

การเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานสำหรับมาตรการ ติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศ Comparison of Energy Saving for the Installation of Variable Speed Drive with the Air Compressor

อุทัย วงศ์เชื่อนแก้ว, ชาณณรงค์ อัสวเตสานุภาพ และมาลี สันติคุณาภรณ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Uthai Wongkhuenkaew, Channarong Asavatesanupap and Malee Santikunaporn*

Program in Energy and Environmental Technology Management,

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

การอนุรักษ์พลังงานในเครื่องอัดอากาศมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานสูงถึงร้อยละ 10 ถึง 60 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษามาตรการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (variable speed drive) ในเครื่องอัดอากาศมาใช้ในโรงงานต้นแบบที่ใช้เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ระบายความร้อนด้วยอากาศ ขนาด 100 แรงม้า โดยได้นำเสนอแนวทางการคำนวณผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการ (วิธีแนวทางเลือก) จากการศึกษาพบว่า มาตรการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการอนุรักษ์พลังงานของเครื่องอัดอากาศ โดยเฉพาะกรณีที่ภาระการใช้งานเครื่องอัดอากาศไม่คงที่ การประมาณผลประหยัดที่เกิดขึ้นโดยการคำนวณตามวิธีโครงการ DANCED คิดเป็นร้อยละ 9.42 และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.94 ปี ในขณะที่การประมาณผลประหยัดตามวิธีแนวทางเลือกคิดเป็นร้อยละ 28.53 และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.97 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับผลประหยัดพลังงานที่ได้จากการตรวจวัดจริงหลังการดำเนินมาตรการซึ่งมีผลประหยัดจริงอยู่ที่ร้อยละ 32.18 และระยะเวลาคืนทุน 0.86 ปี จากการเปรียบเทียบดังกล่าว การประเมินผลการดำเนินมาตรการตามวิธีแนวทางเลือกมีค่าใกล้เคียงกับผลประหยัดที่เกิดขึ้นจริงมากกว่าการประมาณตามวิธีโครงการ DANCED

คำสำคัญ : การอนุรักษ์พลังงาน; มาตรการ; ระบบอัดอากาศ; เครื่องควบคุมความเร็วรอบ

Abstract

Energy conservation in an air compressor has a potential of energy savings as 10-60 %. This research studied the installation of a variable speed drive with an air compressor at a pilot plant that used a 100-HP screw air compressor and air-oil cooling system. In addition, an approach was proposed to calculate energy savings from this measure (Alternative method). The study found that the installation of variable speed drive is a method that can be used to conserve the energy of an air compressor, particularly, in cases where the load is not constant. The saving costs estimated by the DANCED method is 9.42 % with a payback period of 2.94 years. Whilst the saving costs, based on the alternative method, is 28.53 % with a payback period of 0.97 years. Compared to the actual measurement after the implementation, it can be saved about 32.18 % with a payback period of 0.86 years. Comparatively, the evaluation by the alternative method is more similar to actual results than the calculation by DANCED method.

Keywords: energy conservation; measure; air compressor system; variable speed drive

1. บทนำ

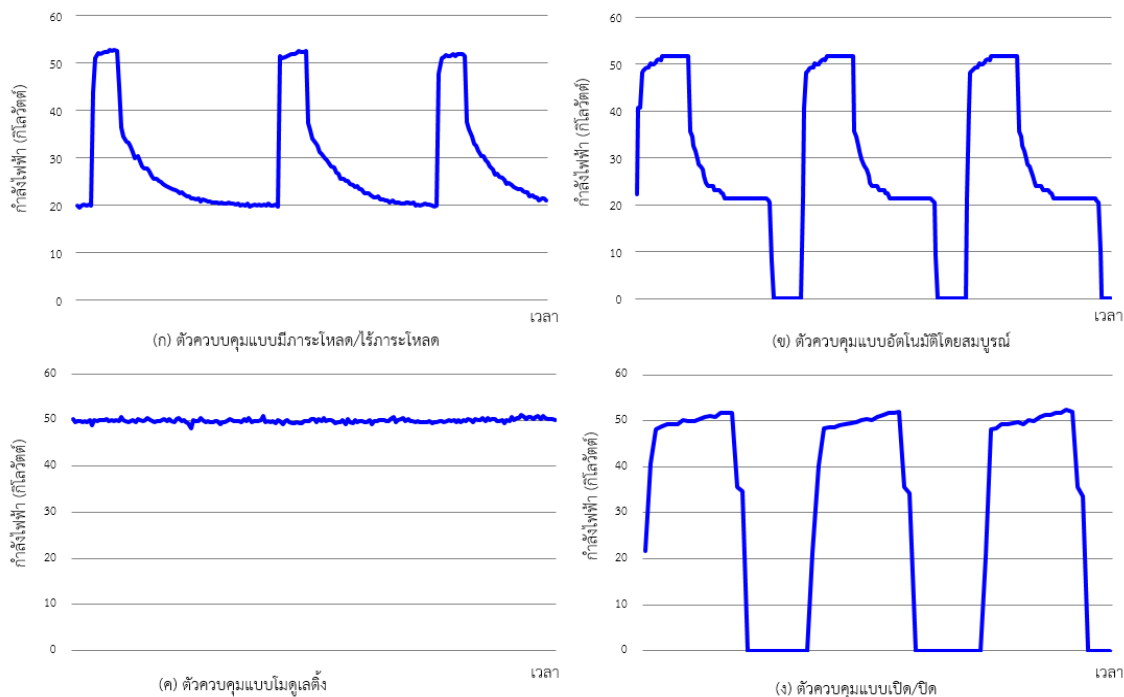
ในสภาวะการณ์ปัจจุบันของประเทศ รูปแบบการใช้พลังงานได้เปลี่ยนแปลงตลอด เป็นผลให้อัตราการใช้พลังงานต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นทุกปี นับว่าเป็นภาระหนักของภาครัฐที่ต้องจัดหาพลังงานมาใช้ให้เพียงพอและมีความเหมาะสมต่อภาวะเศรษฐกิจ เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้นำเข้าพลังงานโดยส่วนใหญ่ ส่วนที่ผลิตได้ยังไม่เพียงพอต่อการใช้งานขณะที่ภาครัฐเองก็ได้ทำกิจกรรมส่งเสริมต่าง ๆ เพื่อให้ประชาชนและผู้ประกอบการได้ตระหนักถึงการประหยัดพลังงาน ในการนี้ภาครัฐได้ออกพระราชบัญญัติเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งในด้านการส่งเสริมและระเบียบบังคับให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยได้รับความสนับสนุนช่วยเหลือจากหลายองค์กรทั้งในและต่างประเทศ เช่น โครงการ DANCED จากประเทศเดนมาร์ก โครงการ JICA จากประเทศญี่ปุ่น โครงการ GIZ จากประเทศเยอรมัน ทั้งนี้เพื่อให้ประเทศไทยได้มีแนวทางในการดำเนินการประหยัดพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น มาตรการประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้า

