

**การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิตน้ำแข็งด้วยการนำน้ำละลายน้ำแข็ง
มาเติมในหอระบายความร้อน กรณีศึกษาโรงงานน้ำแข็งหลอดในจังหวัดอุดรธานี**

**Electrical Energy Savings in Ice Production Process by Introducing Defrost Water
into Cooling Tower - Case study of the Ice Production Plant in Udon Thani**

อภิชาติ ศรีชาติ^{1*} และ กวีพงษ์ หงษ์ทอง¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 64 ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000

*ติดต่อ: tor_en38kku@hotmail.com, 0872186214, 042221978

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งด้วยการนำน้ำละลายน้ำแข็งมาเติมในน้ำหล่อเย็นที่หอระบายความร้อน (Cooling Tower) เพื่อลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดไอของโรงงานน้ำแข็งร่วมน้ำแข็งหลอดจังหวัดอุดรธานี โดยที่ระบบผลิตน้ำแข็งประกอบไปด้วย 1) เครื่องผลิตน้ำแข็งขนาด 25 ตัน จำนวน 3 เครื่อง, 2) เครื่องอัดไอ ขนาด 110 kW จำนวน 3 เครื่อง, 3) ถังเก็บสารทำความเย็น, 4) ระบบบรรจุกระสอบน้ำแข็ง, 5) หอระบายความร้อน 6) ระบบสูบน้ำ และ 7) บ่อพักน้ำละลายน้ำแข็ง โดยระบบผลิตน้ำแข็งที่ใช้ทดลองจำนวน 1 เครื่อง จะมีน้ำละลายน้ำแข็งที่ใช้ล้างละลายน้ำแข็งหลอดไหลลงมายังบริเวณด้านล่างของเครื่องผลิตน้ำแข็งทำการต่อท่อไปยังบ่อพักแล้วสูบน้ำเติมลงในหอระบายความร้อน จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ก่อนและหลังการเติมน้ำละลายน้ำแข็งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.7 และ 33.6 °C ตามลำดับ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีค่าลดลง เมื่อทำการวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 1 ชั่วโมงทำงาน ก่อนและหลังการเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อนแล้ว พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนเท่ากับ 122 หน่วย/ชั่วโมง และการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังเท่ากับ 104 หน่วย/ชั่วโมง สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ เท่ากับ 18 หน่วย/ชั่วโมง ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 14.75% สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 920.30 บาท/วัน หรือเท่ากับ 27,609 บาท/เดือน จากการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าน้ำละลายน้ำแข็งที่เป็นน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งสามารถนำมาใช้ในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งได้ด้วยการเติมลงในน้ำหล่อเย็นที่หอระบายความร้อนและเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตน้ำแข็ง ต่อไป

คำหลัก: หอระบายความร้อน, การใช้พลังงานไฟฟ้า, น้ำล้างน้ำแข็ง

Abstract

This study is an attempt to compare the electrical energy consumption of the ice production system by introducing the defrost water into the coolant water at the cooling tower. It is to reduce the coolant temperature and reduce the electrical energy consumption of the compressor of the ice factory in Udon Thani. Ice production system consists of 1) 3 ice production machine for 25 tons/set, 2) 3 vapor compressors for 110 kW/set, 3) cooling tank, 4) ice bagging system, 5) cooling tower, 6) pumping system. And 7) defrost water storage tank. The ice production in this experimental is 1 set

system which will have a defrost water that melts the ice and defrost water is flows down to the bottom of the ice production machine, then the pipes are connected to the storage tank and pumped into the cooling tower. From the experiment found that the temperature of coolant before and after addition of defrost water, the mean values were 36.7 °C and 33.6 °C, respectively. The coolant temperature is lower. When measuring the amount of electrical energy consumption in one hour before and after the defrost water into the cooling tower, it was found that the before and after for electrical energy consumption was 122 units/hour and 104 units/hour, respectively. It can reduce electrical energy consumption by 18 units/hour. It can reduce the electricity consumption by 14.75% and cost of electricity by 920.30 baht/day or 27,609 baht/month. The study showed that defrost water from ice production process can be used to reduce the electrical energy consumption of ice production systems by introducing it into the coolant at the cooling tower and a way to reduce the electricity consumption in the ice factory.

