดใบพัดจะมีลักษณะคล้ายกับกรงกระรอก (Squirrel cage) เพลลาใบพัดจะมีขนาดเล็กหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงกว่าพัดลมชนิดใบพัดตรง การทำงานของพัดลมชนิดนี้มีเสียงเบาที่สุด มีข้อเสียคือจะมีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง และมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียร ดังนั้นจึงไม่ควรใช้กับงานหรือระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา พัดลมชนิดนี้จะให้ค่าความดันลมและอัตราการไหลของอากาศสูงสุด

#### (1.3) แบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward curved blade fans)

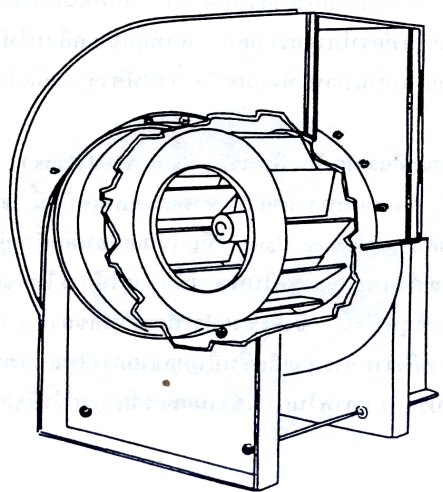
พัดลมชนิดนี้จะมีใบพัดเอียงไปข้างหลัง ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการหมุนของใบพัด จะมีจำนวนใบพัดประมาณ 10 – 50 ใบ และเป็นพัดลมที่มีความเร็วรอบสูง ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเกินควร ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง และไม่มีช่วงการทำงานที่ไม่มีเสถียร เหมาะที่จะใช้งานระบายอากาศและอากาศที่ใช้ต้องสะอาดด้วย เนื่องจากสามารถที่จะควบคุมความกดดัน และปริมาณลมได้ง่าย พัดลมชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าชนิดอื่นๆ เมื่อเทียบกับขนาดที่เท่ากัน



รูปที่ 1.53 การไหลของอากาศผ่านตัวพัดลมแบบหมุน



รูปที่ 1.54 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า



รูปที่ 1.55 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง

## (2) พัฒลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial flow fans)

พัฒลมแบบนี้อากาศจะไหลขนานกับแกนของใบพัด และตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดจะถูกติดตั้งบนแกนเพลาคับของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ภายในตัวพัฒลม ทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปกับอากาศที่ถูกขับเคลื่อน พัฒลมชนิดนี้มีราคาถูก การทำงานของพัฒลมมีเสียงดัง และมีช่วงการทำงานของพัฒลมที่ไม่เสถียร จึงเหมาะกับงานระบายอากาศ มีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

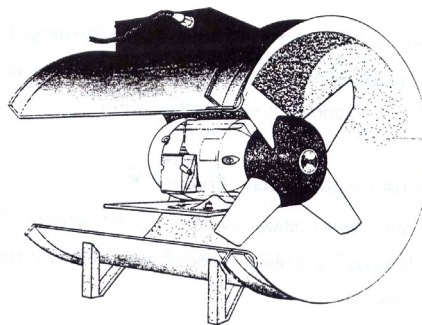
- (1) ลักษณะที่พัฒลมเป็นเกลียว (Tube axial fans)
- (2) ลักษณะที่พัฒลมเป็นเส้นตรง (Vane axial fans)

### (2.1) ลักษณะที่พัฒลมเป็นเกลียว (Tube axial fans)

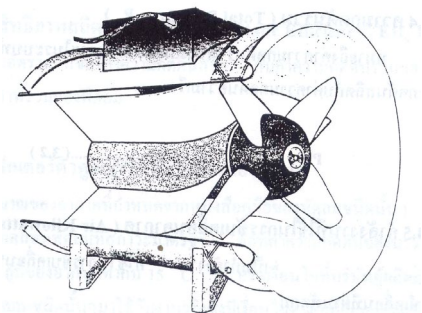
พัฒลมแบบอากาศไหลตามแนวแกนชนิดนี้ จะมีโครงสร้างประกอบด้วยชุดใบพัดซึ่งหมุนอยู่ภายในท่อรูปทรงกระบอก ลมที่ถูกขับเคลื่อนให้ผ่านชุดใบพัดจะหมุนเป็นเกลียว มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน พัฒลมชนิดนี้ให้ค่าความกดดันของลมปานกลาง

### (2.2) ลักษณะที่พัฒลมเป็นเส้นตรง (Vane axial fans)

พัฒลมแบบอากาศไหลตามแนวแกนชนิดนี้ จะมีแผ่นครีบเพื่อใช้ในการบังคับการไหลของอากาศ ที่ถูกขับเคลื่อน ติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนของพัฒลม บริเวณท่อทางออกบริเวณด้านหลังชุดใบพัดเพื่อช่วยในการไหลของอากาศที่ถูกขับเคลื่อน มีการไหลเป็นเส้นตรงมากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดลักษณะการไหลของอากาศปั่นป่วนลดลง และลดพลังงานสูญเสียเนื่องจากการไหลของอากาศปั่นป่วนภายในระบบให้น้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งาน และราคาสูงกว่าพัฒลมชนิด Tube axial fans



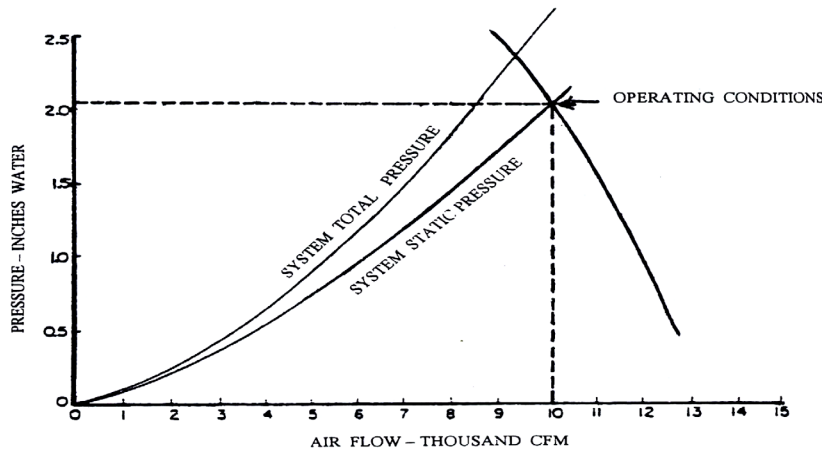
รูปที่ 1.56 พัฒลมแบบอากาศไหลตามแนวแกนชนิด Tube axial fans



รูปที่ 1.57 พัฒลมแบบอากาศไหลตามแนวแกนชนิด Vane axial fans

### 1.3.2 คุณสมบัติและสมรรถนะการทำงานของพัดลม

ขณะที่พัดลมทำงาน จะทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ได้ด้วยค่าความกดดันที่เกิดขึ้น เมื่ออากาศเคลื่อนที่ออกไปได้ด้วยระยะทางที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความกดดันลดลง ถ้านำค่าความกดดันในช่วงต่างๆ มาเขียนกราฟเทียบกับอัตราการไหลของอากาศที่ได้ในช่วงความกดดันนั้นๆ ถ้าค่าความกดดันดังกล่าวเป็นค่าความกดดันรวมของระบบ เมื่อนำค่าความกดดันรวมที่ลดลงของระบบมาหักออกจากค่าความกดดัน



รูปที่ 1.58 การหาจุดทำงานของพัดลมที่เหมาะสมจากกราฟคุณลักษณะของระบบพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง ขนาด 27 นิ้ว ที่ 1,080 รอบต่อนาที

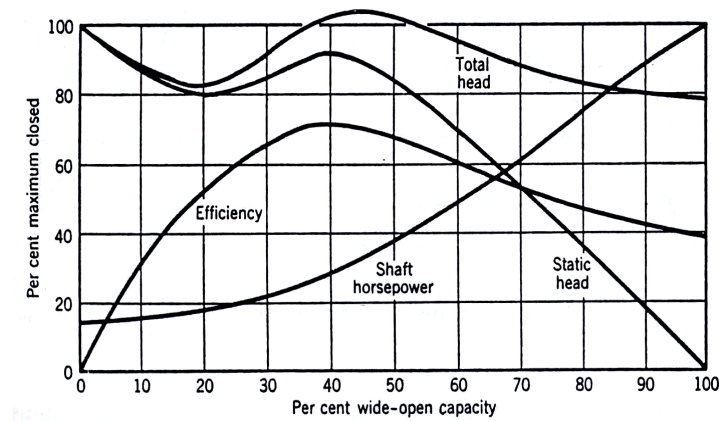
ความเร็ว จะได้กราฟอีกเส้นซึ่งแสดงถึงความดันสถิตของระบบ เราสามารถนำกราฟดังกล่าวไปใช้ในการเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมที่ของพัดลมชนิดนั้นได้

เนื่องจากปริมาณอากาศที่ได้จากพัดลมตามที่กำหนดจากผู้ผลิต ปกติแล้วจะทำการทดสอบ ณ สภาพแวดล้อมมาตรฐาน เช่น ที่อุณหภูมิ 15 °C มีความกดดันบรรยากาศแวดล้อมเท่ากับ 1 บาร์ และความสูงเทียบเท่ากับระดับน้ำทะเล ปานกลาง เป็นต้น ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจแตกต่างจากสภาวะจริงที่ติดตั้งใช้งานจึงทำให้สภาวะการใช้งานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

เนื่องจากสมรรถนะของพัดลมจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมต่างๆ อาทิ อุณหภูมิ ความเร็วรอบ และความหนาแน่นของอากาศ ดังนั้น The Air Moving and Condition Association (AMCA) จึงได้พัฒนามาตรฐานการทดสอบพัดลมขึ้นและได้ทำการทดสอบเพื่อหากราฟสมรรถนะของพัดลมชนิดต่างๆ ดังนี้

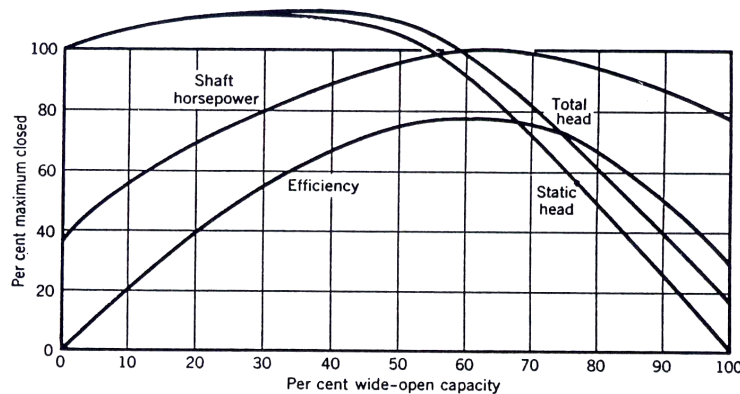
จากรูปที่ 1.58 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่ากำลังที่ป้อนให้เพลลาของพัดลมมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมีผลทำให้มอเตอร์ของพัดลมทำงานเกินกำลัง ในขณะที่ความต้านทานของระบบมีค่าลดลง ดังนั้น จึงไม่ควรใช้พัดลมชนิดนี้กับระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมชนิดนี้ คือ ช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 30 – 50 % ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัดลมมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด เส้นกราฟค่าความดันสถิตจะมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่มีความเสถียรภาพคือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างในช่วงไม่เกิน 40% ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ปริมาตรที่เปิดกว้างให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนของพัดลมในช่วงนี้

### 1.3.2.1 พัฒนแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward curved blade fans)



รูปที่ 1.59 สมรรถนะของพัฒนแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า

### 1.3.2.2 พัฒนแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward curved blade fans)



รูปที่ 1.60 กราฟสมรรถนะของพัฒนแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง

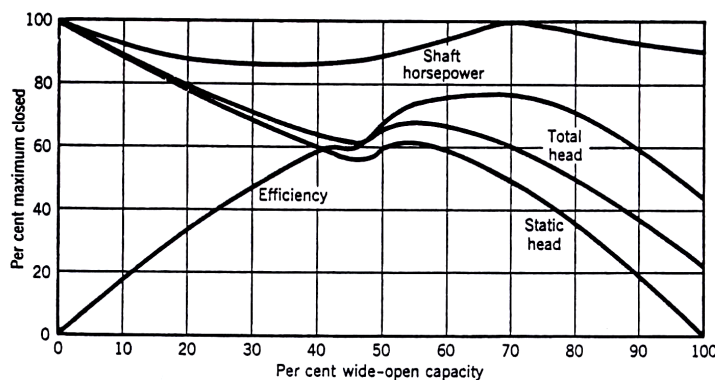
จากรูปที่ 1.60 จะเห็นว่าช่วงที่เหมาะสม สำหรับการทำงานของพัฒนชนิดนี้ คือ ช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนของพัฒน มีค่าประมาณ 50 – 65 % ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัฒนชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด ค่าประสิทธิภาพของพัฒนจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้กำลังในการขับเคลื่อนของพัฒนสูงด้วยเช่นกัน พัฒนชนิดนี้จะไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง และไม่มีช่วงการทำงานของพัฒนที่ไม่มีเสถียรภาพ