มาตรการประหยัดพลังงานด้านความร้อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานยังได้ดำเนินการส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน ภายใต้โครงการนำร่องการอนุรักษ์พลังงานช่วยเหลือสนับสนุน 30 % อีกด้วย

อุตสาหกรรมการผลิตในยุคปัจจุบัน พบว่ามีการนำเอาอากาศอัดเข้ามาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากระบบอัดอากาศเป็นระบบที่สะอาด ใช้งานได้ง่ายและมีความยืดหยุ่นในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้เป็นอย่างดี เช่น การใช้เป็นแรงขับเคลื่อนอุปกรณ์ การใช้ในงานกำลังเพื่อยกสิ่งของที่หนักมาก การใช้เป่าเศษชิ้นงานขนาดเล็ก หรือการใช้ในการเป่าไล่ความชื้นอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนของชิ้นงาน ปริมาณการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงานคิดเป็นร้อยละ 10-30, 20-22 และ 50-55 สำหรับอุตสาหกรรมไฟฟ้า อิเลคทรอนิกส์ อุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมหลอมแก้ว [1] ตามลำดับ ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงานใน

ระบบอัดอากาศจึงเป็นหนึ่งในก้ามาตรการมาตรฐาน (standard measure) ที่ทางภาครัฐให้การสนับสนุน ดังนั้นการใช้ระบบอัดอากาศที่เหมาะสมและถูกวิธีสามารถลดความสูญเสียพลังงานได้ โดยทั่วไป การสูญเสียจากระบบอัดอากาศสามารถถูกควบคุมให้ลดลงได้โดยการปรับปรุงหรือแก้ไขโดยมาตรการพื้นฐานที่ไม่ต้องมีการลงทุนหรือการลงทุนต่ำ เช่น การลดแรงดันในการผลิตอากาศอัด การลดความสูญเสียเนื่องจากการรั่วไหลของอากาศอัด การบำรุงรักษาชุดกรองของระบบอัดอากาศ เป็นต้น แต่ยังไม่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากนัก แนวทางหนึ่งที่สามารถก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศได้ คือ การนำเครื่องควบคุมความเร็วรอบมาใช้ในเครื่องอัดอากาศเพิ่มเติมภายหลัง แต่มาตรการดังกล่าวยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ซึ่งแตกต่างจากการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่นิยมใช้กับ

มอเตอร์ปั้มน้ำ หรือมอเตอร์พัดลม การประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นสำหรับมอเตอร์ปั้มน้ำและมอเตอร์พัดลมจะเป็นไปตามกฎ (affinity laws) [2,3] ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับเครื่องอัดอากาศ จึงก่อให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์เพื่อประเมินการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้น บริษัท เชียงแสง เท็กซ์ไทล์ อินดัสตรีส์ จำกัด ได้เข้าร่วมโครงการนำร่องโครงการนำร่องการอนุรักษ์พลังงานช่วยเหลือสนับสนุน 30 % และได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศแบบสกรู ระบายความร้อนด้วยอากาศ ขนาด 22 กิโลวัตต์ พบว่าผลประหยัดพลังงานที่ถูกประเมินตามวิธีการคำนวณจากวิธีโครงการ DANCED ประมาณร้อยละ 25.48 ในขณะที่ผลประหยัดพลังงานจริงที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์สามารถประหยัดพลังงานได้สูงถึงร้อยละ 36.50 [4]



