สกรูคอมเพรสเซอร์แบบปรับความเร็วรอบ VARIABLE SPEED SCREW COMPRESSOR

สุเมธ ผู้พัฒน์
บริษัท แคเรียร์ ประเทศไทย จำกัด

บทนำ

ปัจจุบันนี้เจ้าของอาคารหรือผู้จัดการอาคารเริ่มที่จะมองหากระบวนการหรือวิธีการบริหารที่ยอดเยี่ยมทางวิศวกรรมเพื่อที่จะควบคุมค่าใช้จ่ายทางการใช้พลังงานในระยะยาว ซึ่งการประหยัดพลังงานของระบบทำความเย็นเป็นปัจจัยสำคัญที่ตรงต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้โดยที่The American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ประเมินไว้ว่า 50% ของการใช้พลังงานของอาคารเกิดขึ้นมาจากระบบปรับอากาศหรือ HVAC

เครื่องทำน้ำเย็นแบบปรับความเร็วรอบ VARIABLE FREQUENCY DRIVES CHILLER (VSD)

Variable frequency drives (VFDs) เป็นอุปกรณ์ที่จะลดการใช้พลังงานโดยการจับคู่กับความเร็วของมอเตอร์กับความต้องการของโหลดความร้อนภายในอาคาร

การติดตั้งระบบ VFD มาจากโรงงานเป็นหนึ่งในกระบวนการประหยัดพลังงาน ที่มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการติดตั้งระบบ VFD ที่หน้างาน โดยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการโหลดความร้อนภายในอาคารซึ่งจะสามารถทำให้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพและลดต้นทุนของค่าไฟฟ้าได้อ้างอิงถึง AHRI (Air Conditioning Heating and Refrigeration Institute Standard 550/590-2011, เครื่องทำน้ำเย็นส่วนใหญ่ทำงานอยู่

ที่ PART LOAD โดยเฉลี่ยนแล้วประมาณ 99% ในแต่ละปี. ดังนั้นการที่เราเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมและตอบสนองกับ Load Profile ของอาคารจะสามารถตอบโจทย์ได้ทั้งเรื่องของพลังงานและความสบาย

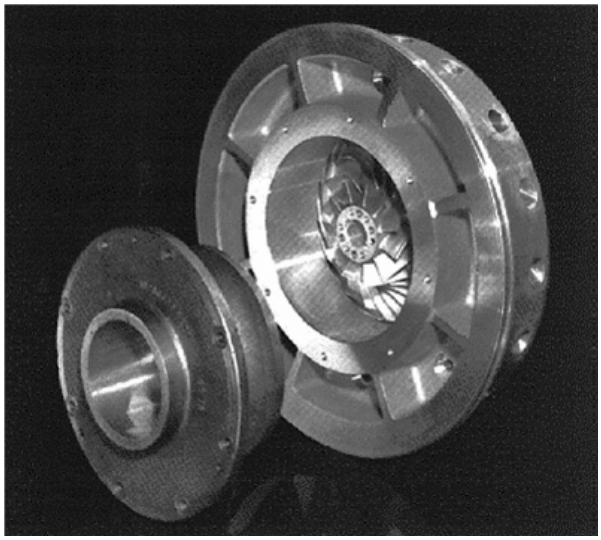
การติดตั้งอุปกรณ์ลดความเร็วรอบ (VFD) ในเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหอยโข่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ในเรื่องของการประหยัดพลังงานในจังหวะการชั่วโมงการทำงานส่วนใหญ่ (PART LOAD OPERATION) แต่เมื่อมีการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ลดความเร็วรอบ (VFD) ในคอมเพรสเซอร์แบบสกรู เครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรูตอบโจทย์ในการประหยัดพลังงานมากกว่าเพราะสามารถลดความเร็วรอบได้สูงสุดมากกว่าแบบหอยโข่ง

บทความนี้จะชี้แจงผลประโยชน์จากการใช้งานของ อุปกรณ์ลดความเร็วรอบ (VFD) ในเครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรู และอธิบายการใช้งานที่เหมาะสมของ อุปกรณ์ความเร็วรอบ(VFD) ในเครื่องทำน้ำเย็นหอยโข่ง