### 1.3.2.3 พัฒนแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดตรง (Straight curved blade fans)

กราฟสมรรถนะของพัฒนชนิดนี้ จะเหมือนกับกราฟสมรรถนะของพัฒนชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า กล่าวคือเส้นกราฟกำลังของพัฒนจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ แม้ว่าค่าความกดดันของระบบจะลดลงก็ตาม แต่ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านตัวเรือนพัฒนชนิดนี้จะมีค่าต่ำกว่าพัฒนชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า

### 1.3.2.4 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial flow fans)

จากรูปที่ 1.61 จะเห็นว่าเส้นกราฟของเฮดสถิต และเฮดรวมของระบบจะลดลง และเพิ่มขึ้น ในช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรเปิดให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนพัดลมมีค่าอยู่ประมาณ 30 – 50 % ถ้าพัดลมชนิดนี้ทำงานอยู่ในช่วงดังกล่าวจะก่อให้เกิดความไม่เสถียรภาพขึ้นภายในระบบ และช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมก็คือ ช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 55 – 75 % ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัดลมมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถขับเคลื่อนอากาศได้ปริมาณที่มาก และใช้กำลังในการขับเคลื่อนไม่มากนักเกินไป เส้นกราฟการทำงานของพัดลมจะค่อนข้างแบนราบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในช่วงการทำงานที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรเปิดกว้างประมาณ 40 % นั่นคือกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมภายในช่วงดังกล่าวจะมีค่าค่อนข้างคงที่



รูปที่ 1.61 กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน

### 1.3.3 การเปรียบเทียบประเภทและคุณสมบัติของพัดลมกับเครื่องอัดอากาศ

พัดลมและเครื่องอัดอากาศ ถูกจำแนกดังในตารางที่ 1.5 โดยใช้ความดันขาออกเป็นเกณฑ์ หากจำแนกจากหลักการทำงานแล้ว จะแบ่งใหญ่ๆ ได้เป็น แบบเทอร์โบและแบบปริมาตร ยิ่งไปกว่านั้นแบบเทอร์โบจะมีระบบ Axial flow และระบบ Centrifugal ส่วนแบบปริมาตรจะมีระบบลูกสูบและระบบหมุน ซึ่งจะมีช่วงของปริมาณลม และความดันที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับรูปแบบ การเลือกใช้จะเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดตามปริมาณลมและความดันที่ต้องการใช้งาน

(1) ระบบ Axial flow มีโครงสร้างที่หมุนใบพัดด้วยความเร็วสูง แล้วให้อากาศไหลไปในทิศทางเพลาด้วยแรงยกของใบพัดพัดลม Axial flow นั้น จะหมุนใบพัดด้วยความเร็วสูง จึงทำให้ทั้งพัดลมและมอเตอร์มีขนาดเล็ก และมีข้อดีอยู่ตรงที่สามารถติดตั้งในบางส่วนของท่อได้ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการถ่ายเท การป้อนลม การปล่อยลมออก การถ่ายเทอากาศภายในอุโมงค์ ต่างๆ เป็นต้น สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ Axial flow นั้น ถูกนำมาใช้ในการป้อนลมเข้าสู่เตา Blast furnace สำหรับถลุงเหล็ก อุปกรณ์อัดอากาศสำหรับ แยกอากาศ เป็นต้น

(2) ระบบ Centrifugal มีโครงสร้างที่ทำให้อากาศไหลไปในทิศทางรัศมีด้วยแรงเหวี่ยงของใบพัด ซึ่งจะเรียกพัดลมแบบหลายใบพัดว่า Sirocco fan ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพต่ำ แต่เนื่องจากมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน จึงมีราคาถูก และถูกนำมาใช้เป็นพัดลมสำหรับอุปกรณ์ระบายอากาศ หรือเครื่องปรับอากาศ สำหรับเครื่องอัดอากาศเทอร์โบนั้น ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องอัดก๊าซของโรงงานต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น



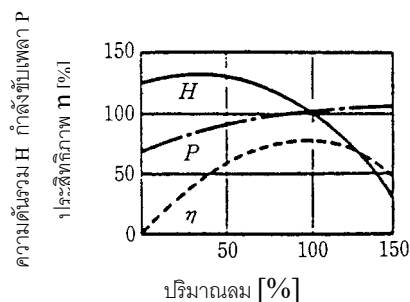
(3) เครื่องอัดอากาศระบบลูกสูบ เนื่องจากมีประสิทธิภาพมากที่สุด และมีกำลังอัดสูง จึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องอัดอากาศอย่างแพร่หลาย

(4) เครื่องอัดอากาศระบบหมุน แบ่งเป็นพัดลม Roots blower เครื่องอัดอากาศแบบทำงานโดยใบพัด และพัดลม Screw compressor ระบบหมุนนี้จะต่างกับระบบลูกสูบ ซึ่งจะมีข้อดีอยู่ที่สามารถทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาโดยเพิ่มจำนวนรอบให้สูงขึ้นได้

รูปที่ 1.62 แสดงความดันรวม กำลังขับเพลลา และประสิทธิภาพของโบลเวอร์ซึ่งนำมา Normalize ด้วยค่า ณ จุดพิกัดเทียบกับอัตราไหลเมื่อเดินเครื่องเทอร์โบโบลเวอร์ด้วยจำนวนรอบที่พิกัด ซึ่งจะคล้ายกับ Centrifugal pump

ตารางที่ 1.5 พัดลม เครื่องอัดอากาศ

| การจำแนก        | ความดันขาออก      | ประเภท                                                                                                                                                         |
|-----------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fan             | ไม่ถึง 9.8 kPa    | แบบเทอร์โบ (Axial flow, Sirocco, Radial flow, Turbo)                                                                                                           |
| โบลเวอร์        | ไม่ถึง 9.8-98 kPa | แบบเทอร์โบ (Axial flow, Radial flow, Turbo)<br>แบบปริมาตร (Roots blower)                                                                                       |
| เครื่องอัดอากาศ | สูงกว่า 98 kPa    | แบบเทอร์โบ (Axial flow, Radial flow, Turbo)<br>แบบปริมาตร ระบบหมุน (เครื่องอัดอากาศแบบทำงานโดยใบพัด Screw compressor)<br>ระบบลูกสูบ (เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ) |



รูปที่ 1.62 คุณลักษณะของเทอร์โบโบลเวอร์

### 1.3.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานของพัดลม

พลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนของไหลให้ไหลไปในระบบท่อลำเลียงของไหลคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงาน} &= \text{แรง} \times \text{ความเร็วของของไหล (ความเร็วของกระแส)} \\
 &= \text{ความดัน} \times \text{พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางในท่อ} \times \text{ความเร็วของของไหล} \\
 &= \text{ความดัน} \times \text{อัตราไหล}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหา กำลังขับเพลลา กำลังไฟฟ้าขาเข้า และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปของมอเตอร์ ที่จะป้อนพลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนให้ลำเลียงอากาศได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{กำลังขับเพลลาของมอเตอร์} = \text{ความดัน} \times \text{อัตราไหล} / \text{ประสิทธิภาพของพัดลม}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์} = \text{กำลังขับเพลลาของมอเตอร์} / \text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปของมอเตอร์} = \text{กำลังไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์} \times \text{ระยะเวลาที่เดินเครื่อง}$$

หน่วยที่ใช้ในที่นี้ ความดัน [kPa] อัตราไหล [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] และกำลังขับเพลลาของมอเตอร์ [kW]

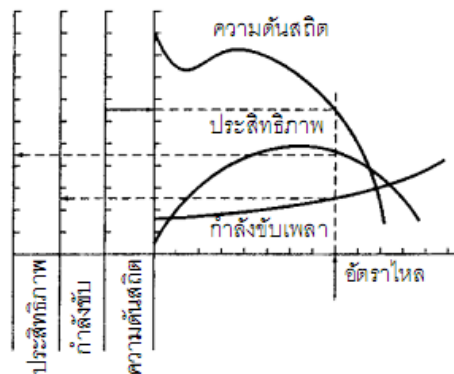
ในการทำงานเกี่ยวกับกรณีของพัดลม กำลังขับเพลลาของมอเตอร์ที่จะป้อนพลังงานที่ต้องใช้ในการขับปั๊มให้ลำเลียงของเหลวได้ สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังขับเพลลาของมอเตอร์} &= \text{ความดัน} \times \text{อัตราไหล} / \text{ประสิทธิภาพของปั๊ม} \\ &= 9.8 \times \text{เฮดรวมของปั๊ม} \times \text{อัตราไหลมวลขาออก} / \text{ประสิทธิภาพของปั๊ม} \quad (1.18) \end{aligned}$$

หน่วยที่ใช้ในที่นี้ อัตราไหลมวลขาออก [m<sup>3</sup>/s] กำลังขับเพลลาของมอเตอร์: [kW] เฮดรวม: [m]

### 1.3.5 เส้นกราฟคุณลักษณะของพัดลม

เส้นกราฟคุณลักษณะของพัดลม หมายถึง เส้นกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงความดันสถิต กำลังขับเพลลา และประสิทธิภาพของพัดลมเทียบกับอัตราไหลในขณะที่เดินเครื่องดังรูปที่ 1.63



รูปที่ 1.63 กราฟคุณลักษณะของพัดลม

### 1.3.7 กฎการแปรผันและกฎความคล้ายของพัดลม

อัตราไหลของของไหลจะแปรผันตามความเร็วรอบของพัดลม ความดันสูญเสียในท่อลม ที่ต่ออยู่กับพัดลมจะแปรผันตามกำลังของความเร็วของกระแส (ความเร็ว) นั่นคือ แปรผันตามอัตราไหลกำลังสองนั่นเอง ดังนั้น หากความเร็วรอบเปลี่ยนแปลง ความดันจะแปรผันตามกำลังสองของความเร็วรอบ และกำลังขับเพลลาจะแปรผันตามกำลังสามของความเร็วรอบ ความสัมพันธ์นี้เรียกว่ากฎการแปรผัน ซึ่งแสดงได้ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{V_1 P_1}{V_2 P_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

จาก  $V_1, V_2$  แทนอัตราไหล  $n_1, n_2$  แทนความเร็วรอบ  $P_1, P_2$  แทนความดัน  $W_1, W_2$  แทนกำลังขับเพลลา

การไหลภายในพัดลมทั้งหมดจะมีลักษณะคล้ายกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D$  ความเร็วรอบ  $n$  กับอัตราไหล ความดันและกำลังขับเพลาคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ เรียกว่ากฎความคล้าย

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^3$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

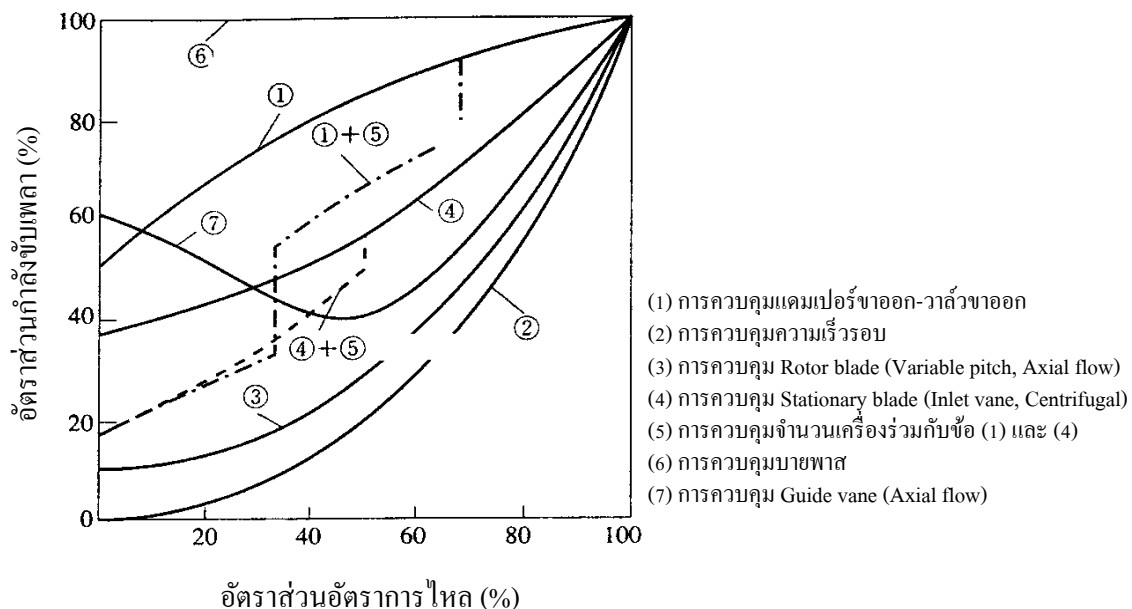
$$\frac{W_1}{W_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^5$$