รูปที่ 1 การทำงานของระบบอากาศอัดที่ใช้ตัวควบคุมแบบต่างๆ

เครื่องอัดอากาศ (air compressor) หรือปั๊มลม มีหน้าที่ในการอัดอากาศจากสถานะความดันหนึ่งไปสู่สถานะอีกความดันหนึ่ง ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นหลักในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ โดยพฤติกรรมการทำงานของเครื่องอัดอากาศจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวควบคุมการทำงาน โดยตัวควบคุมการทำงานที่มีศักยภาพในการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วได้มีด้วยกันสี่แบบ คือ (1) แบบมีภาระ/ไร้ภาระ (load/unload) (2) แบบอัตโนมัติโดยสมบูรณ์ (fully automation) (3) แบบโมดูเลตติ้ง (modulating) และ (4) แบบเปิด/ปิด (on/off) ตัวอย่างพฤติกรรมการทำงานของเครื่องอัดอากาศด้วยตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ถูกแสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 การทำงานของเครื่องอัดอากาศที่ใช้ตัวควบคุมแบบแบบมีภาระ/ไร้ภาระ มอเตอร์จะขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เพื่ออัดอากาศไปถึงความดันสูงสุดที่ตั้งไว้ ซึ่งเรียกว่าสถานะโหลด จากนั้นคอมเพรสเซอร์ก็หยุดจ่ายอากาศอัดแต่มอเตอร์ยังคงหมุนด้วยอัตราความเร็วรอบคงเดิม ซึ่งเรียกว่าสถานะไร้ภาระโหลด จนกระทั่งแรงดันในระบบลดลงถึงค่าต่ำสุดที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมจะสั่งให้มอเตอร์กลับมาทำงานอีกครั้ง แต่หากไม่มีการใช้งาน เครื่องอัดอากาศก็จะทำงานในสถานะไร้โหลด จนกว่าจะปิดเครื่อง ในขณะที่การทำงานของตัวควบคุมแบบอัตโนมัติโดยสมบูรณ์นั้น เมื่ออากาศถูกอัดไปถึงความดันสูงสุดที่ตั้งไว้ คอมเพรสเซอร์ก็จะปลดภาระและจะทำงานในสถานะไร้โหลดตามระยะเวลาที่กำหนด และหากไม่มีการสั่งให้ผลิตอากาศและความดันไม่ลดลง จนถึงระยะเวลาที่กำหนด คอมเพรสเซอร์จะหยุดทำงานซึ่งเรียกว่า off load ในทางตรงกันข้ามการทำงานของตัวควบคุมแบบเปิด/ปิด คอมเพรสเซอร์จะเริ่มทำงานเมื่อความดันอากาศในระบบลดลงถึงค่าที่ตั้งไว้ และจะหยุดทำงานเมื่อคอมเพรสเซอร์อัดอากาศจนมีค่าความดันสูงสุดตามค่าที่ตั้งไว้ แต่สำหรับ

การทำงานของเครื่องอัดอากาศชนิดตัวควบคุมแบบโมดูเลตติ้ง คอมเพรสเซอร์จะทำงานตลอดเวลาโดยให้ความดันคงที่ แม้ในบางเวลา ขณะที่ไม่มีการจ่ายอากาศอัดออกมาเครื่องอัดอากาศยังคงใช้พลังงานสูงถึง 70 % ของพิกัดสูงสุด

จากที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น การนำเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์มาใช้ในเครื่องอัดอากาศ เป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพและส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศได้ 10-65 % ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด พฤติกรรม และชั่วโมงการทำงานของเครื่องอัดอากาศ แต่วิธีการนี้มีการลงทุนค่อนข้างสูง ส่งผลให้ระยะคืนทุนค่อนข้างนาน ผู้ประกอบการจึงขาดความมั่นใจในผลประหยัดพลังงานด้วยเทคโนโลยีอุปกรณ์ชนิดนี้ ที่ผ่านมา การประเมินผลประหยัดจากมาตรการดังกล่าวได้ถูกนำเสนอในโครงการ DANCED ซึ่งเรียกว่าวิธีตามโครงการ DANCED ซึ่งจะเห็นได้ว่าการประเมินผลประหยัดตามวิธีดังกล่าวมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลประหยัดจริงที่เกิดขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษามาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศด้วยการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบของโรงงานต้นแบบและนำเสนอแนววิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินผลประหยัดพลังงานและความเหมาะสมก่อนการเลือกใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบในเครื่องอัดอากาศ ซึ่งจะเรียกว่าวิธีแนวทางเลือก และเปรียบเทียบกับวิธีตามโครงการ DANCED

2. วิธีการวิจัย

2.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลของเครื่องอัดอากาศ

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูล พิกัดค่าต่าง ๆ เช่น จำนวนเครื่องอัดอากาศ พิกัดตามป้ายชื่อ ขนาด กำลัง ชนิด ยี่ห้อ ชนิดตัวควบคุม ชั่วโมงทำงาน จำนวนวันทำงาน ราคาค่าพลังงานของโรงงาน ของเครื่องอัด

อากาศทุกตัวที่ต่อรวมอยู่ในระบบเดียวกันที่ใช้ในสถานประกอบการต้นแบบ รวมถึงข้อมูลท่ส่งจ่ายอากาศอัดถึงพักอากาศอัด เครื่องปรับปรุงคุณภาพอากาศอัด

2.2 การตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนและหลังการดำเนินการมาตรการ

ข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศทุกตัวได้ถูกตรวจวัด และถูกบันทึกโดยใช้เครื่องมือพาวเวอร์มิเตอร์ของ DENT ELITEpro XC การตรวจวัดจะดำเนินการกับเครื่องอัดอากาศที่ต่ออยู่ในระบบเดียวกันอย่างต่อเนื่อง โดยทำการบันทึกข้อมูลต่อเนื่องทุก ๆ 15 วินาที นานประมาณ 3-4 ชั่วโมง จำนวนข้อมูลที่บันทึกได้ประมาณ 700-900 ชุดข้อมูล และคาบเวลาการทำงาน 55 รอบ (cycle) ของการทำงาน เพื่อทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานและปริมาณการใช้อากาศอัด และบันทึกค่าต่าง ๆ ดังนี้ ค่ากำลังไฟฟ้าช่วงมีภาระโหลด (kW_{Load}) ค่ากำลังไฟฟ้าช่วงไร้ภาระโหลด (kW_{Unload}) ค่าแรงดันการตัดต่อโหลด (pressure cut on, pressure cut off)

ช่วงเวลามีภาระโหลด (load time) ช่วงเวลาไร้ภาระโหลด (unload time) และระยะเวลารอบการทำงาน