Centrifugal Compressor (คอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงหอยโข่ง)

เครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยงหอยโข่งทั้งถูกใช้งานมาเกือบ 75 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ.1916 โดย ดร.วิลลิส แคเรีย มั่นใจในศักยภาพมันและได้ประยุกต์ใช้มันกับระบบปรับอากาศในที่สุดเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหอยโข่งเครื่องแรกก็ได้ถูกขายโดยแคเรียร์ในปี 1924 โดยขายให้กับ บริษัท The Onondaga Pottery ที่เมืองเซเลคิว รัฐนิวยอร์คโดยที่เครื่องทำน้ำเย็นถูกใช้งานมาตลอด 26 ปีซึ่งสุดท้ายเครื่องคอมเพรสเซอร์เครื่องแรกได้ถูกเก็บไว้ที่สภาบัน Smithsonian ในวอชิงตัน ดี ซีซึ่งยังคงเป็นหนึ่งในการพัฒนาทางเทคนิคที่สำคัญในประวัติศาสตร์ของสหรัฐอเมริกา.

คอมเพรสเซอร์แรงเหวี่ยงเป็นอุปกรณ์การบีบอัดแบบไดนามิกที่ซึ่งแลกเปลี่ยนโมเมนตัมเชิงมุมระหว่างการหมุนของพัดหมุนและการไหลของสารทำความเย็นอย่างต่อเนื่องโมเลกุลของสารทำความเย็นจะถูกเร่งความเร็วออกไปด้านนอกโดยแรงเหวี่ยง โมเลกุลใหม่จะถูกดึงเข้าไปในปั๊มเพื่อแทนที่ของเดิม ผลโดยรวมคือบีบอัดอย่างต่อเนื่องของกระแสการไหลสารทำความเย็น (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 คอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยง, ในพัด (Impeller) และ ตัวกระจายน้ำยา (Diffuser)

ประสิทธิภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงสามารถจำลองได้โดยใช้กฎของ Fan Laws

Ideal Fan Laws

Law 1

$$Flow\,Rate_2 \propto Flow\,Rate_1 \times \frac{RPM_2}{RPM_1}$$

Law 2

$$Lift_2 \propto Lift_1 \times \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^2$$

Law 3

$$Power_2 \propto Power_1 \times \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^3$$

LIFT, HEAD (แรงยก)

แรงยกหรือแรงอัด (Lift) ถูกกำหนดให้เป็นความแตกต่างระหว่างค่าแรงดันด้านปล่อย (Discharge) และแรงดันด้านดูด (Suction) ดังนั้นปริมาณการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของสารทำความเย็นขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิด้านน้ำเย็น (Chilled Water) และอุณหภูมิด้านน้ำคอนเดนเซอร์ (Condenser Water) คอมเพรสเซอร์จะทำงานแรงดันยกหรือแรงอัดเต็มที่ในกรณีที่อุณหภูมิกระเปราะเปียกอยู่ที่ค่าการออกแบบและโหลดความร้อนของสารทำความเย็นอยู่ที่ 100% แต่ถ้าอุณหภูมิกระเปราะเปียดลดลง หอพึ่งลม (Cooling Tower) จะส่งน้ำระบายความร้อนที่อุณหภูมิต่ำลงไปที่เครื่องทำความเย็นซึ่งเป็นผลให้ค่าแรงดันยก (Lift) ลดลง (รูปที่ 2)

นอกจากนี้การลดลงของภาระความร้อนจะลดค่าแรงยก (Lift) ด้วยเพราะ ค่าที่ต่ำลงของค่าแรงดันอิ่มตัวด้านคอนเดนเซอร์ ซึ่งเกิดจากค่าความร้อนที่ระบายออกด้านคอนเดนเซอร์ลดลงซึ่งเครื่องทำน้ำเย็นแบบปรับความเร็วรอบจะปรับค่าแรงยก (Lift) โดยการปรับความเร็วรอบ