### 1.3.8 การควบคุมพัดลม

ระบบปรับอัตราการไหลของพัดลมให้เหมาะสมกับการใช้งาน เรียกว่า ระบบปริมาตรอากาศแปรผัน (VAV : Variable Air Volume)

วิธีการควบคุมอัตราการไหลแปรผัน

1. การควบคุมแอมเพอร์ขาออก-วาล์วขาเข้า
2. การควบคุมความเร็วรอบ
3. การควบคุม Rotor blade
4. การควบคุม Stationary blade
5. การควบคุมจำนวนเครื่อง (กรณีที่เดินเครื่องขนานหรืออนุกรม)
6. การควบคุมบายพาส



รูปที่ 1.64 คุณลักษณะการควบคุมอัตราไหล

### 1.3.9 ประสิทธิภาพของพัดลม

กำลังขับเคลื่อนตามทฤษฎีของพัดลม สามารถหาได้ด้วยวิธีการคิดเช่นเดียวกับปั๊ม เมื่อ Q คือ ปริมาณอากาศ [ $\text{m}^3/\text{min}$ ] v คือความเร็วลม [ $\text{m/s}$ ]  $\rho$  คือความหนาแน่นของอากาศ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] H คือความดันลม [Pa]  $\eta$  คือประสิทธิภาพเชิงกล [%]  $\alpha$  คือ tolerance  $P_m$  กำลังขาออกมอเตอร์ต้องมี จะหาค่าได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P_m = \frac{\rho Q v^2}{120} \cdot \frac{100}{\eta} (1 + \alpha) \times 10^{-3} = \frac{QH}{60000} \cdot \frac{100}{\eta} (1 + \alpha) \quad [\text{kW}] \quad (1.19)$$

### 1.3.10 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบพัดลม

จุดที่ต้องมีการตรวจสอบในการอนุรักษ์พลังงานในระบบพัดลม มีดังต่อไปนี้

- พัดลมจ่ายลมออกไปในปริมาณที่มากกว่าที่จำเป็นต้องใช้หรือไม่
- พัดลมเดินเครื่องอย่างมีประสิทธิภาพสูงหรือไม่
- กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณลม พัดลมมีคุณลักษณะที่ดีแม้ในช่วงปริมาณ

ลมน้อยๆ หรือไม่

- วิธีควบคุมปริมาณลมมีประสิทธิภาพสูงสุดคล้อยกับความต้องการของโรงงานหรือไม่
- ในเรื่องความต้านทานของท่อ ความเร็วลมสูงเกินไปหรือไม่ มีความต้านทานที่ไม่

จำเป็น เช่น มีท่อยาวเกินไปหรือไม่

#### ประเด็นที่สำคัญในการอนุรักษ์พลังงานของพัดลม

1. การลดปริมาณลม – ความดันเหมาะสมกับที่ภาระต้องการ
2. การควบคุมการเดินเครื่องให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณที่ภาระต้องการ

#### ปัญหาเฉพาะตัวพัดลม ได้แก่

1. การเลือกใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูงและมีคุณลักษณะเหมาะสมกับการใช้งานของภาระ
2. ไม่มีฝุ่นละอองสะสมที่ตัวถังและใบพัดทำให้เส้นทางของกระแสอากาศลดลง
3. ลดการรั่วไหลจาก Labyrinth seal ของ Shaft seal และ Balance disk

#### 1.3.10.1 การอนุรักษ์พลังงานพัดลมให้สอดคล้องกับภาระ

1. เมื่อปริมาณลมที่ต้องการลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

หากวางแผนเผื่อไว้มากเกินไปและต้องการลดปริมาณลมเนื่องจากการลดกำลังการผลิต หากใช้วิธีปรับด้วยแฉกเปอร์ดวาล์วจะทำให้การเดินเครื่องมีกำลังขับสูญเสียสูง วิธีการแก้ไขในกรณีนี้ คือ ลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไปใช้ใบพัดที่มีคาบาศิต์ต่ำลง ลดจำนวนชั้นของโบลเวอร์หลายชั้น ปรับมุมใบพัดของพัดลมแบบ Axial flow

2. เมื่อปริมาณลมที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลง

- หรีดแฉกเปอร์ดวาล์ว (กำลังขับจะเลื่อนไปตามเส้นกราฟกำลังขับเพลานั่น)
- การควบคุม Vane ขาเข้า (ความสิ้นเปลืองกำลังขับจะต่ำกว่าการควบคุมแฉกเปอร์ดวาล์ว)
- ควบคุมจำนวนเครื่อง (กรณีที่เดินเครื่องพัดลมขนานกันหลายตัว หากลดจำนวน

เครื่องที่เดินให้สอดคล้องกับปริมาณลม จะทำให้พัดลมแต่ละเครื่องมีประสิทธิภาพต่ำลงไม่มาก)

- ควบคุม Variable pitch ของ Moving blade ของพัดลม Axial flow (สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงในการช่วงปริมาณลมกว้าง)

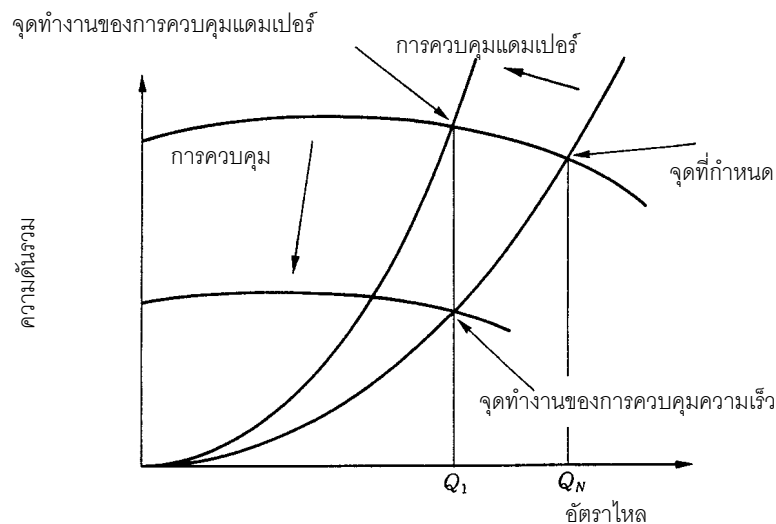
- ควบคุมความเร็วรอบ

### 1.3.10.2 วิธีตรวจวิเคราะห์เพื่ออนุรักษ์พลังงาน

- (1) ตรวจสอบเส้นกราฟสมรรถนะ – กรณีที่เป็นพัดลมรุ่นเก่า ให้สำรวจว่ามีพัดลมที่มีสมรรถนะสูงกว่าหรือไม่
- (2) กรณีที่พัดลมมีความสามารถสูงเกินไป มีการหรีดแอมเปอร์หรือวาล์วในท่อหรือไม่
- (3) ก่อนและหลังที่ติดกับพัดลมมีท่อโค้งที่ทำให้มีความดันสูญเสียเพิ่มขึ้นหรือไม่
- (4) ความเร็วลมในท่อมักสูงเกินไปทำให้ความต้านทานของท่อมักสูงหรือไม่
- (5) มีอากาศรั่วออกมาจากท่อหรือ Flange หรือไม่
- (6) ใส่กรองอากาศอุดตัน มีฝุ่นละอองเกาะอยู่ในท่อลม ในตัวถัง และในใบพัดหรือไม่
- (7) มีความสูญเสียเปล่าหรือไม่ เช่น จ่ายลมในขณะที่ไม่จำเป็น เดินเครื่องขณะที่ปิดปากทางออกอยู่ เป็นต้น

### 1.3.11 การประหยัดพลังงานจากการเดินเครื่องโดยการควบคุมความเร็วของเครื่องอัดอากาศและพัดลม

สำหรับวิธีการที่จะได้มาซึ่งปริมาณลมและกำลังอัดที่จำเป็นต่อระบบนั้น เดิมที ได้นำเอาแอมเปอร์ดูหรือเปามาใช้ แต่ในปัจจุบันได้ทำการควบคุมความเร็วแทนแอมเปอร์ ซึ่งถ้าควบคุมปริมาณลมและความดันก็จะทำให้สามารถอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมาก รูปที่ 1.65 เป็นรูปที่แสดงถึงหลักการเหล่านั้น ในกรณีที่ควบคุมแอมเปอร์ เนื่องจากจะเดินเครื่องด้วยการเปลี่ยนเส้นกราฟความต้านทานการส่งลม จุดการทำงานของพัดลมจะเลื่อนตามคุณลักษณะที่ความเร็วพิกัด ในอีกด้านหนึ่ง ในกรณีที่ใช้วิธีเปลี่ยนแปลงความเร็ว เส้นกราฟความต้านทานการส่งลมจะไม่เปลี่ยนแปลง เส้นกราฟคุณลักษณะของพัดลมจะเลื่อนไป โดยความดัน ณ จุดทำงานจะลดต่ำลงอย่างมาก หลักการเหล่านี้ จะเหมือนกับกรณีของปั๊ม แต่สำหรับปั๊มนั้น เนื่องจากเป็นเฮตจิงจึงมีจุดความเร็วต่ำสุด แต่ในพัดลมนั้น จะไม่มีจุดความเร็วต่ำสุด ทำให้มีประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานสูง



รูปที่ 1.65 เปรียบเทียบการควบคุมแอมเปอร์กับการควบคุมความเร็ว

**ตัวอย่างที่ 1.2** คุณลักษณะของโบลเวอร์บางตัวกับเส้นกราฟความต้านทานของระบบที่สามารถหาได้จากสูตรประมาณดังต่อไปนี้

$$h = 1.1n^2 + 0.5nq - 0.6q^2$$

$$\eta^* = 2.0\left(\frac{q}{n}\right) - \left(\frac{q}{n}\right)^2$$

$$r = q^2$$

โดย  $h$  คือ ความดันทั้งหมด  $n$  คือ จำนวนรอบ  $q$  คือ อัตราไหล

$\eta^*$  คือ ประสิทธิภาพ  $r$  คือ ความต้านทานของท่อ

อย่างไรก็ดีทุกปริมาณเป็นค่าที่ Normalize ด้วยจุดพิกัดแล้ว

จงเปรียบเทียบกำลังขับเพลานในกรณีที่ทำกรควบคุมแถมเปอร์กับในกรณีที่ทำกรควบคุมความเร็วเพื่อให้อัตราไหลเป็น 1/2 ของอัตราไหลที่กำหนด

**วิธีทำ** ในกรณีของการควบคุมแถมเปอร์ กำหนดให้  $q = 0.5$ ,  $n = 1$

$$h = 1.2, \quad \eta^* = 0.75$$

ดังนั้น เมื่อกำหนดให้กำลังขับเพลานที่ Normalize แล้วเท่ากับ  $p$  จะได้ว่า

$$p = \frac{qh}{\eta^*} = \frac{0.5 \times 1.2}{0.75} = 0.8$$

ในกรณีของการควบคุมความเร็ว กำหนดให้  $q = 0.5$   $r = 0.25$

และจากการที่สิ่งจะสร้างความสมดุลกับความดันทั้งหมดของโบลเวอร์

$$h = 1.1n^2 + 0.25n - 0.6 \times 0.5^2 = 0.25$$

ดังนั้น  $n = 0.5$  , ซึ่งในตอนนี  $\eta^* = 1.0$  กำลังขับเพลานจึงเท่ากับ

$$p = \frac{qh}{\eta^*} = \frac{0.5 \times 0.25}{1.0} = 0.125$$

จากที่กล่าวมาทั้งหมด กำลังขับเพลานเมื่อควบคุมแถมเปอร์จะเท่ากับ 80% ของพิกัด ในขณะที่การควบคุมความเร็วนั้น จะสามารถลดกำลังขับเพลานลงได้มากกว่า คือ 12.5% ของพิกัด

## สรุป

เครื่องอัดอากาศ ปั่น และพัดลม มีหลายชนิด ดังนั้นการเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานจึงมีความสำคัญและยังทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานด้วย

**เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ** การไหลของอากาศอัดจะมีลักษณะเป็นแบบห้วงๆ (Pulsation) ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบท่อส่ง เพราะอาจทำให้เกิดความดันย้อนกลับ ณ จุดที่มีการหักเลี้ยวในระบบท่อส่งได้ ทำให้ท่อส่งได้รับความเสียหายในภายหลัง

**เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี** อากาศอัดที่ได้จะมีอัตราการไหลอย่างสม่ำเสมอแต่ปริมาณอากาศอัดที่ได้จะมีค่าความกดดันค่อนข้างต่ำกว่ามาก

**เครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง** ลมดูดจะเข้าสู่แกนตรงกลางเพลานใบพัด และถูกเหวี่ยงตัวออกไปในแนวรัศมีของใบพัดสู่ผนังเครื่องอัด และถูกส่งไปตามระบบท่อ อากาศอัดจะมีความกดดันสูงขึ้นแต่ความเร็วยังคงที่

**ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง** นิยมใช้อย่างแพร่หลายมีประสิทธิภาพในการสูบสูงถึง 90% และยังสามารถออกแบบเพื่อการทำงานที่ระดับความดันสูงได้

**ปั๊มแบบโรตารี** ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวภายในห้องของตัวปั๊มด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน ปั๊มแบบนี้จะมีอัตราการสูบต่ำกว่าปั๊มประเภทอื่นๆ มีประสิทธิภาพประมาณ 80 – 85 %

**ปั๊มแบบเลื่อนชักหรือแบบลูกสูบ** จะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ด้วยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเหมาะสมสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเสถียรในระบบที่สูงการไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ (Pulsation)

**ปั๊มแบบพิเศษ** เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษ เช่น **ปั๊มแบบ Canned** มีคุณสมบัติ คือ สามารถป้องกันการรั่วไหลของของไหลได้อย่างสมบูรณ์ **ปั๊มแบบ Intermediate temperature** ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 300 °C **ปั๊มแบบ Turbo** นิยมใช้กับงานที่ต้องการความดันด้านปล่อยสูง **ปั๊มแบบ Cantilever** จะติดตั้งในแนวดิ่งใช้กับงานที่ไม่ต้องการให้ชุดเบี่ยงหรือชิ้นส่วนภายในสัมผัสกับของไหลที่ใช้ในการสูบ **ปั๊มแบบ Vertical turbine** จะใช้กับงานสูบน้ำบาดาลที่มีความลึกมากๆ

**พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง** ค่าความดันของอากาศจะถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลม ซึ่งสามารถเพิ่มค่าให้สูงขึ้นได้ด้วยการเพิ่มขนาดความยาวของใบพัด

**พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน** พัดลมชนิดนี้มีราคาถูก การทำงานของพัดลมมีเสียงดังและมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียร จึงเหมาะกับงานระบายอากาศ มีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย

### แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในคอมเพรสเซอร์ เครื่องอัดอากาศ ปั๊ม และพัดลม

**เครื่องอัดอากาศ** การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบ Pneumatic แบ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงานในอุปกรณ์หลักๆ คือเครื่องอัดอากาศ ระบบท่อ และอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยลมต่างๆ ดังนี้ การลดอุณหภูมิทางด้านดูดอากาศเพื่อเพิ่ม Cooling effect ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Inter-cooler) ลดความดันด้าน Discharge เพื่อลดปริมาณลมที่ใช้ เลือกเครื่องอัดอากาศ และระบบเป็นแบบที่มีประสิทธิภาพสูง ป้องกันการรั่วของลมจากจุดต่างๆ ของระบบ และตัวเครื่องอัดอากาศ ดูแล และบริหารการใช้เครื่องอัดอากาศ และระบบอย่างดี

**ปั๊มน้ำ** การใช้ปั๊มน้ำให้ประหยัดพลังงาน พยายามเลือกใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็กจำนวนหลายตัว จะดีกว่าใช้ขนาดใหญ่แต่จำนวนน้อย ไม่ควรเผื่อขนาดเครื่องปั๊มน้ำให้มีขนาดใหญ่จนเกินไป และอาจพิจารณาใช้ระบบปรับความเร็วรอบ (VSD System)

**พัดลมและโบวเวอร์** สามารถดำเนินการในการประหยัดพลังงานได้ดังนี้ การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดการเปลี่ยนใบพัดให้มีความจุน้อยลง การควบคุมแอมเพอร์ การควบคุมใบพัด (Vane) ด้านเข้าการควบคุมความเร็วในการหมุน



## 1.4 กรณีศึกษา (Case studies)

### กรณีศึกษาที่ 1 การอนุรักษ์พลังงานของเครื่องอัดอากาศในโรงงาน Forging

<ที่มา : เอกสารตัวอย่างยอดเยี่ยม ECCJ 90 No.14>

ประเภทกิจการ : กิจการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็ก

ผลิตภัณฑ์ : ผลิตภัณฑ์เหล็ก Forging

จำนวนพนักงาน : 171 คน

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : กำลังไฟฟ้า 10,630 [kWh/ปี]

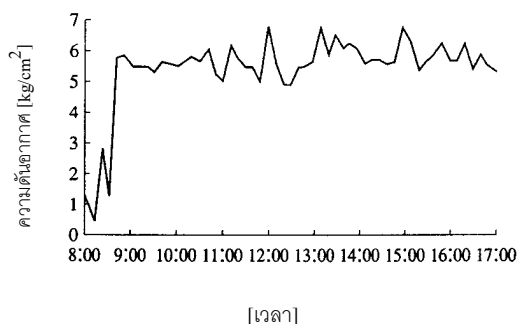
น้ำมันเตา 1,260 [kL/ปี]

#### (1) ก่อนดำเนินการ

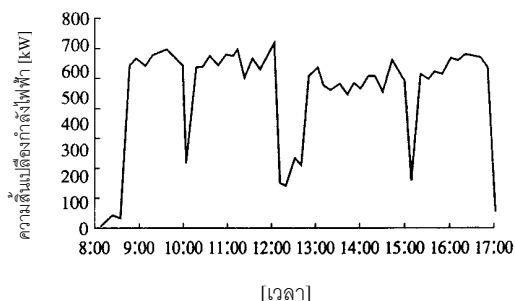
การใช้กำลังไฟฟ้า 25% ของโรงงาน Forging สิ้นเปลืองไปกับเครื่องอัดอากาศ อากาศอัดจะนำไปใช้เป็นแหล่งกำลังขับเคลื่อนเครื่อง Forging และใช้ในการทำ Air blow อย่างไรก็ตาม การเดินเครื่องอัดอากาศจะปล่อยให้เป็นการตัดสินใจของพนักงานให้สอดคล้องกับการทำงานของไลน์ผลิตผลคือทำให้เดินเครื่องเครื่องอัดอากาศมากเกินไป

#### (2) สภาพปัจจุบัน

การเปลี่ยนแปลงความดันที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงภาระกำลังไฟฟ้าประจำวันแสดงไว้ในรูปที่ 1.66 และรูปที่ 1.67 ตามลำดับการเปลี่ยนแปลงความดันมีลักษณะกระเพื่อมรุนแรง มีช่วงการเปลี่ยนแปลงถึง 2 [kg/cm<sup>2</sup>] ขณะที่ทั้งการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามักมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความดันกำลังไฟฟ้าภาระเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 620 [kW] การทำ Air blow และปริมาณอากาศรั่วมีค่า 1,590 [m<sup>3</sup>/h] ซึ่งมีค่าสูงกว่า Capacity ของเครื่องอัดอากาศขนาด 150 [kW] 1 ตัว



รูปที่ 1.66 การเปลี่ยนแปลงความดัน



รูปที่ 1.67 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า  
ของเครื่องอัดอากาศ

#### (3) วิธีดำเนินการ

ตรวจสอบการรั่วของอากาศทั้งหมดด้วยเสียงอากาศรั่ว (เสียงซู่...ว) และทำการซ่อมแซมให้หมดลดพื้นที่ช่องเปิดของ Air nozzle สำหรับพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์และอื่นๆ ลดความดันของอากาศที่ใช้ในการพ่น และปรับปรุงวิธีพ่นให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นใช้เครื่องตั้งเวลาและสวิตช์เท้าเพื่อหยุดการป้อนอากาศโดยอัตโนมัติเมื่อไม่ได้ใช้งาน

#### (4) ประสิทธิภาพ

ลดกำลังไฟฟ้าได้ 1,445 [MWh/ปี] (อัตราที่ลดได้เทียบกับค่ารวม 11.5 [%])

ลดต้นทุนได้ 397,375,000 [บาท/ปี]

**กรณีศึกษาที่ 2** การอนุรักษ์พลังงานด้วยการปรับจำนวนการเดินเครื่องเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมที่สุด  
 ผลลัพธ์ : การขึ้นรูปโลหะผสมอลูมิเนียมด้วยวิธี Extrusion และกรรมวิธีสร้างชิ้นออกไซด์ขั้วบวก

จำนวนพนักงาน : 276 คน

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : น้ำมันเตา A 7,412 [kL]

น้ำมันก๊าด 785 [kL]

กำลังไฟฟ้า 40,662 [kWh]

### (1) ก่อนดำเนินการ

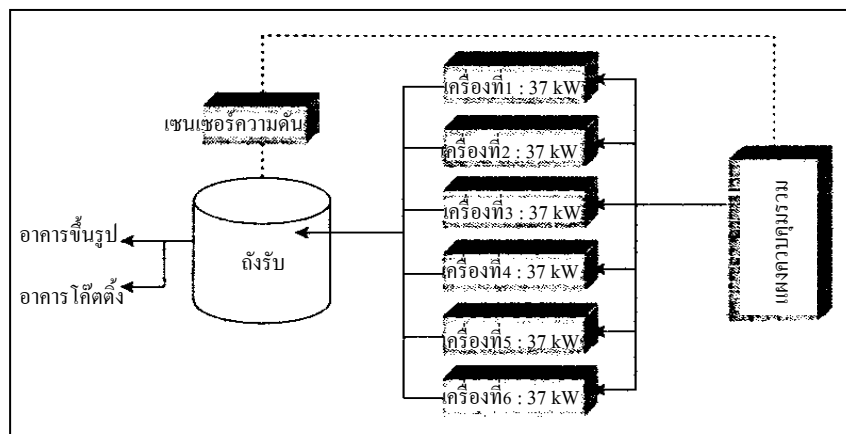
ปัจจุบันมีการใช้กำลังไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 130,000 [kWh] ทุกเดือนเพื่อผลิตอากาศอัดสำหรับขับเคลื่อนเครื่องจักรการผลิต จึงตั้งเป้าหมายในการลดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ วิธีการดำเนินการปรับปรุงได้แก่ การลดเวลา Unload ของเครื่องอัดอากาศให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยเฝ้าติดตามสภาพการเดินเครื่องเครื่องอัดอากาศทั้ง 6 เครื่อง และปรับปรุงวิธีควบคุมการสตาร์ทและหยุดเครื่อง ทำให้ลดปริมาณไฟฟ้าลงได้ 28.1 [%]

### (2) สภาพปัจจุบันและวิธีการแก้ไข

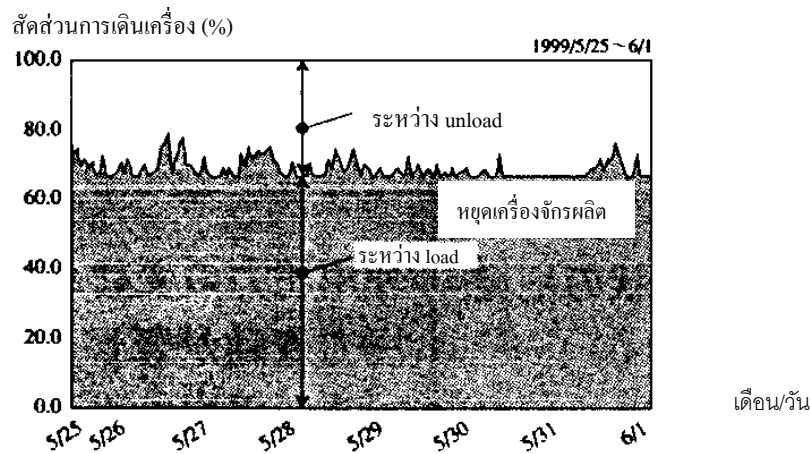
#### (2.1) สภาพปัจจุบัน

โครงสร้างโดยภาพรวมของระบบอากาศอัด แสดงไว้ในรูปที่ 1.68 ผลการสำรวจอัตราการเดินเครื่องของเครื่องอัดอากาศทั้ง 6 เครื่องแสดงไว้ในรูปที่ 1.69

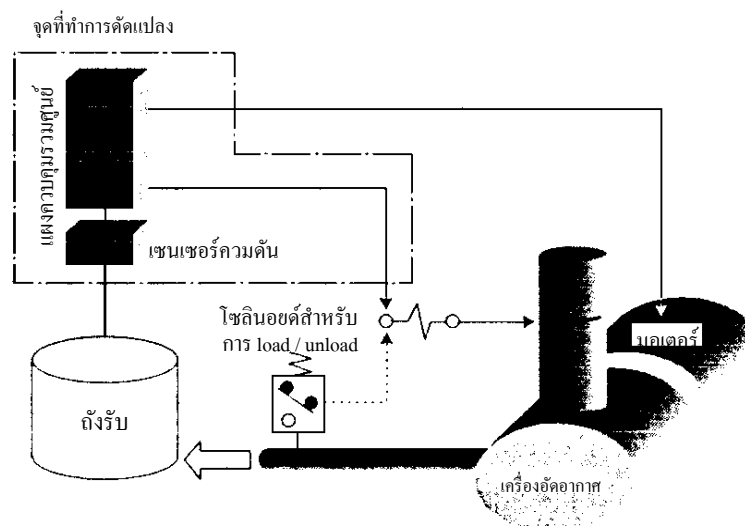
พบว่าแทบไม่มีเวลาหยุดเครื่องเลย / เวลา Unload ใช้ เวลานาน / ที่พนักงานใช้เวลาลดความดันเพื่อปรับความดันลงให้เหมาะสมกับการใช้งาน / เครื่องจักรบางตัวมีอากาศรั่ว เป็นต้น นอกจากนี้เมื่อหยุดเครื่องอัดอากาศทีละ 1 เครื่องเพื่อทำการ Overhaul แล้วกำลังไฟฟ้าที่ใช้จะลดลง 21 [%] เทียบกับเวลาปกติ แต่ก็ไม่ได้ทำให้ความดันตกจนอากาศไม่พอใช้ ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้ถึง 25 [%] ซึ่งดีกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้เสียอีก