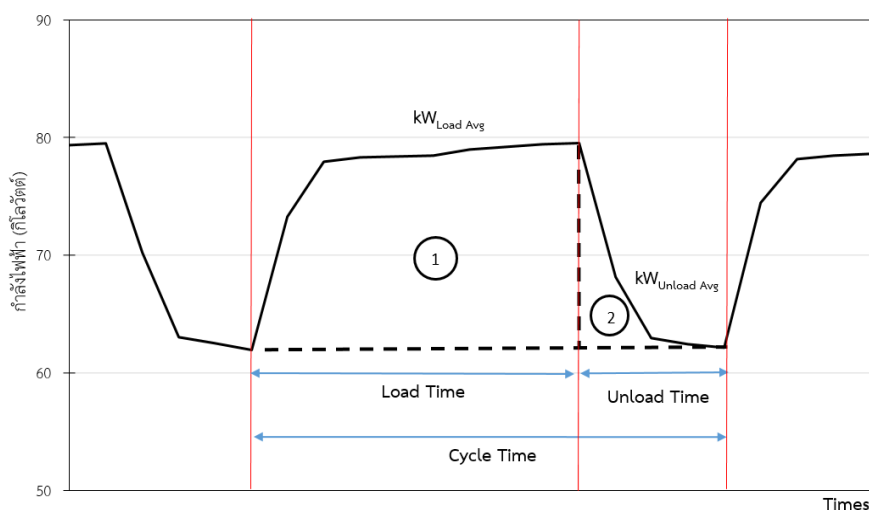
2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

ข้อมูลการใช้พลังงานเฉลี่ยและพฤติกรรมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ เช่น คาบเวลาการทำงาน กำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงของการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2 ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าสภาวะมีภาระโหลด (load time) ซึ่งเฉลี่ยรวมช่วงระยะเวลากำลังไฟฟ้าในการสร้างแรงดันช่วงมีภาระโหลดทั้งหมด และค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงไร้ภาระโหลดจะถูกเฉลี่ยรวมหลังจากที่เครื่องเริ่มเข้าสู่สภาวะไร้โหลดโดยทันที การผลิตสะสม (accumulated production, AP) มีหน่วยเป็น คาบเวลาเปอร์เซ็นต์เอาท์พุทสัมพัทธ์ (%RO) หรือเปอร์เซ็นต์ดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) คือช่วงเวลาในการทำงานของเครื่องอัดอากาศหนึ่งรอบการทำงาน [5]

$$\text{เปอร์เซ็นต์เอาท์พุทสัมพัทธ์ (\% RO)} = \text{load time} \times 100 / (\text{load time} + \text{unload time}) \quad (1)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าก่อนติดตั้ง (kW}_{\text{Before}}) = \{(\text{kW}_{\text{Load,avg}} \times \% \text{ load time}) + (\text{kW}_{\text{Unload,avg}} \times \% \text{ unload time})\} \text{ [กิโลวัตต์]} \quad (2)$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี} = \text{กำลังไฟฟ้า (kW)} \times \text{ชั่วโมงทำงาน} \times \text{วันทำงานต่อปี [กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี]} \quad (3)$$



รูปที่ 2 การจำลองพื้นที่ใต้กราฟของคาบเวลาการทำงานของเครื่อง

ผลประหยัดพลังงานตามวิธีโครงการ DANCED [4] สามารถคำนวณได้เมื่อทราบค่าเอาท์พุทสัมพัทธ์ (% RO) และค่าเวลาการผลิตสะสม (AP) ก่อนการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ดังนี้

$$\text{กำลังไฟฟ้าหลังติดตั้ง} = [\text{ปริมาณการใช้พลังงานสัมพัทธ์ก่อนติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (\%)} - \text{ปริมาณการใช้พลังงานสัมพัทธ์หลังติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (\%)}] \times \text{ขนาดฟักัดกำลังป้ายชื่อของเครื่องอัดอากาศนั้น ๆ [กิโลวัตต์]} \quad (4)$$

ผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบตามวิธีแนวทางเลือก สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (5)

$$\text{กำลังไฟฟ้าหลังติดตั้ง (kW}_{\text{After}}) = (\text{kW}_{\text{Load,avg}} \times \% \text{ load time}) + [\text{capacity installed (kW)} \times 4 \%] \quad \text{[กิโลวัตต์]} \quad (5)$$