จากกฎของ Fan Laws เราจะเห็นได้ว่าการลดลงของความเร็วของคอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงจะส่งผมให้การใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ลดลงด้วย ดังนั้นเราคงไม่ต้องสงสัยเลยว่าทุกวันนี้คอมเพรสเซอร์แบบปรับความเร็วของแบบแรงเหวี่ยงเป็นทางออกของประหยัดพลังงาน

SST = Saturated Suction Temperature

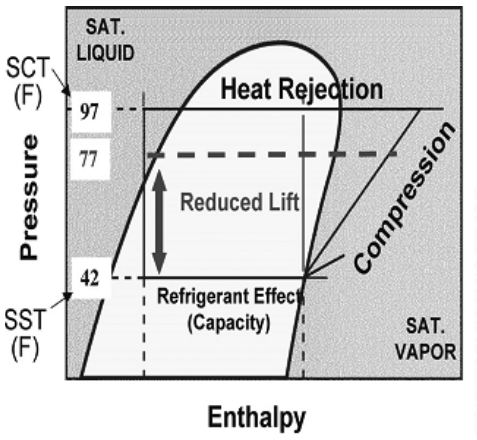
SCT = Saturated Condensing Temperature

ARI conditions: (2 F approach)

Lift = 97 F - 42 F

With 65 F entering condenser water,

Lift = 77 F - 42 F



รูปที่ 2 P-H ไดอะแกรม

การใช้ Inlet Guide Vane ร่วมกับการใช้งานแบบปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยง

รูปแบบปกติของการควบคุมภาระการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบแรงเหวี่ยงคือใช้การปรับบานเกล็ดของ Inlet Guide Vane ที่ทางเข้าของ Impeller (ใบเหวี่ยงอัด) โดยที่ถ้าโหลดความร้อนลดลง การไหลของมวลสารทำความเย็นที่วิ่งผ่านคอมเพรสเซอร์ก็จะลดตามลงด้วยในกรณีที่เครื่องจักรเป็นแบบความเร็วคงที่ Inlet Guide Vane จะปิดลงเพื่อปรับขนาดความสามารถของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสมกับโหลดความร้อน แต่ในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VFD) เครื่องจะปรับความเร็วรอบเพื่อควบคุมความสามารถในการทำความเย็นในกรณีนี้ความเร็วของ Impeller สามารถปรับลดเพื่อที่จะทำให้ความสามารถของคอมเพรสเซอร์เหมาะสมกับโหลดความร้อน

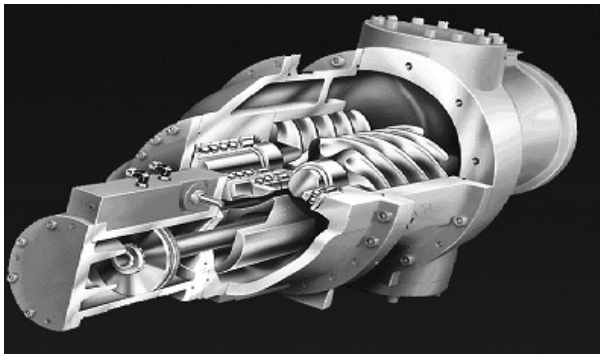
$$Lift_2 \propto Lift_1 \times \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^2$$

จากสมการจะเห็นว่าค่าแรงยกที่ถูกสร้างโดยคอมเพรสเซอร์จะลดลงเมื่อความเร็วรอบมีการลดลง ดังนั้นเราสามารถอนุมาณได้ว่าการปรับความเร็วรอบอย่างเดียวไม่สามารถใช้ได้สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงภายใต้เงื่อนไขของแรงยก การลดความเร็วรอบสามารถทำได้มากสุดเท่ากับค่าแรงยกที่ต้องการ ที่เหลือจะเป็นการใช้ Guide Vane เพื่อลดภาระการทำงานต่อ การลดภาระการทำงานแบบอื่นๆนำมาซึ่งค่าประสิทธิภาพที่ต่ำลง ในขณะที่การลดลงของความเร็วรอบประหยัดพลังงานขึ้น แต่นำมาซึ่งค่าแรงยกที่ลดลง ซึ่งทั้งสองสิ่งนำมาซึ่งคำตอบที่ว่า “ปริมาณการทำความเย็นที่ลดลงจากการลดของความเร็วรอบ เมื่อเทียบกับค่าการทำความเย็นที่ลดลงจากการใช้ Guide Vanes นั้นเป็นตัวบ่นชี้ว่า เครื่องทำน้ำเย็นนี้มีความสามารถในการประหยัดพลังงานมากแค่ไหนที่จุดทำงานนั้นๆ” ยิ่งลดค่าการทำความเย็นจาก Guide Vanes มากขึ้นเท่าไหร่ ค่าประสิทธิภาพที่ลดลงยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