รูปที่ 1.68 โครงสร้างภาพรวมของระบบอัดอากาศ



รูปที่ 1.69 ผลสำรวจอัตราการใช้เครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 1.70 การติดตั้งเซ็นเซอร์ความดัน

## (2) การดำเนินการได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

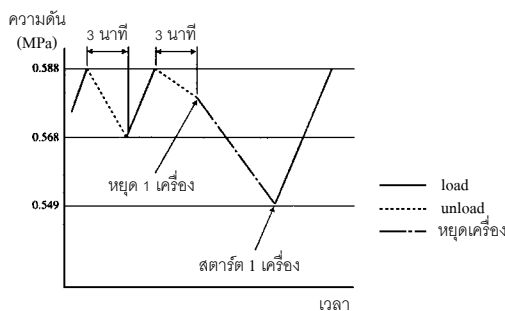
- (1) ติดตั้งเซ็นเซอร์ความดันบนท่อที่ ถังรับ และตัดแปลงอุปกรณ์ให้สามารถควบคุมเครื่องอัดอากาศแต่ละตัวแบบรวมศูนย์ ได้จากภายนอก (รูปที่ 1.70)
- (2) พิจารณาทบทวนวิธีควบคุมและรูปแบบการสตาร์ท - หยุดเครื่อง (รูปที่ 1.71) นอกจากนี้ยังลดความดันจ่ายอากาศจาก 0.686 [MPa] เหลือ 0.588 [MPa] อีกด้วย
- (3) สำรวจเครื่องจักรที่มีอากาศรั่วในวันหยุด จัดทำแผนที่อากาศรั่วและให้ทำกิจกรรม ซ่อมบำรุงด้วยตัวเองเพื่อซ่อมแซมให้กลับสภาพเดิม

### (3) ประสิทธิภาพ

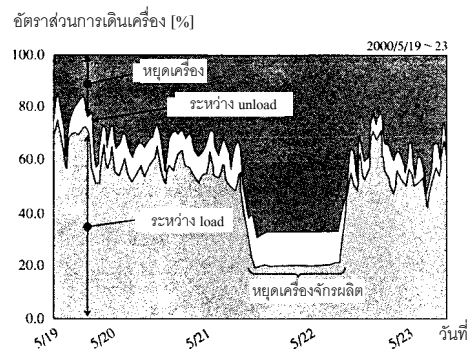
#### (3.1) สัดส่วนการเดินเครื่องเครื่องอัดอากาศทั้ง 6 เครื่องหลังจากปรับปรุง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าในปีงบประมาณ พ.ศ. 2543 หลังปรับปรุงเทียบกับปริมาณไฟฟ้าเฉลี่ยของปีงบประมาณ พ.ศ. 2540-2541 แล้ว  $96,822 \text{ [kWh]} / \text{เดือน}$  (ปริมาณไฟฟ้าเฉลี่ยของปีงบประมาณ พ.ศ. 2543)  $134,755 \text{ [kWh]} / \text{เดือน}$  (ปริมาณไฟฟ้าเฉลี่ยของปีงบประมาณ พ.ศ. 2540-2541) = 0.719 เท่ากับสามารถลดกำลังไฟฟ้าลงได้ 28.1 [%] มูลค่าประสิทธิภาพที่คำนวณได้จากปริมาณอากาศที่ใช้

จะเท่ากับ 1,116,097.59 บาทต่อปี (ค่าไฟฟ้า 2.75 บาท/kWh) ระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อใช้เงินปรับปรุงและค่าวัสดุ 0.03 ปี กล่าวคือ การดัดแปลงเพียงเล็กน้อยแต่มีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 1.71 วิธีการควบคุมและรูปแบบการสตาร์ท



รูปที่ 1.72 สัดส่วนการเดินเครื่องอัดอากาศ

**กรณีศึกษาที่ 3** การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้พัดลมระบายอากาศขนาดเล็กประสิทธิภาพสูง

<ที่มา : “การอนุรักษ์พลังงาน” รายเดือน Vol.39 No.11>

ประเภทกิจการ : กิจการผลิตโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

ผลิตภัณฑ์ : ผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมหล่อ

#### (1) ก่อนดำเนินการ

พัดลมระบายอากาศในอุปกรณ์บำบัดก๊าซไอเสียจากเตาหลอมอลูมิเนียมมีขนาดใหญ่ถึง 300 [kW] อย่างไรก็ตามในสภาพการเดินเครื่องตามปกติจะใช้วิธีหรีดแอมเปอร์ ขาเข้า ทำให้มองได้ว่าพัดลมระบายอากาศมีข้อกำหนดจำเพาะสูงเกินไป จึงพิจารณาความเป็นไปได้ในการลดขนาดให้เล็กลง

#### (2) สภาพปัจจุบัน

ผลการจากเก็บข้อมูลการเดินเครื่องพัดลมระบายอากาศในสภาพการเดินเครื่องตามปกติ พบว่าปริมาณอากาศมีค่า 1,100 [m<sup>3</sup>/min] ในขณะที่ข้อกำหนดจำเพาะระบุไว้ 1,300 [m<sup>3</sup>/min] ส่วนความดันมีค่า 400 [mmAq] ในขณะที่ข้อกำหนดจำเพาะระบุไว้ 450 [mmAq] จึงสรุปได้ว่าพัดลมมีขนาดใหญ่เกินไปเทียบกับจุดใช้งาน

#### (3) วิธีการดำเนินการ

(1) เมื่อแจกแจงหัวข้อที่สามารถทำการอนุรักษ์พลังงานของพัดลม จะได้ดังตารางที่ 1.6 ในจำนวนนั้นได้พิจารณาเจาะจงที่มาตรการสำคัญ 3 หัวข้อดังต่อไปนี้

- พิจารณาปริมาณลมและความดันสถิตที่ออกแบบไว้
- เปลี่ยนไปใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูง
- วิธีปรับปริมาณลมที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการเดินเครื่อง

- (2) สำหรับมาตรการปรับเปลี่ยนปริมาณลมให้เหมาะสมประกอบด้วย
  - ลดขนาดใบพัด (จากปัจจุบัน 1,980 → 1,700 [mm ø])
  - ลดความเร็วรอบ (จากปัจจุบัน 1,485 → 1,300 [rpm])
  - เปลี่ยนไปใช้พัดลมที่มีปริมาณลมที่เหมาะสม
- (3) ผลสรุปได้ว่าจะใช้วิธีปรับปริมาณลมให้เหมาะสมร่วมกับการใช้พัดลมขนาดเล็กประสิทธิภาพสูง

**ตารางที่ 1.6** การอนุรักษ์พลังงานของพัดลม

|                             |                                           |                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| วิธีอนุรักษ์พลังงานของพัดลม | 1. ปรับด้วยกลไกด้านพัดลม                  | (1) ควบคุมแอมเปอร์ขาออก<br>(2) ควบคุมแอมเปอร์ขาเข้า<br>(3) ควบคุม vane ขาเข้า<br>(4) ควบคุม Vane ของ Fixed blade<br>(5) variable Pitch ของ Moving blade                                               |
|                             | 2. ปรับด้วยวิธีขับพัดลม ควบคุมความเร็วรอบ | (6) ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์<br>(7) Pulley ปรับความเร็วได้<br>(8) Torque converter<br>(9) เปลี่ยน Pulley<br>(10) ขับด้วยกังหันไอน้ำ                                                                    |
|                             | 3. ปรับด้วยโครงสร้างของพัดลม              | (11) เปลี่ยนไปใช้ใบพัดที่มี Capacity ต่ำลง<br>(12) นำใบพัดไปเจียรเส้นผ่านศูนย์กลางออก<br>(13) ปรับมุมของ Diffuser vane<br>(14) ลดจำนวนชั้นของใบพัด<br>(15) นำใบพัดไปแปรรูปความกว้างทางออก (ใบพัดเปิด) |
|                             | 4. ปรับด้วยวิธีเดินเครื่อง                | (16) ควบคุมจำนวนเครื่องด้วยการเดินเครื่องขนาน<br>(17) ควบคุม ON-OFF<br>(18) ควบคุมรูปแบบ                                                                                                              |

#### (4) ประสิทธิภาพ

|                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| กำลังไฟฟ้าที่ลดได้        | 1,080 [MWh/ปี]       |
| กำลังไฟฟ้าของพัดลมที่ลดลง | 150 [kW]             |
| ต้นทุนที่ลดได้            | 30,470,000 [บาท/ ปี] |

#### กรณีศึกษาที่ 4 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าด้วยการนำอุปกรณ์ระบายอากาศเฉพาะที่มาไว้บริเวณเดียวกัน

<ที่มา : ตัวอย่างการปรับปรุง ECCJ 25-No.15>

|                            |                                                   |
|----------------------------|---------------------------------------------------|
| ประเภทกิจการ :             | กิจการผลิตเครื่องจักรขนส่ง                        |
| ผลิตภัณฑ์ :                | ชิ้นส่วนอะลูมิเนียมสำหรับรถยนต์                   |
| ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : | กำลังไฟฟ้า 54,940 [MWh]<br>เชื้อเพลิง 15,900 [kL] |

**(1) ก่อนดำเนินการ**

มีการติดตั้งเครื่องดักฝุ่นขนาดเล็กในการผลิตชิ้นส่วนอลูมิเนียมหล่อตามมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมไปแล้ว หลังจากนั้นจึงพิจารณามาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนแผงเลย์เอาต์ของโรงงานผลิตใหม่ เพื่อให้การเดินเครื่องอย่างมีประสิทธิภาพสูงโดยการระบายอากาศเฉพาะที่จากบริเวณเดียวกัน

**(2) สภาพปัจจุบัน**

- ไม่สามารถรักษาค่ามาตรฐานสภาพแวดล้อมในการทำงานของบริษัท ( $0.5 \text{ [mg/m}^3\text{N]}$ ) ได้
- ระบบใส่กรองอากาศอาจไหม้เสียหายเนื่องจากการดูดประกายไฟเข้าไปในขณะที่กะขึ้นงานออกจากแบบ
- มีการเดินเครื่องพัดลมระบายอากาศเฉพาะที่แม้ในขณะที่เครื่องจักรไม่ได้เดินเครื่อง
- การปรับปริมาณอากาศที่ดูดออกไปใช้วิธีหรีดแมเปอร์

**(3) วิธีดำเนินการ**

ผลจากการพิจารณาตารางที่ 1.7 ได้เลือกใช้วิธีระบายอากาศจากบริเวณเดียวกัน

ผลจากการพิจารณาตารางที่ 1.8 ได้เลือกใช้วิธีการควบคุมปริมาณอากาศที่ดูดออกไปโดยใช้อินเวอร์เตอร์ใช้ตารางที่ 1.9 พิจารณาปัญหาในการใช้อินเวอร์เตอร์และวิธีแก้ไข

**ตารางที่ 1.7 การพิจารณาเปรียบเทียบวิธีลดกำลังขับ**

|                             | วิธีระบายอากาศเฉพาะที่<br>จากหลายบริเวณ |   | วิธีระบายอากาศเฉพาะที่<br>จากบริเวณเดียวกัน |   |
|-----------------------------|-----------------------------------------|---|---------------------------------------------|---|
| การลงทุน                    | สัดส่วนการลงทุน 1.0                     | ○ | สัดส่วนการลงทุน 1.2                         | Δ |
| ต้นทุนเดินเครื่อง-ซ่อมบำรุง | ต้นทุนสูงเนื่องจากมีหลายบริเวณ          | Δ | ต้นทุนต่ำเนื่องจากอยู่บริเวณเดียวกัน        | ○ |
| การเลย์เอาต์รองรับ          | รองรับได้ดี                             | ○ | รองรับได้ค่อนข้างยาก                        | Δ |
| การดักจับฝุ่นละออง          | มีประสิทธิภาพในการดักฝุ่นต่ำกว่า        | Δ | มีประสิทธิภาพในการดักฝุ่นดี                 | ○ |
| อัคคีภัย                    | มีความเสี่ยงสูงเนื่องจากเป็นแบบแห้ง     | × | ไม่มีความเสี่ยงเนื่องจากเป็นแบบเปียก        | ○ |
| พื้นที่                     | ใช้พื้นที่มากเนื่องจากมีหลายบริเวณ      | Δ | ใช้พื้นที่น้อยเนื่องจากอยู่บริเวณเดียวกัน   | ○ |
| มลพิษ                       | เสียงรบกวนดัง ไม่ต้องบำบัดน้ำทิ้ง       | Δ | เสียงรบกวนค่อย ต้องบำบัดน้ำทิ้ง             | Δ |