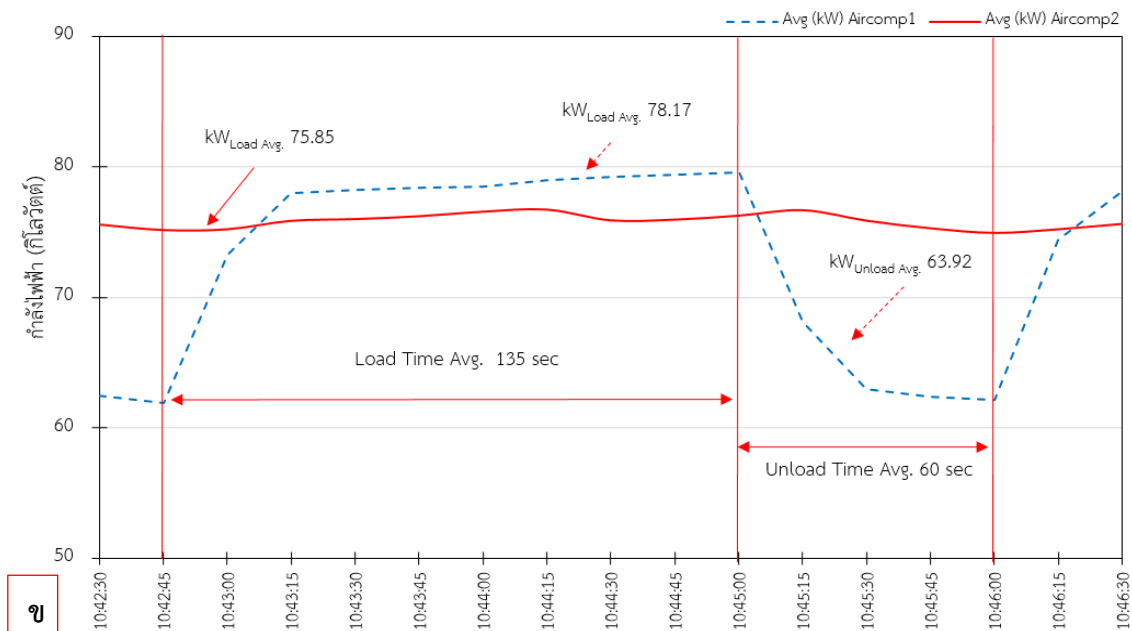
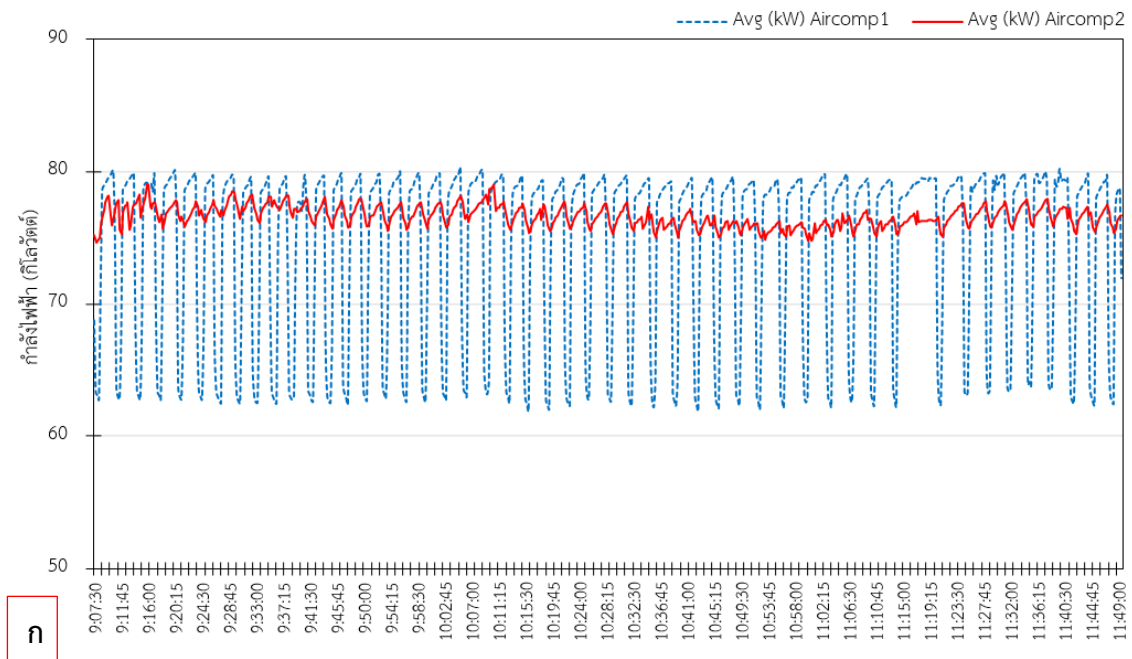
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สถานประกอบการต้นแบบได้ติดตั้งเครื่องอัดอากาศจำนวน 3 ชุด ชนิดสกรู หล่อลื่นด้วยน้ำมัน ระบายความร้อนด้วยอากาศ และมีตัวควบคุมเป็นแบบ โหลด/ไร้โหลด ซึ่งรายละเอียดของระบบอัดอากาศได้ถูกแสดงในตารางที่ 1 ระบบอัดอากาศประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศขนาด 100 แรงม้ายี่ห้อ FUSHENG 2 ชุด ผลิตแรงดัน 9.0 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร อายุใช้งาน 2 ปี ใช้เป็นเครื่องผลิตอากาศหลัก และเครื่องอัด

อากาศขนาด 60 แรงม้ายี่ห้อ ECO AIR ผลิตแรงดัน 8.16 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร อายุใช้งาน 22 ปี เป็นเครื่องสำรอง นอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังประกอบด้วยถังเก็บอากาศอัดขนาด 3x2 ลูกบาศก์เมตร และเครื่องทำอากาศแห้งขนาด 45 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ จำนวน 1 ชุด และระบบท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัดขนาด 100 มิลลิเมตร และมีความยาวรวม 200 เมตร สถานประกอบการทำงานต่อเนื่อง 24 ชม./วัน และ 300 วัน/ปี โดยมีค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.75 บาท/หน่วย

ตารางที่ 1 ข้อมูลระบบอัดอากาศของสถานประกอบการต้นแบบ

เครื่องอัดอากาศ	ขนาดพิกัด	แบบ	ชนิดการควบคุม
ยี่ห้อ FUSHENG อายุการใช้งาน 2 ปี	2x100 HP, 12.2 m ³ /min, 9.0 kg/cm ²	สกรู Oil Inject	มีภาระโหลด/ไร้ภาระโหลด
ยี่ห้อ ECO AIR อายุการใช้งาน 22 ปี	1x60 HP, 7.16 m ³ /min, 8.16 kg/cm ²	สกรู Oil Inject	มีภาระโหลด/ไร้ภาระโหลด
การระบายความร้อน		อากาศ	
ถังเก็บอากาศอัด 3 ใบ		ความจุ 2 ลูกบาศก์เมตร	
เครื่องทำอากาศแห้ง 1 เครื่อง		กำลังการผลิต 43 ลูกบาศก์เมตร/นาที่	
ขนาดท่อเมนส่งจ่ายอากาศ 100 มิลลิเมตร ยาว 200 เมตร		ลักษณะการต่อท่อเมน แบบวงแหวน	
เวลาทำงาน 24 ชั่วโมง วันทำงาน 300 วันต่อปี ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3.75 บาทต่อหน่วย			