ความสัมพันธ์ตัวแปรของความเร็วรอบและพลังงานคือ การลดความเร็วรอบแม้เพียงเล็กน้อยส่งผลตอบแทนที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในการใช้พลังงาน การลดความเร็วรอบมากขึ้นหมายถึงการประหยัดพลังงานที่มากขึ้น

Screw Compressor สกรูคอมเพรสเซอร์

HeinreichKrigar ของเยอรมนีพัฒนาสกรูคอมเพรสเซอร์ครั้งแรกในปี 1878 และ ในต้นปี 1930 วิศวกรชาวสวีเดนที่ชื่อ Alf Lysholm พัฒนาคอมเพรสเซอร์สกรูที่ทันสมัยสำหรับก๊าซและกังหันไอน้ำ สกรูคอมเพรสเซอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการใช้งาน HVAC เกือบสามทศวรรษที่ผ่านมา (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 คอมเพรสเซอร์แบบสองโรเตอร์

สกรูคอมเพรสเซอร์นั้นระบุเป็นการอัดแบบการแทนที่ของปริมาตร Positive Displacement ซึ่งหมายความว่า ปริมาณของก๊าซนั้นอยู่ในพื้นที่ปิดแล้วถูกบดลดปริมาตรลงเพื่อสร้างแรงยก สกรูแบบโรตารี่ทั่วๆไป ประกอบด้วย โรเตอร์สองชิ้นอยู่ภายในกระบอกอัดเดียวกัน โรเตอร์นึงต่อกับมอเตอร์และหมุนส่งแรงเพื่อหมุนอีกโรเตอร์นึงคล้ายๆ กับชุดเฟืองขับ โดยชุดโรเตอร์ทั้งสองตัวจะหมุนบดอันแก็สจากด้านดูดไปจนถึงด้านปล่อย โดยก๊าซใหม่ก็จะเข้ามาแทนที่เรื่อยๆในด้านดูด จึงเรียกว่าการอัดแบบ Positive Displacement

สกรูคอมเพรสเซอร์โรตารีเป็นที่รู้จักกันดีสำหรับความทนทานของพวกมัน ความเรียบง่ายและความน่าเชื่อถือ พวกมันได้รับการออกแบบเพื่อการทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน และจำเป็นต้องบำรุงรักษาน้อยมาก คอมเพรสเซอร์สามารถเอาชนะแรงยกที่สูงได้เมื่อความเร็วลดลงซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานได้โดยไม่ต้องเกิดอาการ Surge แบบคอมเพรสเซอร์แรงเหวี่ยง

สกรูคอมเพรสเซอร์แบบปรับความเร็วรอบ

สำหรับการอัดแบบแทนที่ปริมาตร Positive Displacement ความเร็วรอบเป็นอิสระจากค่าแรงยก หรือพูดอีกทางนึงคือ คอมเพรสเซอร์สามารถสร้างแรงยกได้เท่าเดิมในทุกความเร็วรอบ

ดังนั้น การปรับภาระการทำงานสามารถทำได้โดยการควบคุมความเร็วรอบ ตามที่กล่าวไว้ก่อนหน้าคอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยง นั้นมีการทำงานควบคู่กันระหว่าง การควบคุมความเร็วรอบ กับการปรับ Guide Vanes แต่สำหรับ สกรูคอมเพรสเซอร์แบบปรับความเร็วรอบนั้นไม่จำเป็นต้องทำงานควบคู่กับ Guide Vane หรือ Slide Valve จึงทำให้ประหยัดพลังงานสูงสุดในทุกเงื่อนไขการทำงาน