Keywords: Cooling Tower, Energy Consumption, Defrost Water.

1. บทนำ

โรงงานผลิตน้ำแข็งหลอดในจังหวัดอุดรธานีผลิตและจัดจำหน่ายน้ำแข็งหลอด เครื่องหมายสินค้า “ร่วมน้ำแข็งหลอด” โดยมีเครื่องผลิตน้ำแข็งที่มีกำลังการผลิตขนาด 25 ตันต่อวัน จำนวน 3 เครื่อง การทำงานของเครื่องผลิตน้ำแข็งโดยใช้กระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอ [1] จากการสำรวจข้อมูลพบว่าช่วงที่มีปริมาณความต้องการบริโภคน้ำแข็งสูง คือในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ส่วนช่วงที่เป็นฤดูฝนและฤดูหนาวจะมีความต้องการน้อยลง นอกจากนี้ยังมีต้นทุนค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละ 400,000 บาท ค่าน้ำเฉลี่ยเดือนละ 50,000 บาท ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายหลักของโรงงานน้ำแข็งหลอด จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน (Cooling tower) มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดไอ ซึ่งถ้ารังผึ้งที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของหอระบายความร้อนมีทั้งเศษฝุ่นและตะไคร่น้ำเกาะติดเป็นจำนวนมากจะทำให้เป็นอุปสรรคในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นที่ใช้ระบายความร้อนให้กับสารทำความเย็นของเครื่องอัดไอและอากาศในหอระบายความร้อน ทำให้พัดลมดูดอากาศมีการทำงานมากขึ้น

และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงทำให้เครื่องอัดไอทำงานหนัก

[2] การใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย

จากการศึกษาพบว่าถ้าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนมีค่าสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้นและยังส่งผลให้เครื่องอัดไอทำงานลดลง [3] ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย การระบายความร้อนและการแลกเปลี่ยนความร้อนของหอระบายความร้อนด้วยอากาศ พบว่ายิ่งอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าต่ำมากเท่าไรก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็นที่ใช้ระบายความร้อนสารทำความเย็นของเครื่องอัดไ้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนของเครื่องอัดไอลงได้มากขึ้นส่งผลให้สามารถลดอุณหภูมิของเครื่องอัดไอลงได้เช่นกัน ทำให้ไม่เกิดความร้อนสูงในเครื่องอัดไอและส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดไ้มากขึ้น ลดการใช้พลังงานจากมอเตอร์ต้นกำลังของเครื่องอัดไอสารทำความเย็น [4] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการปรับมุมใบพัดของหอระบายความร้อนเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์พัดลมระบายความร้อน ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการ

ระบายความร้อนทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำแข็งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [5] และยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาในการทำงานของโรงงานผลิตน้ำแข็งให้เป็นช่วงเวลากลางคืนซึ่งเป็นช่วงเวลา Off Peak ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟาลดลง [6] อีกทั้งในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิบริเวณโดยรอบหอระบายความร้อนมีค่าต่ำกว่าช่วงกลางวันทำให้ระบบระบายความร้อนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าและยังลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรได้อีกด้วย [7] แต่ยังคงพบว่าการผลิตน้ำแข็งจะมีกระบวนการละลายน้ำแข็งเพื่อให้น้ำแข็งละลายลงมายังถังพักน้ำแข็งก่อนบรรจุกระสอบ เรียกว่า น้ำละลายน้ำแข็ง (Defrost water) ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 5°C และมีปริมาณประมาณ 500 ลิตร/รอบ ซึ่งในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศรอบหอระบายความร้อนมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง อยู่ที่ประมาณ $30 - 34^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อน อยู่ที่ประมาณ $65 - 75^{\circ}\text{C}$ ซึ่งน้ำละลายน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำและเหลือทิ้งไม่ได้ใช้ประโยชน์สามารถนำไปลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่หอระบายความร้อนได้ จะทำให้เครื่องอัดไอทำงานน้อยลงและทำให้สามารถประหยัดพลังงานในระบบผลิตน้ำแข็งได้