รูปที่ 3 ข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการตรวจวัด (ก) ข้อมูลการใช้พลังงานที่ได้จากการตรวจวัด และ (ข) การจำลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด

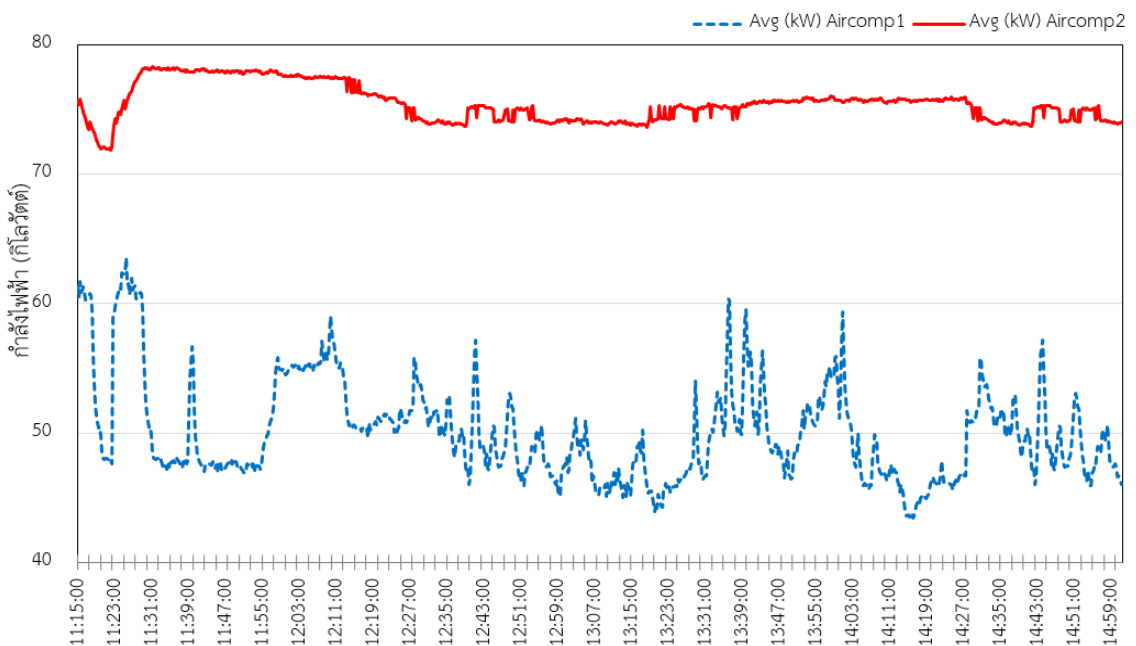
รูปที่ 3ก แสดงสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศก่อนใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ พฤติกรรมการทำงานของเครื่องปรับอากาศตลอดช่วง

เวลาการทำงาน พบว่าเครื่องปรับอากาศหมายเลข 2 (air comp 2) ทำงานอย่างต่อเนื่องกินกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 75.85 กิโลวัตต์ ส่วนเครื่องปรับอากาศหมายเลข 1

(air comp 1) ทำงานในลักษณะแบบเสริมโหลดแบบมีภาระและไร้ภาระ จากการจำลองข้อมูลการใช้พลังงานก่อนการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ซึ่งแสดงในรูปที่ 3 ข เครื่องอัดอากาศหมายเลข 1 มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงทำงานแบบมีภาระโหลดที่ 78.17 กิโลวัตต์ ระยะเวลาหน่วงเฉลี่ย 135 วินาที และมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงทำงานแบบไร้ภาระโหลดที่ 63.92 กิโลวัตต์ ค่าการผลิตสะสม (AP) เท่ากับ 60 วินาที ค่าเปอร์เซ็นต์เอ้าท์พุทสัมพัทธ์ (% RO) เท่ากับ 69.23 %

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจำนวน 900 ค่า เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ได้ถูกติดตั้งให้กับเครื่องอัดอากาศหมายเลข 1 เพียงตัวเดียวเท่านั้น เนื่องจากเครื่องอัดอากาศหมายเลข 2 ทำงานเต็มพิกัดจึงไม่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่อง

ควบคุมความเร็วรอบดังกล่าว รูปที่ 4 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและสภาวะการทำงานของเครื่องอัดอากาศหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ซึ่งพบว่าเครื่องอัดอากาศหมายเลข 2 ทำงานอย่างต่อเนื่องเช่นเดิมและมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 75.47 กิโลวัตต์ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากก่อนการดำเนินการ ส่วนเครื่องอัดอากาศหมายเลข 1 มีพฤติกรรมการผลิตอากาศอัดเปลี่ยนไปจากเดิมที่เคยทำงานแบบมีภาระโหลด/ไร้ภาระโหลด เป็นลักษณะแบบโมดูลตั้งทำงานตามความต้องการ ในการใช้อากาศอัดของระบบ โดยที่เครื่องอัดอากาศหมายเลข 1 ทำงานตลอดเวลา ไม่มีช่วงการทำงานแบบไร้ภาระโหลด ผลิตอากาศอัดอย่างต่อเนื่องและมีค่ากำลังไฟฟาลดลงเฉลี่ย 50.04 kW



รูปที่ 4 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 2 แสดงผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศตามวิธีโครงการ DANCED และตามวิธี

แนวทางเลือกเทียบกับผลประหยัดที่ได้จากการตรวจวัด การคำนวณการใช้พลังงานในปัจจุบันของเครื่องอัดอากาศก่อนการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบ จะได้