ตารางที่ 1.8 การพิจารณาเปรียบเทียบวิธีดักฝุ่น

|               | ใช้แฉมเปอร์ |   | ใช้ axial flow ของ variable blade |   | ใช้ inlet vane |   | ใช้อินเวอร์เตอร์ |   |
|---------------|-------------|---|-----------------------------------|---|----------------|---|------------------|---|
| ประสิทธิภาพ   | ต่ำ         | Δ | ปานกลาง                           | ○ | ต่ำ            | Δ | สูง              | ○ |
| การลงทุน      | ต่ำ         | ○ | ปานกลาง                           | ○ | ปานกลาง        | ○ | ปานกลาง          | ○ |
| การซ่อมบำรุง  | สะดวก       | ○ | สะดวก                             | ○ | สะดวก          | ○ | สะดวก            | ○ |
| ช่วงการควบคุม | แคบ         | Δ | ปานกลาง                           | ○ | ปานกลาง        | ○ | กว้าง            | ○ |

ตารางที่ 1.9 ปัญหาในการใช้อินเวอร์เตอร์และวิธีแก้ไข

| ปัญหา          | สาเหตุ                     | วิธีแก้ไข                              |
|----------------|----------------------------|----------------------------------------|
| การสั่นสะเทือน | การรบกวนกับระบบเชิงกล      | ติดตั้งแท่นกันสั่น                     |
| เสียงรบกวน     | เสียงรบกวนจากสาเหตุข้างต้น | ติดตั้งห้องเก็บเสียง                   |
| สัญญาณรบกวน    | การเกิดคลื่นฮาร์โมนิก      | ติดตั้งฟิลเตอร์กรองคลื่น (ยังไม่ได้ทำ) |
| การแผ่ความร้อน | การแผ่ความร้อนจากพัดลม     | ระบายอากาศ-ความร้อนในห้องเก็บเสียง     |

#### (4) ประสิทธิภาพ

ลดกำลังไฟฟ้าได้ 903 [MWh/ปี]

(อัตราการใช้ไฟฟ้าระบายอากาศเฉพาะที่ที่ลดได้ 32 [%])

ลดต้นทุนได้ 5,683,200 [บาท/ปี]

#### กรณีศึกษาที่ 5 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าด้วยการปรับความเร็วของพัดลม <ที่มา : FE95064>

ผลิตภัณฑ์ : poval (กาว สารจัดการผิวกระดาษฟิล์ม)

จำนวนพนักงาน : 190 คน

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : น้ำมันเตา C 7,300 [kL/y]

Oil coke (เทียบเป็นน้ำมันเตา) 12,500 [kL/y]

กำลังไฟฟ้า 36,000 [kWh/y]

#### (1) ก่อนดำเนินการ

ในระบบจ่ายเชื้อเพลิงให้หม้อไอน้ำจะใช้เครื่องมิลล์บด Oil coke แล้วใช้พัดลมระบายอากาศดูดมาดักด้วย Bag filter ในจำนวนนั้นได้พิจารณาสนใจที่ระบบพัดลมระบายอากาศที่มีขนาดใหญ่เกินไป ผลคือได้วิธีอนุรักษ์พลังงานด้วยการเปลี่ยนอัตราส่วนของ Pulley เพื่อลดความเร็ว กระบวนการของระบบเป้าหมายแสดงไว้ในรูปที่ 1.73

#### (2) รายละเอียด

##### 1) สภาพปัจจุบันและการวิเคราะห์

- ข้อกำหนดจำเพาะของพัดลม ปริมาณลม  $Q = 320 \text{ [m}^3/\text{min]}$

ความดัน  $P = 700 \text{ [mmAq]}$  ความเร็วรอบ  $N = 2,260 \text{ [rpm]}$

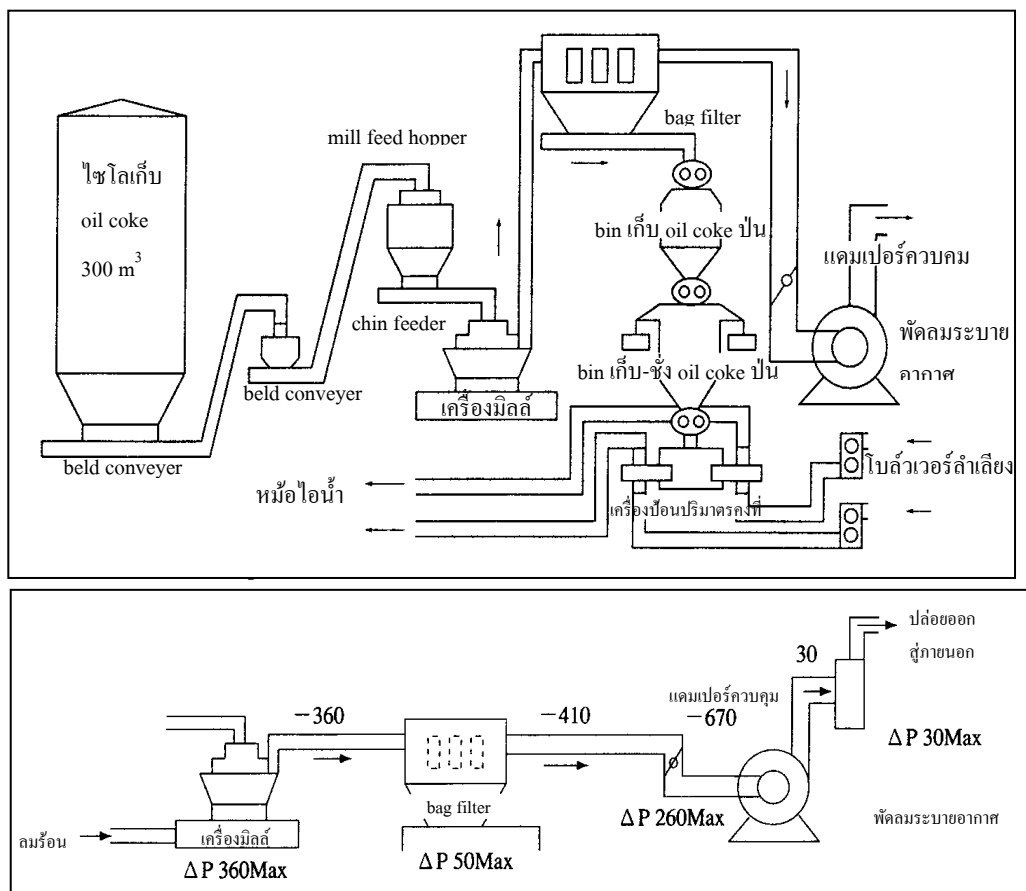
- ข้อกำหนดจำเพาะของมอเตอร์ พิกัดกำลังขาออก  $L = 75 \text{ [kW]}$   $A = 123 \text{ [Amp]}$   $N = 1,770 \text{ [rpm]}$
- มอเตอร์มีพิกัด 123 [Amp] แต่มีกระแสภาระเพียงประมาณ 80 [Amp]
- ออกแบบปริมาณลมไว้ 320  $\text{[m}^3\text{/min]}$  แต่มีภาระเพียง 170  $\text{[m}^3\text{/min]}$
- ระดับการเปิดแฉลมเปอร์ ควบคุมพัดลมระบายอากาศมีค่าเพียงประมาณ 15 องศา ยิ่งกว่านั้นเมื่อเดินเครื่องด้วยภาระต่ำ ยังเกิดปรากฏการณ์ Surging อีกด้วย (มีการสั่นรุนแรง)

## 2) การพิจารณา

เมื่อชัดเจนว่าเครื่องจักรมีขนาดใหญ่เกินไป จึงได้พิจารณาว่าสามารถลดความเร็วรอบได้ถึงเท่าใดจึงจะยังมีความดันสถิตตามที่ต้องการ

การสำรวจความดันสูญเสียของระบบปัจจุบัน (ดูรูปที่ 1.74)

- ความดันสูญเสียของแฉลมเปอร์ =  $700 - (360 + 50 + 30) = 260 \text{ [mmAq]}$
- คำนวณความดันสูญเสียที่ยอมรับได้ของแฉลมเปอร์
- ทำการสำรวจและกำหนดไว้ที่ 50 [mmAq]
- มาตรการรองรับการเปลี่ยนความเร็วรอบ
- สามารถลดความเร็วรอบได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ แต่จากเรื่องค่าใช้จ่าย จึงเปลี่ยน Pulley ของมอเตอร์ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง
- เส้นผ่านศูนย์กลาง Pulley ของมอเตอร์  $0.309 \text{ [m]} \rightarrow 0.257 \text{ [m]}$



รูปที่ 1.74 ภาพโครงสร้างของส่วนที่เกิดความดันสูญเสีย



### (3) ประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.10 ประสิทธิภาพของการปรับปรุงด้วยการปรับความเร็วพัดลม

| No. | หัวข้อ                                   | ก่อนปรับปรุง | หลังปรับปรุง | หมายเหตุ                                     |
|-----|------------------------------------------|--------------|--------------|----------------------------------------------|
| 1   | เส้นผ่านศูนย์กลาง Pulley ของมอเตอร์ [cm] | 30.9         | 25.7         | ค่าก่อสร้าง = 31,820 บาท                     |
| 2   | ความเร็วสายพาน [m/s]                     | 28.6         | 23.8         |                                              |
| 3   | ความเร็วรอบของพัดลม [rpm]                | 2,260        | 1,880        |                                              |
| 4   | ความดันสถิต [mm-Hg]                      | 700          | 484          |                                              |
| 5   | กำลังขับ [kW]                            | 49           | 34           | อนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า ประมาณ 592,000 [บาท/ปี] |
| 6   | กระแสไฟฟ้า [Amp]                         | 80           | 55           |                                              |
| 7   | ปริมาณลมสูงสุด [m <sup>3</sup> /h]       | 19,200       | 15,900       |                                              |
| 8   | ระดับการเปิดแอดมเปอร์ [°]                | 15           | 35           |                                              |

#### กรณีศึกษาที่ 6 การอนุรักษ์พลังงานด้วยการปรับ Capacity ของปั๊มน้ำให้เหมาะสม

<ที่มา : พื้นฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และตัวอย่างเชิงปฏิบัติ ECCJ 25 No.13>

ประเภทกิจการ : กิจการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

ผลิตภัณฑ์ : ยางรถยนต์

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : กำลังไฟฟ้า 33,750 [MWh]

ก๊าซ (เทียบเป็นน้ำมันดิบ) 6,120 [kL]

#### (1) ก่อนดำเนินการ

แต่เดิมเคยดำเนินการลดต้นทุนกำลังขับโดยเน้นระบบการผลิตเป็นหลักมาแล้ว ในครั้งนี้ได้พิจารณา ระบบ Utility เพื่ออนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของระบบน้ำ

#### (2) สภาพปัจจุบัน

นำสภาพการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันมาวาดเป็น Pareto diagram ซึ่งยืนยันได้ว่ากำลังไฟฟ้าสำหรับน้ำ มีสัดส่วน 11 [%] ของทั้งหมด จัดทำ System flow ของท่อน้ำทั้งหมด เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของระบบนี้