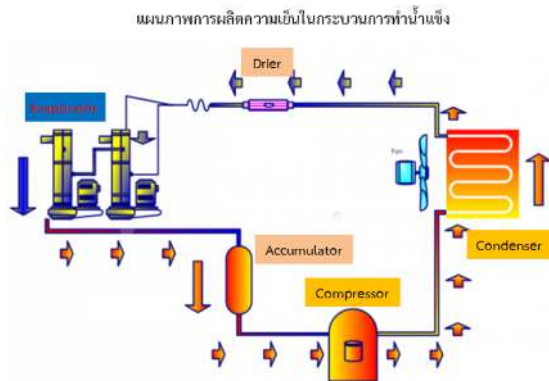
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำน้ำละลายน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำมาเติมในน้ำหล่อเย็นที่หอระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งในกรณีที่เติมน้ำละลายน้ำแข็งและเติมน้ำละลายน้ำแข็งที่หอระบายความร้อน และคำนวณหาอัตราค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำแข็งที่ไม่เติมและเติมน้ำละลายน้ำแข็งในหอระบายความร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานในระบบผลิตน้ำแข็ง ต่อไป

2. กระบวนการผลิตน้ำแข็ง

โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ต้องการทำความเย็นจะต่ำในระดับ 5°C ลงมาจนถึงระดับ -20°C หรือหากเป็นการแช่เยือกแข็งอาจถึง -40°C ในขณะที่อุณหภูมิบรรยากาศโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35°C ดังนั้นเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนในการดูดซับความร้อนออกจากตู้เย็นของสารทำความเย็น และการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นสู่บรรยากาศภายนอกตู้เย็นเป็นไปได้ด้วยดี อุณหภูมิในขณะที่สารทำความเย็นเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซในขณะดูดซับความร้อนจึงควรต่ำกว่าอุณหภูมิในตู้เย็นประมาณ $5 - 10^{\circ}\text{C}$ สารทำความเย็นที่นำมาใช้เป็นสารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนต้องมีสมบัติในการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซที่อุณหภูมิต่ำ ความดันต่ำและมีสมบัติในการเปลี่ยนแปลงสถานะจากก๊าซเป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูง ๓ ความดันสูง [8]

วงจรการทำความเย็นในเครื่องทำน้ำแข็งทั่วๆ ไปเริ่มจากคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งทำหน้าที่อัดส่งสารทำความเย็นที่มีสถานะแก๊สที่มีแรงดันสูงและอุณหภูมิสูงไปยังชุดคอนเดนเซอร์ (Condenser) เพื่อลดอุณหภูมิลง โดยใช้พัดลมหรือน้ำทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากสารทำความเย็นผ่านแผงครีปที่ชุดคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์จะมีสถานะเป็นของเหลวที่มีแรงดันสูงแต่อุณหภูมิลดลง สารทำความเย็นถูกส่งไปยังไดเออร์ (Filter drier) ซึ่งมีหน้าที่กรองสิ่งสกปรกในระบบทำความเย็น หลังจากนั้นสารทำความเย็นถูกส่งไปยังตัวลดแรงดันหรือที่เรียกว่า ท่อแคปทิว (Capillary Tube) ทำหน้าที่ลดแรงดันสารทำความเย็นและลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนเข้าสู่ชุดอีแวปอเรเตอร์ (Evaporator) หรือชุดบล็อกทำน้ำแข็ง สถานะสารทำความเย็นหลังจากออกจากท่อแคปทิวจะเป็นของเหลวที่มีแรงดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ สารทำความเย็นสถานะดังกล่าวเมื่อเข้าไปที่ชุดอีแวปอเรเตอร์ ซึ่งสารทำความเย็นในชุดอีแวปอเรเตอร์มีหน้าที่ในการดูดความร้อนออกจากโหลด ซึ่งในที่นี้โหลดคือน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง

โดยที่ความร้อนที่ออกมาจากน้ำจะทำให้สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวเดือดระเหยกลายเป็นไอ ดังนั้นสถานะสารทำความเย็นที่ออกมาจากชุดอีแวปอเรเตอร์จะเป็นไอที่มีแรงดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ โดยโหลดหรือน้ำที่ถูกดูดเอาความร้อนออกก็จะกลายเป็นน้ำแข็ง กระบวนการผลิตน้ำแข็งสามารถแสดงแผนผังการทำงานและอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะอุปกรณ์ของระบบผลิตน้ำแข็งด้วยเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

การทดลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งจากการนำน้ำละลายน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำมาเติมในน้ำหล่อเย็นที่หอระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น โดยที่ระบบผลิตน้ำแข็งที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย 1)เครื่องผลิตน้ำแข็งขนาด 25 ตัน จำนวน 3 เครื่อง, 2)เครื่องอัดไอ ขนาด 110 kW จำนวน 3 เครื่อง, 3)ถังเก็บสารทำความเย็น, 4)ระบบบรรจุกระสอบน้ำแข็ง, 5)หอระบายความร้อน 6)ระบบสูบน้ำ และ 7)บ่อพักน้ำละลายน้ำแข็ง ดังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2(ก) ในการทดลองจะทำการวัดค่าปริมาณไฟฟ้าจำนวน 1 เครื่องผลิต โดยระบบผลิตน้ำแข็งในแต่ละรอบจะมีน้ำละลายน้ำแข็งไหลลงมายังบริเวณด้านล่างของเครื่องผลิตน้ำแข็ง จะมีปริมาณน้ำละลายน้ำแข็ง 0.5 m³/รอบการผลิต/เครื่อง ทำการต่อท่อน้ำด้วยท่อ PVC ขนาด

2 นิ้ว ออกไปยังบ่อพักน้ำละลายน้ำแข็งภายนอกอาคาร เป็นบ่อปูนติดตั้งอยู่ใต้พื้นดินเพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำละลายน้ำแข็ง ขนาดยาว 3 m กว้าง 1 m ลึก 1 m ซึ่งสามารถเก็บน้ำละลายน้ำแข็งได้ 3 m³ บ่อพักติดตั้งปั๊มสูบน้ำเพื่อเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อน ดังที่สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2(ข)

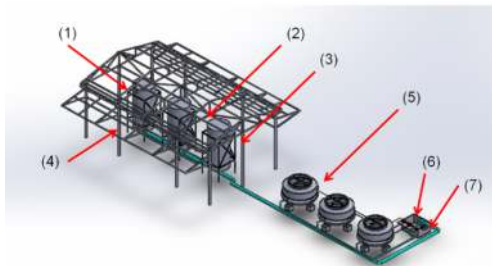
3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองโดยทำการวัดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า (Power analyzer) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 และอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของระบบผลิตน้ำแข็งก่อนและหลังเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อน แล้วทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า คำนวณหาอัตราค่าไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำแข็งตามประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าของกิจการประเภทที่ 2 มีอัตราค่าไฟฟ้าแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ดังสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 จากนั้นทำการวัดปริมาณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของการผลิตน้ำแข็ง ทำการเปรียบเทียบอัตราค่าไฟฟ้าที่ได้จากการไม่เติมและเติมน้ำละลายน้ำแข็ง โดยในการทำงานของเครื่องผลิตน้ำแข็ง 1 รอบจะใช้เวลาในการผลิตน้ำแข็ง 30 นาที และจะมีปริมาณน้ำละลายน้ำแข็ง 0.5 m³/รอบการผลิต นั้นแสดงว่าในการทดลอง 1 ชั่วโมงจะใช้ปริมาณน้ำหล่อเย็นในการเติมเข้าในหอระบายความร้อน เท่ากับ 1 m³ โดยเติมครั้งละ 0.5 m³ จำนวน 2 ครั้ง ตามรอบการผลิตน้ำแข็งที่จะมีน้ำละลายน้ำแข็งเกิดขึ้น แล้วทำการวัดอุณหภูมิน้ำก่อนและหลังเข้าหอระบายความร้อน และวัดอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังเข้าหอระบายความร้อน ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ได้พิจารณาเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงไม่มีการทำการศึกษาด้านประสิทธิภาพของเครื่องผลิตน้ำแข็งและการตรวจวัดคุณภาพน้ำละลายน้ำแข็ง