กำลังไฟฟ้าก่อนการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 73.78 กิโลวัตต์ คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีประมาณ 531,216 kWh/ปี คิดเป็นเงินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อปีเท่ากับ 1,992,060 บาท/ปี (พลังงานไฟฟ้า 3.75 บาท/หน่วย) เมื่อสถานประกอบการตัดสินใจติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ 1 ตัว โดยมีค่าเครื่องควบคุมความเร็วรอบ

มอเตอร์เป็นเงิน 486,850 บาท และค่าแรงในการติดตั้ง 64,200 บาท รวมเป็นเงินลงทุน 551,050 บาท พบว่าเมื่อทำการประเมินผลประหยัดที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งจากทั้งตามวิธีโครงการ DANCED และวิธีแนวทางเลือก ผลประหยัดพลังงานตามวิธีโครงการ DANCED พบว่าค่ากำลัง ไฟฟ้าลดลงหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบประมาณ 6.95 กิโลวัตต์ คิด

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศของโรงงานต้นแบบ

ข้อมูลพลังงานที่ใช้ก่อน-หลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ และแนวทางวิธีการ	พลังงาน (kWh/ปี)	ผลประหยัด ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี)	คิดเป็นร้อยละ เทียบกับก่อนติดตั้ง	ระยะเวลา คืนทุน (ปี)
ข้อมูลการใช้พลังงานก่อนการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (ข้อมูลตรวจวัด)	531,216	-	-	-
ผลประหยัดพลังงานหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์โดยวิธี DANCED (ข้อมูลการคำนวณ)	50,040	187,650	9.42	2.94
ผลประหยัดพลังงานหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์โดยวิธีแนวทางเลือก (ข้อมูลการคำนวณ)	151,560	568,350	28.53	0.97
ผลประหยัดพลังงานหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (ข้อมูลตรวจวัด)	170,935	641,006	32.18	0.86

เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปีเท่ากับ 50,040 kWh/ปี หรือคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ต่อปีเท่ากับ 187,650 บาท/ปี ผลประหยัดที่เกิดขึ้นประมาณร้อยละ 9.42 ซึ่งค่อนข้างต่ำ เนื่องจากโครงการ DANCED ใช้การประเมินกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในสภาวะไร้อากาศที่ 20 % ของพิกัดกำลังเครื่องอัดอากาศ ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้จริงในงานวิจัยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 80 % อนึ่งสภาวะไร้อากาศของเครื่องอัดอากาศเป็นลักษณะค่อย ๆ ลดลง และยังไม่เข้าสู่สภาวะไร้อากาศในอุดมคติ เครื่องอัดอากาศก็กลับขึ้นมาทำงานใหม่ เนื่องจากใน

ระบบยังมีการใช้ปริมาณอากาศอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังในสภาวะไร้อากาศมีค่าที่สูงตามไปด้วย สำหรับการประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานตามวิธีแนวทางเลือก พบว่า กำลังไฟฟ้าหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบประมาณ 57.12 กิโลวัตต์ หรือคิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ลดลง 21.05 กิโลวัตต์ และคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปีเท่ากับ 151,560 kWh/ปี หรือประหยัดเท่ากับ 568,350 บาท/ปี (ร้อยละที่ประหยัดได้ประมาณ 28.53) แต่ผลประหยัดพลังงานจากการตรวจวัดภายหลังการใช้เครื่องควบคุม

ความเร็วรอบมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศ จะเห็นได้ว่าเครื่องอัดอากาศกินกำลังไฟฟ้าลดลงเฉลี่ย 50.04 กิโลวัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เทียบกับก่อนการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ประมาณ 170,935 kWh/ปี หรือคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ประมาณ 641,006 บาท/ปี (ร้อยละที่ประหยัดได้ 32.18)

เพื่อเปรียบเทียบการประเมินผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นจากทั้งสองวิธีดังกล่าว ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจเอกสารของ บริษัท เชียงแสงเท็กซ์ไทล์ อินดัสตรีส์ จำกัด [4] ซึ่งดำเนินการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศขนาด 22 กิโลวัตต์ สภาวะภาระโหลดที่ 18.61 กิโลวัตต์ และมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงทำงานแบบไร้อะไรโหลดที่ 9.89 กิโลวัตต์ ค่าการผลิตสะสม เท่ากับ 60 วินาที ค่าเปอร์เซ็นต์เข้าที่พุดสัมพันธ์ เท่ากับ 45 % ข้อมูลหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เครื่องอัดอากาศอย่างต่อเนื่องเครื่องอัดอากาศกำลังไฟฟ้าลดลงเฉลี่ย 8.77 กิโลวัตต์ ทำงาน 7,200 ชั่วโมง

ต่อปี ค่าพลังงานเฉลี่ย 2.5 บาทต่อหน่วย และเงินลงทุน 93,500 บาท พบว่าการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการดำเนินการมาตรการประมาณ 99,432 kWh/ปี คิดเป็นเงินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 249,330 บาท/ปี หลังจากการดำเนินการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้กับเครื่องอัดอากาศด้วยเงินลงทุน 93,500 การประเมินผลประหยัดพลังงานตามวิธีโครงการ DANCED ได้ 25,344 kWh/ปี หรือประหยัดได้ประมาณร้อยละ 25.49 และมีระยะเวลาคืนทุน 1.47 ปี แต่การประเมินผลประหยัดพลังงานตามวิธีแนวทางเลือกได้ 32,832 kWh/ปี หรือร้อยละ 32.02 และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.14 ปี โดยจากการดำเนินการมาตรการดังกล่าว พบว่าเครื่องอัดอากาศกินกำลังไฟฟ้าลดลงเฉลี่ย 8.77 กิโลวัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณ 36,288 kWh/ปี หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้ร้อยละ 36.50 % ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศของ บริษัท เชียงแสงเท็กซ์ไทล์ อินดัสตรีส์ จำกัด