การปรับความเร็วรอบสำหรับคอมเพรสเซอร์แบบสกรูนั้นเป็นของใหม่สำหรับวงการ HVAC แต่มันกลับประสบความสำเร็จมาแล้วมากมายในระบบการอัดอากาศและเครื่องเย็น การประยุกต์สกรูคอมเพรสเซอรกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบนั้นถูกนำมาใช้เพื่อการอัดที่มีประสิทธิภาพทั้งการทำงานแบบ Full Load และ Part Load สกรูคอมเพรสเซอร์แบบปรับความเร็วรอบนั้นตอบโจทย์ในเรื่องของการทำงานในช่วงที่กว้างของการทำความเย็น 10%-100% ขณะที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

การใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นแบบปรับความเร็วรอบกับเขตอากาศร้อนชื้น

การใช้งานที่ซึ่งต้องการค่าแรงยกที่สูงในขณะที่ ค่าการทำความเย็นลดลง เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรูปรับความเร็วรอบ เช่น ถ้าอาคารตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ความต้องการความเย็นเปลี่ยนแปลงตามการใช้งานในขณะที่อุณหภูมิภายนอกสูงตลอดเวลา

ค่าพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรูปรับความเร็วรอบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า แบบแรงเหวี่ยงประมาณ 10-20% ในขณะที่อุณหภูมิน้ำระบายคงที่ 85 F

หลักการการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพ

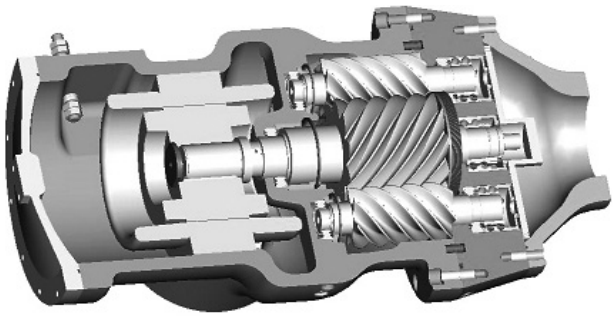
ค่าประสิทธิภาพของระบบที่ PART LOAD เป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกเครื่องทำน้ำเย็น เนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นมีโอกาสที่จะทำงานที่ Full Load น้อยมาก วิศวกรที่ปรึกษาและเจ้าของควรเข้าใจถึงความสำคัญของการใช้ประสิทธิภาพที่ PART LOAD ของระบบสำหรับการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงของพวกเขาเป็นเกณฑ์ในการเลือก

ระบบที่มีค่าประสิทธิภาพที่ PART LOAD ดีที่สุดจะส่งผลให้มีค่าพลังงานดีที่สุดในช่วงการทำงานที่เป็นส่วนใหญ่ (PART LOAD OPERATION)

A variable speed screw compressor chiller saves energy in all operatingconditions.

เทคโนโลยีที่เหนือยิ่งกว่า

เครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรูปรับความเร็วรอบเป็นการผสมผสานที่ยอดเยี่ยมระหว่างเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Positive displacement กับ เทคโนโลยีปรับความเร็วรอบ ผลที่ได้ออกมาคือ เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพยอดเยี่ยม สำหรับสกรูคอมเพรสเซอร์แบบใหม่ 3 โรเตอร์ นั้นนำมาซึ่งความเรียบง่ายและความคงทน (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 Tri-Rotor สกรูคอมเพรสเซอร์

Tri-Rotor แบบ Direct Drive ออกแบบโรเตอร์ที่สั้นกว่า และมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นมากกว่าแบบ Twin-Rotor (2 โรเตอร์) ประมาณ 5-10% ซึ่งสามารถที่จะลดแรงกระทำต่อแบริ่งลงส่งผลให้การดูแลรักษาที่ต่ำลง

REFERENCE

Reindl, Douglas T. and Todd B. Jekel. "Screw Compressors: Selection Considerations for Efficient Operation." Paper presented at the 21st IIR (International Institute of Refrigeration) International Congress of Refrigeration, Washington, D.C., 17-22 August 2003.