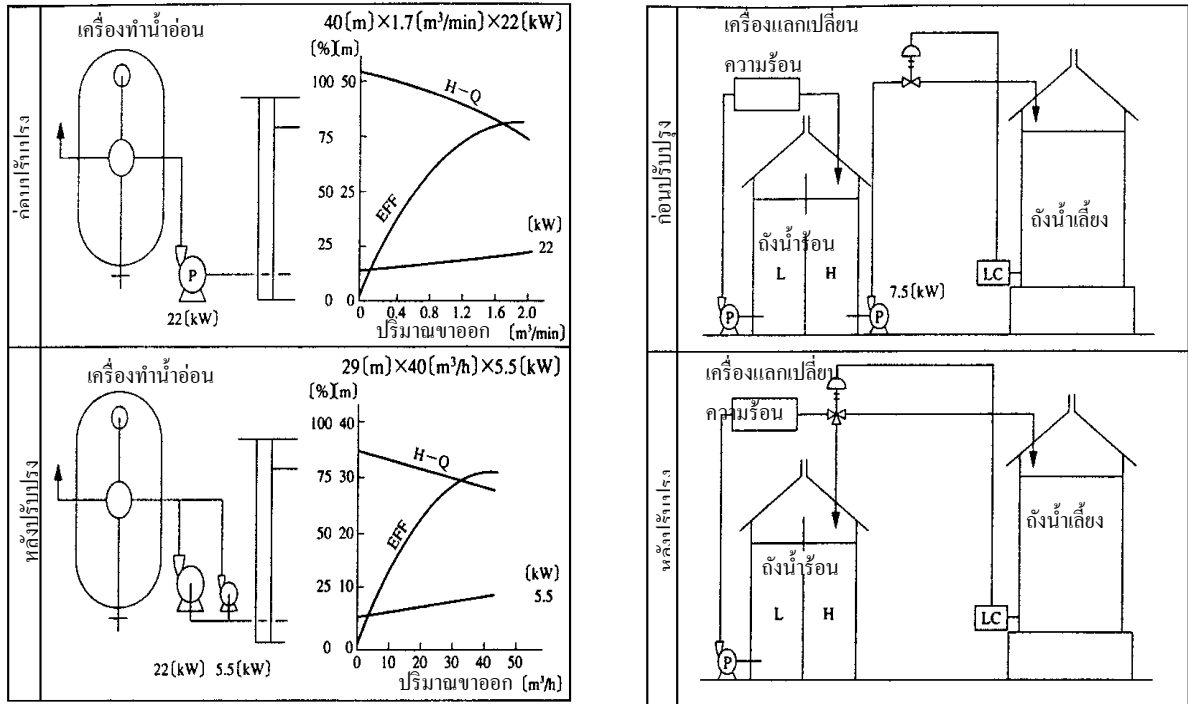
#### (3) วิธีดำเนินการ

1) ใช้ปั๊มสำหรับเครื่องทำน้ำอ่อนสำหรับหม้อไอน้ำในการทำ Backwash และ Wash โดยเฉพาะ โดยติดตั้งปั๊มขนาดเล็กเพิ่มเข้ามาสำหรับส่งน้ำตามธรรมดา เพื่อลดพลังงานไฟฟ้าลง (ดูรูปที่ 1.75)

2) น้ำร้อนที่นำกลับมาใช้จากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ในกระบวนการผลิต เปลี่ยนจากการนำไปผ่านถังพัก เป็นป้อนให้ถังน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำโดยตรง (ดูรูปที่ 1.76)

3) ติดตั้งเครื่องตกฝุ่นในระบบนำน้ำร้อนของถัง Vulcanization กลับมาใช้ โดยเปลี่ยนเป็นปั๊มประสิทธิภาพสูง

4) ปรับ Capacity ของปั๊มน้ำระบายความร้อนสำหรับรองรับภาระตามฤดูกาลให้สอดคล้องกับสภาพภาระ



รูปที่ 1.75 การลดกำลังไฟฟ้าสำหรับปั๊มน้ำความร้อน  
ที่กลับมาใช้

รูปที่ 1.76 การลดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำร้อน  
สำหรับหม้อไอน้ำ

#### (4) ประสิทธิภาพ

|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| ลดกำลังไฟฟ้าได้                     | 570 [MWh/ปี]       |
| อัตราที่ลดได้เทียบกับกำลังไฟฟ้าวรวม | 1.7 [%]            |
| ลดต้นทุนได้                         | 1,567,500 [บาท/ปี] |
| ระยะเวลาคุ้มทุน                     | 0.8 [ปี]           |

กรณีศึกษาที่ 7 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของปั๊มส่งน้ำด้วยการเจียร์ไบพัต <ที่มา : FE96048>

ประเภทกิจการ : กิจการผลิตเครื่องไฟฟ้า

ผลิตภัณฑ์ : วงจรรวมสารกึ่งตัวนำ

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : กำลังไฟฟ้า 416,300 [MWh]

ก๊าซ (เทียบเป็นน้ำมันดิบ) 12,700 [kL]

#### (1) ก่อนดำเนินการ

กระบวนการล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์จะใช้น้ำเป็นจำนวนมาก โครงการนี้จะลดการใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับ  
ลำเลียงของไหล

## (2) สภาพปัจจุบัน

ผลจากการสำรวจเฮดที่จำเป็นของปั๊มสำหรับส่งน้ำผ่าน Activated carbon สำหรับผลิตน้ำบริสุทธิ์พบว่าเฮดที่จำเป็นจริงๆ มี ค่าเพียงประมาณ 50 [%] ของข้อกำหนดจำเพาะในปัจจุบันเท่านั้น ผลการสำรวจแสดงไว้ในตารางที่ 1.11

ตารางที่ 1.11 ปริมาณการกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุงปั๊ม

| Activated carbon No. | สภาพปัจจุบัน                    |            |                        | หลังปรับปรุง                    |            |                        | เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน [kW] |
|----------------------|---------------------------------|------------|------------------------|---------------------------------|------------|------------------------|---------------------------------|
|                      | ปริมาณขาออก [m <sup>3</sup> /h] | เฮดรวม [m] | กำลังไฟฟ้าของปั๊ม [kW] | ปริมาณขาออก [m <sup>3</sup> /h] | เฮดรวม [m] | กำลังไฟฟ้าของปั๊ม [kW] |                                 |
| No.1                 | 120                             | 33.5       | 19.1                   | 120                             | 18.5       | 8.5                    | 8.5                             |
| No.2                 | 118                             | 33.5       | 17.3                   | 118                             | 18.5       | 7.7                    | 7.7                             |
| No.3                 | 125                             | 32.5       | 16.6                   | 125                             | 18.5       | 7.2                    | 7.2                             |
| No.4                 | 115                             | 33.5       | 16.6                   | 115                             | 18.5       | 7.4                    | 7.4                             |
| No.5                 | 100                             | 31.5       | 15.6                   | 100                             | 18.5       | 6.4                    | 6.4                             |
| No.6                 | 100                             | 32.5       | 15.2                   | 100                             | 18.5       | 6.5                    | 6.5                             |
| No.7                 | 100                             | 31.5       | 15.6                   | 100                             | 18.5       | 6.4                    | 6.4                             |
| No.8                 | 100                             | 32.5       | 15.6                   | 100                             | 18.5       | 6.7                    | 6.7                             |
| รวม                  |                                 |            | 131.6                  |                                 |            | 74.8                   | 56.8                            |

## (3) วิธีการดำเนินการ

ผลจากการพิจารณาตารางที่ 1.12 และตารางที่ 1.13 เพื่อพิจารณากำหนดข้อกำหนดจำเพาะที่สูงเกินไปของปั๊มให้เหมาะสม ได้เลือกวิธีเจียรใบพัดของปั๊มนำมาปฏิบัติ

ตารางที่ 1.12 วิธีปรับปรุงปั๊ม

| ข้อเสนอปรับปรุง                       | เนื้อหาการปรับปรุง                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ใช้อินเวอร์เตอร์เจียรใบพัดเปลี่ยนปั๊ม | ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อปรับจุดเดินเครื่องให้เหมาะสมที่สุด นำใบพัดของปั๊มไปเจียรให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเหมาะสมที่สุดเพื่อลดเฮดรวมลง เปลี่ยนไปใช้ปั๊มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับจุดสมรรถนะที่ต้องการ |

ตารางที่ 1.13 ผลการพิจารณาวิธีปรับปรุงปั๊ม

| ข้อเสนอปรับปรุง                       | มูลค่าประสิทธิภาพ [บาท/ปี]                  | มูลค่าลงทุน [ บาท ]                           | ระยะคุ้มทุน [ปี]              | ระยะเวลาก่อสร้าง | การประเมินโดยภาพรวม |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------|
| ใช้อินเวอร์เตอร์เจียรใบพัดเปลี่ยนปั๊ม | ○ (995,300)<br>Δ (556,480)<br>○ (1,259,850) | × (8,140,000)<br>○ (444,000)<br>Δ (5,291,000) | × (8.2)<br>○ (0.8)<br>○ (4.7) | ×<br>○<br>○      | ×<br>○<br>○         |

## (4) ประสิทธิภาพ

|                                  |                  |
|----------------------------------|------------------|
| ลดกำลังไฟฟ้าได้                  | 118 [MWh/ปี]     |
| อัตราที่ลดกำลังไฟฟ้าของปั๊มลงได้ | 20.8 [%]         |
| ลดต้นทุนได้                      | 324,500 [บาท/ปี] |
| ระยะเวลาคูคุ้มทุน                | 0.8 [ปี]         |

**กรณีศึกษาที่ 8** การอนุรักษ์พลังงานด้วยการป้องกันปั๊มดูดอากาศเข้าไป <ที่มา : FE94051>

ประเภทกิจการ : กิจการเหล็กกล้า

ผลิตภัณฑ์ : วัสดุเหล็ก เหล็กเส้น

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี :  $5,883 \times 10^9$  [kcal]**(1) ก่อนดำเนินการ**

ผลจากการพิจารณาพบจุดเริ่มต้นของกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานโดยมี เจื่อนไขอยู่บนการทำงานอย่างปลอดภัยในฐานะที่เป็นกลุ่มซ่อมบำรุงอุปกรณ์ ได้นำเรื่องนี้ขึ้นมาเป็นหัวข้อหนึ่งในการขยายผลกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบใหม่

**(2) สภาพปัจจุบัน**

ขดผลิตภัณฑ์ของไลน์ม้วนเหล็กเส้นจะถูกระบายความร้อนด้วยการพรมน้ำระหว่างทางไปเครื่อง Buncher แต่ขณะที่ไม่มีชิ้นงานอยู่ น้ำพรมจะถูกบายพาสไปยังถังน้ำดิบและปั๊มระบายความร้อนจะเดินเครื่องตลอดเวลาสาเหตุที่ต้องบายพาสคือเพื่อป้องกันปัญหาจากการดูดอากาศเข้ามาขณะที่หยุดปั๊ม

**(3) วิธีดำเนินการ**

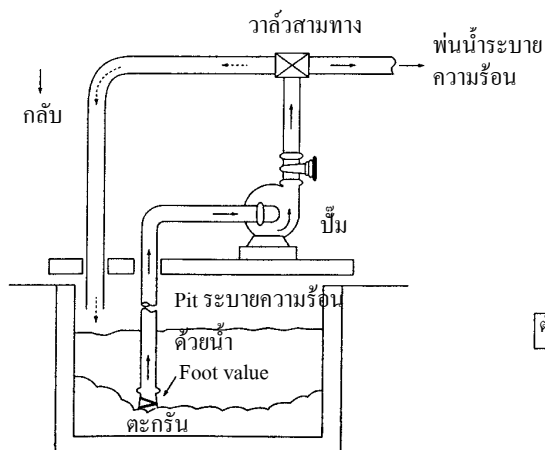
ติดตั้งเฮดแท้งก์เพื่อป้องกันการดูดอากาศเข้ามายังด้านขาเข้าของปั๊มน้ำระบายความร้อน แล้วติดตั้งอินเตอร์ล๊อคค่าเสียงขึ้นงานเพื่อให้สามารถเดินเครื่อง-หยุดเครื่องปั๊มได้โดยอัตโนมัติ นอกจากนั้นยังตัด Pump suction foot valve ออก เพื่อให้ซ่อมบำรุงได้สะดวก

ภาพหลักการก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงไว้ในรูปที่ 1.77 และรูปที่ 1.78

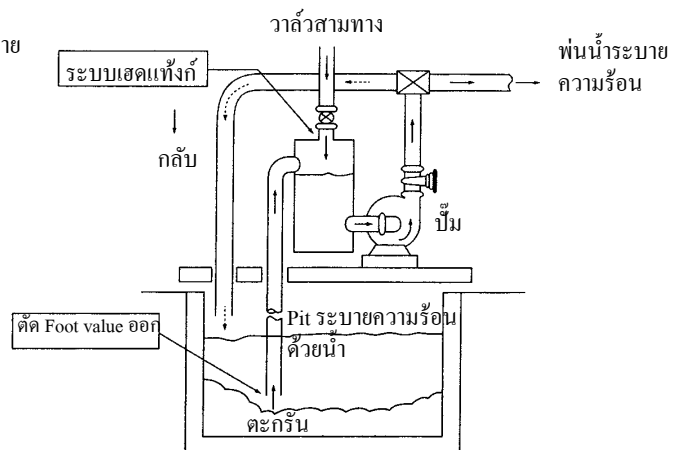
**(4) ประสิทธิภาพ**

ลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 44 [MWh/ปี] (อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับปั๊มที่ลดได้ 60 [%])

ลดต้นทุนได้ 121,000 [บาท/ปี]



รูปที่ 1.77 รูปโครงสร้างระบบปั๊มระบายความร้อน



รูปที่ 1.78 สภาพการปรับปรุงระบบเฮดแท้งก์

**1.5 กิจกรรม (Activity)**

1. จงเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบโรตารีสกรู
2. จงอธิบายวิธีการควบคุมเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ของเครื่องอัดอากาศ ปั๊ม และพัดลม อธิบายพอสังเขป
3. จงอธิบายวิธีการทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในระบบอากาศอัด
4. จงบอกมาตรการหรือวิธีการที่ทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด ปั๊ม และพัดลม