ข้อมูลพลังงานที่ใช้ก่อน-หลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ และแนวทางวิธีการ	พลังงาน (kWh/ปี)	ผลประหยัด ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี)	คิดเป็นร้อยละ เทียบกับก่อนติดตั้ง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ข้อมูลการใช้พลังงานก่อนการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (ข้อมูลตรวจวัด)	99,432	-	-	-
ผลประหยัดพลังงานหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์โดยวิธี DANCED (ข้อมูลการคำนวณ)	25,344	63,360	25.49	1.47
ผลประหยัดพลังงานหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์โดยวิธีแนวทางเลือก (ข้อมูลการคำนวณ)	32,832	82,080	33.02	1.14
ผลประหยัดพลังงานหลังการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (ข้อมูลตรวจวัด)	36,288	90,720	36.50	1.03

การคำนวณข้างต้นจะเห็นได้ว่าการประเมินผล ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการที่ใกล้เคียง กับความเป็นจริงนั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพราะถือเป็นหนึ่งในตัวแปรหลักที่ใช้ตัดสินใจ เพื่อดำเนิน มาตรการนั้น ๆ โดยเฉพาะ สำหรับผู้บริหารระดับสูง สำหรับมาตรการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบใน เครื่องอัดอากาศนั้น การประเมินผลประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น ตามวิธีโครงการ DANCED มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าการ ประเมินผลประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นตามวิธีแนวทางเลือก ประมาณ แต่ข้อมูลที่น่ามาใช้ในการประเมินตามวิธี โครงการ DANCED มีความยุ่งยาก สิ้นเปลืองแรงงาน เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการประเมินตามวิธีแนว ทางเลือก เนื่องจากใช้ข้อมูลส่วนใหญ่จากพิกัดป้ายชื่อ และกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่ 20 % ของพิกัดป้ายชื่อ เป็นค่าการทำงานที่สภาวะไร้อโหลด ในขณะที่การ ประเมินผลประสิทธิภาพตามวิธีแนวทางเลือกต้องใช้ข้อมูล จากการตรวจวัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศจริง เพื่อทราบพฤติกรรมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ แต่ค่าการประเมินผลประสิทธิภาพจะใกล้เคียงกับความเป็น จริง ซึ่งก่อให้เกิดการสนใจในการดำเนินมาตรการ อนุรักษ์พลังงาน

4. สรุปผล

การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่อง อัดอากาศ พบว่ามาตรการติดตั้งเครื่องควบคุมความ เร็วรอบสามารถนำมาใช้กับเครื่องอัดอากาศ เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานขึ้นภายในสถานประกอบการ การติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบในเครื่องอัด อากาศคิดเป็นเงินลงทุนทั้งสิ้น 551,050 บาท และ ส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานได้จริงเท่ากับ 32.18 % แต่จากการประเมินผลประหยัดพลังงานจากวิธีตาม โครงการ DANCED ผลประหยัดที่ได้ค่อนข้างต่ำ ประมาณ 9.42 % เมื่อเทียบกับวิธีแนวทางเลือกซึ่ง

ให้ผลประหยัดพลังงานเท่ากับ 28.53 % ซึ่งใกล้เคียง กับผลการตรวจวัดหลังการติดตั้ง ทั้งนี้เนื่องจากวิธีตาม แนวทางเลือกได้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดจริงก่อนการ ติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบจริงในการประเมินผล ประหยัด ทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีความแม่นยำ มาก แต่วิธีตามแนวทางเลือกต้องใช้เครื่องมือตรวจวัด และระยะเวลาดำเนินการมากกว่าวิธีการตามโครงการ DANCED จากการดำเนินมาตรการดังกล่าว สามารถ สรุปได้ว่าการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วในเครื่องอัด อากาศสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้จริง และไม่มี ผลต่อการผลิตและการใช้อากาศอัด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.ภก.พิสุทธิเลิศวิไล รองกรรมการ ผู้จัดการ และ คุณบดินทร์ มณีพัฒนโกศล ผู้จัดการฝ่าย งานโครงการ บริษัท มัลติแบกซ์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ ให้ความช่วยเหลือและให้โอกาสใช้สถานที่ ตลอดจนถึง การใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ในการทดลองงานวิจัยจน สำเร็จลุล่วง

6. รายการอ้างอิง

- [1] เรวัช ธงชัย, 2550, การอนุรักษ์พลังงานในระบบ อัดอากาศ Compressed Air System, เอกสาร บรรยาย, บริษัท ไออีซีเอ็ม จำกัด, กรุงเทพฯ, 75 น.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555, PREs สามัญ (อาคารควบคุม) 2, น. 5-31, การจัดการพลังงานไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 1, หลัก สูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ (อาคาร), กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.
- [3] ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน, 2548, สื่อการฝึกอบรม Mini Plant ไฟฟ้า, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

- [4] บริษัท เชียงแสงเท็กซ์ไทล์ อินดัสตรีส์ จำกัด, มปป., โครงการนำร่องการอนุรักษ์พลังงาน ช่วยเหลือสนับสนุน 30 % : มาตรการประหยัดพลังงานมาตรฐาน (Standard Measure), รายงานฉบับสมบูรณ์, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กรุงเทพฯ.
- [5] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2543, คู่มือ มาตรการประหยัดพลังงานมาตรฐาน (Standard Measure) : การอนุรักษ์พลังงานในภาคธุรกิจ (1/2) ฉบับสมบูรณ์ 2543 (พพ. 31010-1 : 2543), เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของ เครื่องอัดอากาศ (พพ. 61010-1 : 2543), เอกสารฉบับเต็ม, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 28 น.