การพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

Development of renewable energy heat exchangers with solar energy

กฤษณ์ชาคริตส ณ วัฒนประเสริฐ*, กุสุมา ผลาพรม, อภิสิทธิ์ อุปกิจ, มณฑาทิพย์ สายยศ,
ธรรณภรณ์ คงตัน, พัฒนพงษ์ สุหญ้านาง, พรชัย ตามถิ่นไทย และ อภิชาติ มาศมาลัย
Kritchakhris Nawattanaprasert*, Kusuma Palaprom, Apisit Upakit, Montatip Saiyos,
Thannaporn Kongtun, Pattanapong Suyanang, Pornchai Tamthinthai and Apichat Masmalai

สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
Department of Industrial Management Technology and Innovation, Faculty of Industrial Technology,
Phranakhon Rajabhat University
*Email: kritchakhris@pnru.ac.th
Received: March 28, 2023; Revised: May 25, 2023; Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อ : 1) ออกแบบและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 2) เพิ่มประสิทธิภาพระยะเวลาในการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และ 3) เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้กระแสไฟฟ้าของโรงเลี้ยงสัตว์ การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้เทคนิคในการวิจัยเชิงทดลอง มีผลการวิจัยพบว่า การทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้มีการพัฒนาทั้ง 6 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านระยะเวลาในการทำงาน การใช้งานเฉลี่ยนานขึ้นจากเครื่องเดิมมีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 5 ชั่วโมง 16 นาที และเมื่อมีการพัฒนาแล้ว มีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 18 นาที 2) ด้านระยะเวลาการละลายของน้ำแข็ง มีระยะเวลาการละลายของน้ำแข็งเฉลี่ยนานขึ้นกว่าเดิมก่อนจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวทั้งหมด 3) ด้านอุณหภูมิ มีอุณหภูมิลดลงเนื่องจากเดิมเป็นพัดลมโบลเวอร์ ส่งผลให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ (V) 4) ด้านน้ำหนัก จากเครื่องเดิมใช้พัดลมโบลเวอร์ซึ่งมีน้ำหนัก 7 กิโลกรัม และเมื่อได้มีการพัฒนาโดยเปลี่ยนเป็นพัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ (V) ซึ่งมีน้ำหนักเพียง 400 กรัม ส่งผลให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีน้ำหนักที่เบาลง 5) ด้านความปลอดภัย ได้รับความปลอดภัยมากขึ้นเพราะจากมีการหุ้มสายไฟและจัดเก็บเป็นระเบียบทั้งพลังงานที่ใช้เป็นเพียงพลังงาน 12 โวลต์ (V) ซึ่งไม่มีแรงดันไฟฟ้ามากพอที่จะอันตรายต่อผิวหนัง 6) ด้านเสียงรบกวน ได้มีการเปลี่ยนจากพัดลมโบลเวอร์ที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นพัดลมระบายอากาศ ขนาด 12 โวลต์ (V) ที่มีมอเตอร์ขนาดเล็กทำให้ลดปัญหาเสียงมอเตอร์สั่น

คำสำคัญ : เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, พลังงานทดแทน, พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

The purposes of this research are : 1) to design and develop the heat exchangers with solar alternative energy, 2) to increase efficiency of usability of the heat exchangers with solar alternative energy, and 3) to compare the cost of electricity consumption of the animal husbandry. This research is a quantitative research by using technic from experimental research. The results of the experimental of the heat exchangers with solar alternative energy have been developed in 6 sides as follows: 1) Working time; the average of working time after develop has increased from 5 hours 16 minutes to 24 hours 18 minutes. 2) Melting ice; the average of melting time of ice is longer than before and change to all liquid state. 3) Temperature; there was a drop in temperature, it was originally a blower fan. As a results, the cooler has a higher temperature than using a 12 V fan. 4) Weight; the old blower fan has 7 kilograms. And it was developed by changing to a ventilator, the size was 12 V. It has 400 grams. As a results, the heat exchangers has a lower weight. 5) Safety; get more for safety because the cables were shielded and stored in an orderly manner, the energy used was only 12 volts, which did not have enough voltage to harm the skin. 6) Noise; it was changed from a large motor blower fan to a ventilation, the size was 12 V with a small motor, reducing vibration motor noise problems.