ตารางที่ 1 อัตราค่าไฟฟ้าของ กฟภ. [9]

ช่วงเวลา	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
----------	---------------------------

09.00 – 22.00 น.	5.1135
22.00 – 09.00 น.	2.6037



(ก) ระบบผลิตน้ำแข็ง



(ข) เครื่องอัดไอในกระบวนการผลิตน้ำแข็ง

รูปที่ 2 ระบบการเติมน้ำละลายน้ำแข็งในหอระบายความร้อนของระบบผลิตน้ำแข็ง



รูปที่ 3 การวัดค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4 อุณหภูมิหอระบายความร้อน

4. ผลการทดลอง

4.1 การเปรียบเทียบทางความร้อน

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นก่อนและหลังเติมน้ำละลายน้ำแข็งในหอระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนในหอระบายความร้อนก่อนและหลังการเติมน้ำละลายน้ำแข็ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.7 และ 33.6 °C การทดสอบวัดค่าอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อน ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการเติมน้ำละลายน้ำแข็ง ทำให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นหลังจากการเติมน้ำละลายน้ำแข็งมีค่าลดลง เป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำละลายน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำลงไปผสมกับน้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้อุณหภูมิ

ของน้ำหล่อเย็นมีค่าลดลง สามารถแสดงค่าอุณหภูมิได้ดังตารางที่ 2

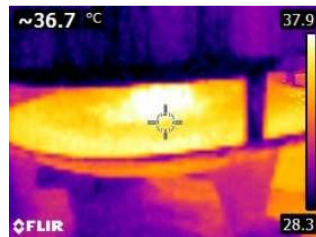
4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งก่อนเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อน

จากการทดลองการวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 1 ชั่วโมงทำงานในช่วงการเดินระบบผลิตน้ำแข็งในช่วงก่อนเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อน สามารถแสดงกราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 6 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 122 หน่วย/ชั่วโมง และกราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบผลิตน้ำแข็งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งก่อนเติมน้ำละลายน้ำแข็ง มีค่าเท่ากับ 109.97 kW

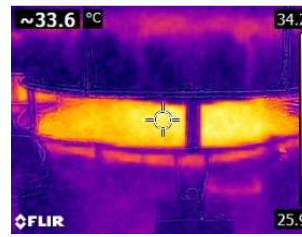
4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งหลังเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อน

จากการทดลองการวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 1 ชั่วโมงทำงานในช่วงการเดินระบบผลิตน้ำแข็งในช่วงหลังจากเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อน สามารถแสดงกราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 8 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 104

หน่วย/ชั่วโมง และกราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบผลิตน้ำแข็งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งหลังเติมน้ำละลายน้ำแข็ง มีค่าเท่ากับ 104.71 kW