## เฉลยกิจกรรม

### 1. จงเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบโรตารีสกรู

**ตอบ** เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบสกรูใช้วิธีอัดแบบปริมาตร แบ่งเป็นแบบใช้น้ำมันกับแบบไม่ใช้น้ำมัน (Oil free) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบจะมีการสั่นสะเทือนและเสียงดังมากกว่าแบบสกรู รวมทั้งมีอากาศขาออกจะมีการกระเพื่อมสูงกว่า แบบสกรูจะมีระยะเวลาดำรงรักษา 12,000-20,000 ชั่วโมง แต่แบบลูกสูบจะมีระยะเวลาน้ำมันเพียง 1 ใน 4 เท่านั้น

### 2. จงอธิบายวิธีการควบคุมเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ของเครื่องอัดอากาศ ป้อน และพัดลม อธิบายพอสังเขป

**ตอบ** เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ถ้าควบคุมด้วยวิธี unloader และปริมาณอากาศขาออกลดลงจนความดันของไลน์ขาออก (Discharge line) ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้แล้ววาล์วลูกสูบ Unloader จะเปิดวาล์วดูดเข้าข้างไว้ ทำให้เกิดการเดินเครื่องโดยไม่มีการอัดอากาศ ซึ่งแม้ว่าจะทำให้ความดันขาออกกระเพื่อม แต่จะมีประสิทธิผลมากในการอนุรักษ์พลังงาน

ในเครื่องอัดอากาศแบบสกรูที่ใช้น้ำมัน จะมีการจ่ายอากาศอัดความดันออกมาโดยปิดวาล์วดูดเข้าพร้อมๆ กับเปิดวาล์วปรับความดันขาออก เนื่องจากเครื่องจะจ่ายอากาศอัดความดัน การที่ภาระไม่เต็มพิกัดจึงมีผลน้อยต่อการอนุรักษ์พลังงาน ตัวอย่าง เช่น หากปริมาณอากาศที่ จ่ายออกลดลง 50 [%] กำลังขับเพลาลงจะลดลงเพียงประมาณ 15 [%] เท่านั้นในการควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ จะเดินเครื่องอัดอากาศด้วยความเร็วรอบสูงสุด โดยคำนวณความเร็วรอบให้สอดคล้องกับภาระตามสัญญาณจากเซ็นเซอร์ ความดันที่ไลน์ขาออก จึงสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการปริมาณอากาศได้อย่างยืดหยุ่น ความดันขาออกมีการกระเพื่อมน้อย และมีประสิทธิผลสูงในการอนุรักษ์พลังงาน

การควบคุมการทำงานของเครื่องปั๊มและพัดลม ระบบปรับอัตราไหลของปั๊มให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน เรียกว่า ระบบปริมาตรน้ำแปรผัน (VWV: Variable Water Volume) ระบบปรับอัตราไหลของพัดลมให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน เรียกว่า ระบบปริมาตรอากาศแปรผัน (VAV: Variable Air Volume) ส่วนระบบที่รักษาอัตราไหลให้คงที่ โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิหรือบายพาส (Bypass) เลี่ยงไปเรียกว่า ระบบอัตราไหลคงที่ (CWW: Constant Water Volume, CAV: Constant Air Volume)

### 3. จงอธิบายวิธีการทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในระบบอากาศอัด

**ตอบ** ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

กำลังขาออกที่ใช้ในเครื่องมอเตอร์ จะหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P_m = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1 Q}{60000} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right] \cdot \frac{100}{\eta} (1 + \alpha) \quad [\text{kW}]$$

### 4. จงบอกมาตรการหรือวิธีการที่ทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด ปั๊ม และพัดลมมาพอเข้าใจ

**ตอบ**

#### 1. แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด

##### (1) การเลือกเครื่องอัดอากาศ

(1) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะสมกับการรับโหลดที่ไม่สม่ำเสมอ

- (2) เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู การอัดอากาศมีประสิทธิภาพพอสมควรแต่มีความดันคงที่ เหมาะกับการรับโหลดเต็มพิกัดและสม่ำเสมอ จึงจะให้ประสิทธิภาพที่ดีได้
- (3) เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงพอควรเหมาะกับระบบที่ต้องการอากาศมาก

## (2) ท่อดูดอากาศ

การออกแบบท่อดูดอากาศควรให้ท่อดูดอากาศจากภายนอก โดยอากาศต้องเย็น,แห้งและสะอาด อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำลง  $3^{\circ}\text{C}$  จะทำให้ใช้พลังงานลดลง และ หากมีฝุ่นมากจะทำให้ฟิลเตอร์อุดตัน มีผลให้อากาศไหลเข้าน้อย อัตราส่วนความดันจะสูงขึ้น ทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

(3) After cooler การติดตั้ง After cooler จะช่วยลดปัญหาการเกิดคอนเดนเสทได้มาก

(4) Air dryer ช่วยแยกความชื้นและทำให้อากาศมีความแห้งมาก

(5) ถังเก็บอากาศ จะช่วยให้ลมในระบบมีความสม่ำเสมอ ช่วยลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้คอนเดนเสทแยกจากอากาศอัดได้บางส่วน

(6) ท่อเมน ต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ให้ความเร็วของอากาศภายในสูง ระบบท่อเมนต้องดูแลให้มีการรั่วของอากาศไม่เกิน 5 %

## (7) ความดันของอากาศอัด

(1) การใช้ความดันของอากาศอัด การออกแบบด้านการใช้พลังงานไม่ดีต้องลดความดันอีกมากที่จุดใช้งาน

(2) ในกรณีที่ความดันของอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ระดับ เช่น โรงงานส่วนใหญ่มักจะผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์ แล้วลดความดันลงให้เหมาะกับจุดที่ใช้งาน ซึ่งกลุ่มที่ใช้ความดัน 3 บาร์ จะสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก การใช้งานลักษณะนี้ควรผลิตอากาศแยกระบบ โดยระบบแรกผลิตที่ความดัน 7 บาร์ เพื่อความต้องการความดัน 6 บาร์ และอีกระบบผลิตที่ความดัน 3.5 – 4 บาร์ เพื่อใช้กับความดัน 3 บาร์ จะทำให้ลดพลังงานลง 33%

(3) ในกรณีที่ความดันของอากาศ แบ่งเป็น 2 ระดับ แต่ในระดับสูงมีจำนวนใช้น้อยกว่า เช่น โรงงานแห่งหนึ่งใช้ความดันที่ 6 บาร์ และ 10 บาร์ แต่ความดันที่ 10 บาร์ มีความต้องการใช้อยู่ระหว่าง 10-15% ของการใช้ทั้งหมด ลักษณะนี้อาจจะผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์ แล้วติดตั้ง Booster เพื่ออัดอากาศจากความดัน 7 บาร์ เป็น 11 บาร์ เพื่อป้อนให้กลับความดัน 10 บาร์ การจัดการลักษณะนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก

## 2. แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบปั๊ม

จากการตรวจสอบระบบปั๊ม และวิเคราะห์จุดที่มีปัญหาประกอบจนแนวทางการแก้ไขที่เกิดขึ้นสามารถนำมาจัดกลุ่มได้ดังนี้

### (1) การบำรุงรักษา

การที่จะทำให้ปั๊มน้ำที่สึกหรอกลับมาสมบูรณ์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้นต้องซ่อมใหญ่ เปลี่ยนชิ้นส่วนหมุน (ใบพัดและแฉวน) แบริ่งและประเก็น การซ่อมใหญ่ ควรพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป ค่าใช้จ่ายของปั๊มน้ำส่วนใหญ่แล้วเป็นค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโดยรวมตลอดการใช้งาน ดังนั้นการที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ถือว่าคุ้มค่าในการ

### การบำรุงรักษาที่ช่วยส่งเสริมการประหยัด

- การทำความสะอาดตัวกรองที่บริเวณท่อทางเข้าของปั๊มอย่างสม่ำเสมอ
- การตรวจสอบวาล์วกันการไหลย้อนกลับ (Check valve) อย่างสม่ำเสมอ
- การซ่อมแซมรอยรั่วต่างๆ

## (2) การปรับปรุงอุปกรณ์

### 1. การเคลือบผิวภายใน

เพื่อลดการกัดกร่อน/การกัดเซาะ เพื่อลดการเสียดทาน การเคลือบผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ปั๊มน้ำมักจะเคลือบเฉพาะโครงปั๊มน้ำ และด้านนอกของใบพัดเพื่อลดความสูญเสียจากการเสียดทานหลัก

สรุปประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มอย่างมีประสิทธิภาพจากการเคลือบผิว ได้แก่

- ปรับปรุงประสิทธิภาพของปั๊มน้ำทำให้ต้นทุนของการเดินเครื่องลดลง
- มีความคงทนต่อการกัดกร่อนบนชิ้นส่วนที่ได้เคลือบพื้นผิวไว้
- ยืดอายุการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงและทำให้อายุการใช้งานยาวขึ้นเมื่อ

เปรียบเทียบกับปั๊มน้ำที่ไม่ได้เคลือบพื้นผิว

### 2. การเปลี่ยนขนาดของใบพัด

การเปลี่ยนขนาดของใบพัดจะช่วยประหยัดพลังงานจากการสูบน้ำได้ เช่น ถ้าปั๊มน้ำหรือวาล์วควบคุมการไหลอยู่เสมอ จะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูงสุด จึงอาจนำใบพัดขนาดเล็กมาใช้เพื่อให้มีอัตราการไหลเท่าเดิมในระดับของความดันต่ำ ทำให้มีการใช้พลังงานลดลง

### 3. การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลง

การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลงจะคุ้มค่า ถ้า

- ปั๊มน้ำมีขนาดใหญ่เกินกว่าภาระสูงสุดของปั๊มน้ำมาก
- ปั๊มน้ำมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 80% ณ ระดับของภาระไหลสูงสุด
- มีการใช้พลังงานสูง นั่นคือ เมื่อปั๊มน้ำขนาดใหญ่เดินเครื่องเป็นระยะเวลานาน

### 4. การใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

## (3) การจัดการตรวจสอบ

- การตรวจวัดประสิทธิภาพของปั๊มน้ำเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยาก และข้อจำกัดมากมายจึงมีการพัฒนาเทคนิคทางเทอร์โมไดนามิกส์มาคำนวณหาประสิทธิภาพได้โดยตรงเพียงวัดอุณหภูมิ และความดันตกคล่อมปั๊มน้ำ ผลที่ได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับคุณลักษณะสมบัติปั๊มน้ำตามที่ผู้ผลิตให้รายละเอียดไว้

- การติดตามตรวจวัดการทำงานของปั๊มน้ำจะเป็นประโยชน์อย่างมากถ้าติดตั้งมาตรวัดความดันที่ท่อดูด และท่อส่งของปั๊มน้ำทุกเครื่อง และติดตั้งแอมป์มิเตอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่าท่อดูดไม่อุดตัน ความสามารถในการทำงานของปั๊มน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะสมบัติของปั๊มน้ำ การคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินปั๊มน้ำ

- การติดตามตรวจวัดการทำงานของระบบสำหรับปั๊มน้ำขนาดใหญ่จะมีความคุ้มค่าที่จะใช้ระบบติดตามบันทึกค่าการใช้งานด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการควบคุมการเดินปั๊มน้ำได้อีกด้วย ทำให้เห็นศักยภาพในการปรับการเดินปั๊มน้ำให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้น้ำ การสูบน้ำเกินความต้องการการรวบรวมน้ำ

### 3. แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบพัดลม

ประเด็นที่สำคัญในการอนุรักษ์พลังงานของพัดลม

1. การลดปริมาณลม – ความดันเหมาะสมกับที่ภาระต้องการ
2. การควบคุมการเดินเครื่องให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณที่ภาระต้องการ

ปัญหาเฉพาะตัวพัดลม ได้แก่

1. การเลือกใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูงและมีคุณลักษณะเหมาะสมกับการใช้งานของภาระ
2. ไม่มีฝุ่นละอองสะสมที่ตัวถังและใบพัดทำให้เส้นทางของกระแสอากาศลดลง
3. ลดการรั่วไหลจาก Labyrinth seal ของ Shaft seal และ Balance disk



### เอกสารอ้างอิง

- [1] MOTOKI MAYSUO. เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม. แปลโดย ดร.บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์ และคณะ. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543
- [2] วัชร มั่งวิติกุล. กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, 2544
- [3] ศิริพรรณ ธงชัย และ พิชัย อัมมมงคล. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า. : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.
- [4] กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. การบำรุงรักษาระบบอากาศอัด. กรุงเทพฯ., 2545
- [5] กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. การอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด. กรุงเทพฯ., 2545
- [6] เอกสารเผยแพร่ คู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ หมายเลข 7. การใช้พลังงานในเครื่องอัดอากาศ. ศูนย์ทรัพยากรการฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ 2545
- [7] คู่มือการฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานภาคปฏิบัติด้านไฟฟ้า, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น, (JICA), ศูนย์พลังงานแห่งประเทศไทย
- [8] อนุตร จำลองกุล. เครื่องสูบลม เครื่องอัด พัดลม. กรุงเทพฯ. คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2541
- [9] เอกสารการอนุรักษ์พลังงานของญี่ปุ่น