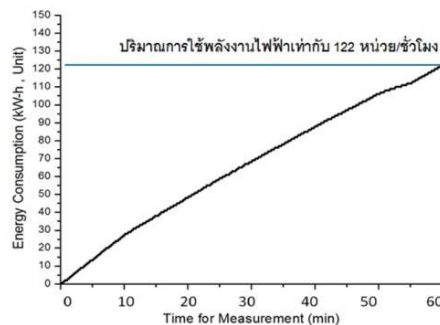


(ก) ก่อนเติมน้ำละลายน้ำแข็ง

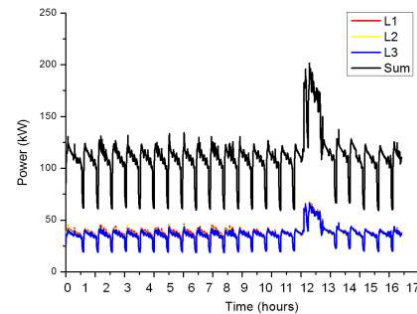


(ข) หลังเติมน้ำละลายน้ำแข็ง

รูปที่ 5 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในหอระบายความร้อน (Cooling Tower)



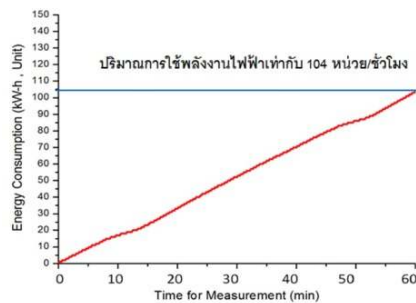
รูปที่ 6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็ง ก่อนเติมน้ำละลายน้ำแข็ง ในเวลา 1 ชั่วโมง



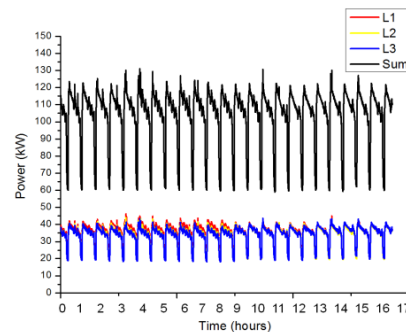
รูปที่ 7 การใช้กำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งก่อนเติมน้ำละลายน้ำแข็ง

ตารางที่ 2 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของหอระบายความร้อน

บริเวณที่ทำการวัดค่าอุณหภูมิ	อุณหภูมิ (°C)	
	ไม่เติมน้ำละลายน้ำแข็ง	เติมน้ำละลายน้ำแข็ง
$T_{air,inlet}$	32.3	32.6
$T_{air,outlet}$	38.6	39.0
$T_{water,inlet}$	63.5	63.3
$T_{water,outlet}$	36.7	33.6



รูปที่ 8 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็ง
หลังเติมน้ำละลายน้ำแข็ง ในเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 9 การใช้กำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็ง
หลังเติมน้ำละลายน้ำแข็ง

4.4 การเปรียบเทียบค่าไฟฟ้า

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 1 ชั่วโมงทำงานในช่วงการเดินระบบผลิตน้ำแข็งในช่วงก่อนและหลังเติมน้ำละลายน้ำแข็งแล้วพบว่าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนเท่ากับ 122 หน่วย/ชั่วโมง และการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังเท่ากับ 104 หน่วย/ชั่วโมง สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ เท่ากับ 18 หน่วยต่อชั่วโมง ถ้านำมาใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา Peak (วัดค่าในช่วงเวลากลางวัน) ซึ่งคิดค่าไฟฟ้า หน่วยละ 5.1135 บาท สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 และยังพบว่าค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในเครื่องผลิตน้ำแข็งก่อนและหลังเติมน้ำละลายน้ำแข็ง คือ 109.97 kW และ 104.71 kW ตามลำดับ การเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในน้ำหล่อเย็นจะทำให้อุณหภูมิของน้ำเย็นลดลงและทำให้เครื่องอัดไอ

ทำงานลดลง ซึ่งจะทำให้กำลังไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำแข็งลดลงตามไปด้วย สามารถลดกำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 5.26 kW

สามารถหาค่าร้อยละการลดลงของการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละการลดลงของการใช้พลังงานไฟฟ้า} = ((E_{\text{ก่อน}} - E_{\text{หลัง}}) / E_{\text{ก่อน}}) \times 100 \quad (1)$$

ดังนั้น จะได้ว่า

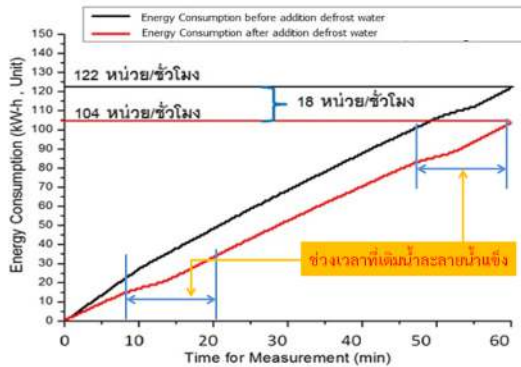
$$\text{ร้อยละการลดลงของการใช้พลังงานไฟฟ้า} = ((122 - 104) / 104) \times 100 = 14.75 \%$$

สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 14.75 %

ตารางที่ 3 แสดงรายการคำนวณเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งต่อวัน

รายการ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (หน่วย/วัน)		อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าไฟฟ้า (บาท)		
	ช่วงเวลา Peak	ช่วงเวลา Off Peak	ช่วงเวลา Peak (5.1135)	ช่วงเวลา Off Peak (2.6037)	(บาท/ ชั่วโมง)	(บาท/วัน) (10 ชม. ทำงาน)	(บาท/เดือน) (30 วัน ทำงาน)
1. ก่อนการเติมน้ำ	122	-	623.74	-	623.74	6,237.40	187,122.00

ละลายน้ำแข็ง							
2. หลังการเติมน้ำ ละลายน้ำแข็ง	104	-	531.71	-	531.71	5,317.10	159,513.00
ค่าไฟฟ้าแตกต่าง						920.30	27,609.00



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 1 ชั่วโมงทำงานในช่วงการเดินระบบผลิตน้ำแข็ง

จากกราฟในรูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำแข็งในช่วงก่อนและหลังการเติมน้ำละลายน้ำแข็ง พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำแข็งก่อนเติมน้ำละลายน้ำแข็งมีลักษณะคงที่และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำแข็งหลังเติมน้ำละลายน้ำแข็งจะพบว่าในช่วงเวลาที่มีการเติมน้ำละลายน้ำแข็งการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำแข็งจะลดลงเกิดจากความร้อนของน้ำหล่อเย็นลดลง หลังจากนั้นจะคงที่เกิดจากความร้อนของน้ำหล่อเย็นกลับมาอุณหภูมิปกติที่ไม่มีการเติมน้ำละลายน้ำแข็ง และลดลงอีกครั้งเมื่อมีการเติมน้ำละลายน้ำแข็ง ทำให้กราฟลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำแข็งที่เติมน้ำละลายน้ำแข็งไม่คงที่มีแนวโน้มลดลง เป็นลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ตามรอบการผลิตน้ำแข็งที่มีน้ำละลายน้ำแข็งเหลือทิ้ง

5. สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบผลิตน้ำแข็งของโรงงานน้ำแข็งร่วมน้ำแข็งหลอดจังหวัดอุดรธานี ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งจากการนำน้ำละลายน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำมาเติมในน้ำหล่อเย็นที่หอระบายความร้อน (Cooling Tower) เพื่อลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น โดยที่ระบบผลิตน้ำแข็งประกอบไปด้วย 1)เครื่องผลิตน้ำแข็งขนาด 25 ตัน จำนวน 3 เครื่อง, 2)เครื่องอัดไอ ขนาด 110 kW จำนวน 3 เครื่อง, 3)ถังเก็บสารทำความเย็น, 4)ระบบบรรจุกระสอบน้ำแข็ง, 5)หอระบายความร้อน 6)ระบบสูบน้ำ และ 7)บ่อกักน้ำละลายน้ำแข็ง โดยการทดลองในครั้งนี้ทำการทดลองกับระบบผลิตน้ำแข็ง 1 เครื่อง เพื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำแข็งที่ไม่เติมและเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในน้ำหล่อเย็น เครื่องอัดไอสารทำความเย็นที่หอระบายความร้อน ซึ่งระบบผลิตน้ำแข็งจะมีน้ำละลายน้ำแข็งไหลลงมายังบริเวณด้านล่างของเครื่องผลิตน้ำแข็งต่อท่อระบายไปยังบ่อกักน้ำละลายน้ำแข็งแล้วสูบน้ำละลายน้ำแข็งเพื่อเติมลงในหอระบายความร้อน จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ระบายความร้อนในหอระบายความร้อน ก่อนและหลังการเติมน้ำละลายน้ำแข็งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.7 และ 33.6 °C ตามลำดับ เป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำละลายน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำลงไปผสมกับน้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิสูงทำให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีค่าลดลง ทำการวัดค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 1 ชั่วโมงทำงานในช่วงการเดินระบบผลิตน้ำแข็งในช่วงก่อนและหลังการเติมน้ำละลายน้ำแข็งลงในหอระบายความร้อนแล้ว พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนเท่ากับ 122

หน่วย/ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งก่อนเติมน้ำละลายน้ำแข็ง มีค่าเท่ากับ 109.97 kW คิดเป็นค่าไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังเท่ากับ 104 หน่วย/ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งหลังเติมน้ำละลายน้ำแข็ง มีค่าเท่ากับ 104.71 kW สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ เท่ากับ 18 หน่วยต่อชั่วโมง สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 14.75% สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 920.30 บาทต่อวัน หรือเท่ากับ 27,609 บาทต่อเดือน นั้นแสดงให้เห็นว่าน้ำละลายน้ำแข็งที่เป็นน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำแข็งสามารถนำมาใช้ในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำแข็งด้วยการเติมลงในน้ำหล่อเย็นที่หอระบายความร้อนและเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตน้ำแข็งต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย และกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ภาค 4 จังหวัดอุดรธานี ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยในครั้งนี้ และโรงงานผลิตน้ำแข็งร่วมน้ำแข็งหลอด อ.เมือง จ.อุดรธานี ที่อนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิชาการดอทคอม. (2559). การทำน้ำแข็ง จากน้ำให้เป็นน้ำแข็ง. แหล่งที่มา : <http://www.vcharkarn.com/>
- [2] iEnergyGuru. (2559). ความรู้เบื้องต้นของระบบทำความเย็น. แหล่งที่มา : <http://ienergyguru.com>.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553). ระบบการทำความเย็น (Refrigeration). กรม

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ถนนรามาร 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ประเทศไทย.

- [4] Wilbert F. Stockers, W. F. & Jones, J. W. (1982). Refrigeration & air conditioning. Singapore: McGraw-Hill International Editions.

- [5] สันติกร ภูมิประเสริฐ, ณัฐดนัย พรณูเจริญวงศ์ และฉัตรชัย เบญจปิยะพร (2012). การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตน้ำแข็งหลอดโดยการปรับมุมใบพัดห่อผึ่งน้ำเย็น. การประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 229-235.

- [6] อภิชาติ ศรีชาติ, กฤษณพงศ์ สมสุข, ระวี พรหมหลวงศรี และชลิดา เสน่ห์เมือง (2559). การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบผลิตน้ำแข็ง กรณีศึกษา โรงน้ำแข็งร่วมน้ำแข็งหลอด จ.อุดรธานี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 หน้า 19-33

- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553). คู่มือการฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ถนนรามาร 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ประเทศไทย.

- [8] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ. (2559). วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ. แหล่งที่มา : <http://www.techedu.rmutk.ac.th>

- [9] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2558). ประกาศ เรื่องโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2558. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 200 ถนนงามวงศ์วาน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ประเทศไทย.