Keywords : Heat exchangers, Renewable energy, Solar energy

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

พลังงานจากดวงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุด ทั้งยังเป็นต้นกำเนิดของพลังงานหมุนเวียนในรูปอื่น ๆ ด้วย โดยเฉพาะ พลังงานลม พลังงานน้ำดวงอาทิตย์ปล่อยพลังงานได้มากมายมหาศาลและต่อเนื่องแทบไม่มีวันหมดสิ้น เพียงหนึ่งชั่วโมง โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของรังสีถึงประมาณ 174,000 เทระวัตต์ มนุษย์รู้จักต่อยอดการใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ได้สำเร็จ โดยสามารถใช้ในการผลิตพลังงานที่เรียกว่า “พลังงานแสงอาทิตย์” แม้จะถือว่ามีวิวัฒนาการที่ช้า แต่เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันก้าวหน้าไปมากและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลงเรื่อย ๆ ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการเติบโตสูงสุด ปัจจุบันการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในนโยบายด้านพลังงานทดแทนของภาครัฐที่ได้รับผลักดันส่งเสริมให้มีการลงทุนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในภาคเอกชน รวมทั้งภาคครัวเรือนที่ปัจจุบันสามารถจำหน่ายปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินจากระบบเข้าสู่ กฟภ. ได้แล้ว จากการวิจัยและพัฒนาของ อาทิตย์ คำต่าย และ กรณ์ปภพ รัตนวิจิตร [1] ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องปรับอากาศขนาด 25,000 BTU รุ่นเก่าให้ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานร่วมเพื่อลดการใช้พลังงานในรูปแบบเดิมโดยทำการเปลี่ยนมอเตอร์ที่ตำแหน่งคอยล์เย็นและคอยล์ร้อนจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงให้รองรับไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์และออกแบบระบบควบคุมให้สามารถทำงานร่วมกับแหล่งพลังงานเดิมที่จ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับให้คอมเพรสเซอร์โดยทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง แบ่งออกเป็นเครื่องปรับอากาศก่อนการพัฒนาปรับปรุงและหลังพัฒนาปรับปรุงใช้พลังจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานร่วม โดยเก็บผลและเปรียบเทียบการใช้พลังงานค่าประสิทธิภาพพลังงาน (EER) และจุดคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการทดลองพบว่าเครื่องปรับอากาศก่อนและหลังการพัฒนาปรับปรุงมีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2439.768 W และ 1922.46 W โดยการพัฒนาปรับปรุงให้ใช้พลังงานร่วมจากเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถประหยัดพลังงานมากกว่า

เท่ากับ 21.20% โดยมีค่าประสิทธิภาพพลังงาน (EER) เพิ่มขึ้นจาก 9.52 เป็น 12.08 และอยู่ในระดับเบอร์ 5 เมื่อเทียบกับเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงาน โดยมีต้นทุนการพัฒนาเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 8,470 บาท ถ้าเครื่องปรับอากาศเปิดใช้งานเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยภายใน 1 ปี จะสามารถประหยัดได้ค่าไฟฟ้า 6,795.96 บาท เมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศก่อนการพัฒนาปรับปรุง สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1.24 ปี จึงเป็นที่น่าสนใจในการลงทุนในกรณีสำหรับเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานมานานแต่ยังมีการทำความเย็นที่ดี และจากการวิจัยของยงยุทธ ใต้เงาสน [2] ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยทำการออกแบบและจำลองการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการทดสอบ พบว่าการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองแบบช่วยเพิ่มค่า อัตราการระเหยน้ำ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้ง อีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและ ลดอัตราการปล่อยความร้อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วยส่งผลต่อให้เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อุปกรณ์ทั้งสองชนิดสามารถลดการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งใบมะกรูดและเห็ดหู หนูดำได้ประมาณ 5 % ถึง 7 % จากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขวางที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีสมรรถนะสูงกว่าแบบเปลือกและท่อเล็กน้อยในทุก ค่าพารามิเตอร์โดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขวางสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศ ขาเข้าเครื่องอบแห้งได้สูงสุดประมาณ 35 % ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.54 % ในขณะที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้สูงสุด ประมาณ 26 % โดยส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเพิ่มได้เท่ากับ 5.81 % ตามลำดับ

จากเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการใช้งานและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าของโรงเลี้ยงแกะในชุมชน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระยะเวลาในการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2.3 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้กระแสไฟฟ้าของโรงเลี้ยงสัตว์และค่าใช้จ่ายในการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

3. ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ วัสดุ อุปกรณ์ และชิ้นส่วนประกอบ ราคาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

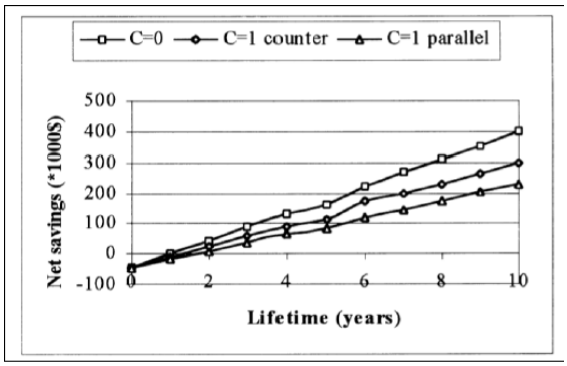
4. การทบทวนวรรณกรรม

4.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่ง ไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่งโดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน จตุพร กุลละวะนิธิวัตน์ [3] การออกแบบเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนควรต้องมีความรู้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน การส่งผ่านของ ความร้อน และค่าต่าง ๆ ทางกลศาสตร์ของไหล X. Lianzheng, M. Guoyuan, Z. Feng and W. Lei [4] ในปัจจุบันกระบวนการ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อนส่วนใหญ่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นองค์ประกอบ เช่น การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันดิบสำหรับเปลี่ยนสภาวะของไอที่ออกมาจากหอกลั่นให้เป็นของเหลว การลดอุณหภูมิของน้ำมัน หรือก๊าซ ในอุตสาหกรรมน้ำมันในทำนองเดียวกันกับในอุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเพิ่ม อุณหภูมิ ลดอุณหภูมิ หรือหมุนเวียนความร้อนจากของไหลกลับมาใช้ใหม่ วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล [5] หน้าที่หลักของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ การนำเอาพลังงานความร้อนมาใช้อย่างถูก หลักการและมี

ประสิทธิภาพ H. Noie-Baghban and R. Majideian [6] ดังนั้นวิธีใช้และเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ควรสัมพันธ์กับต้นทุนของกระบวนการและอาจมีผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์ในการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องทำอย่างระมัดระวัง ใน การเลือกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุสาหกรรมที่สำคัญ คือ ควรมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงและราคาถูก อนุสรณ์ สุขเกษม [7]

M. Soylemez [8] ได้วิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน โดยมีการนำเสนอสูตรพีชคณิตแบบง่ายสำหรับการประเมินพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำพลังงานมากลับใช้ โดยศึกษาด้วยวิธี P1 - P2 พร้อมกับวิธี Effectiveness - NTU สำหรับการวิเคราะห์ทางความร้อนเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางกัน (Countercurrent flow) กับแบบไหลทางเดียวกัน (Parallel flow) พบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Counter current flow สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า Parallel flow ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าประหยัดพลังงานสุทธิของเครื่อง

4.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับเครื่องทำความเย็น

ฉัตรชาญ ทองจับ [9] ได้กล่าวว่า การทำความเย็น คือ การทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นมี อุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิปกติ (อุณหภูมิปกติโดยเฉพาะประเทศไทยนั้น จะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ย อยู่ประมาณ 29 ถึง 30 องศาเซลเซียส ส่วนการปรับอากาศเป็นการปรับอุณหภูมิที่ทำให้บริเวณที่คนเรามีความรู้สึกสบาย ๆ โดยอุณหภูมินั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 24 ถึง 26 องศาเซลเซียส) คนจะรู้สึกว่าอากาศนั้นเย็นสบาย เป็นเพราะการปรับอากาศ จะทำให้อุณหภูมิภายในร่างกายของคนนั้นมี อุณหภูมิลดลง จึงมีความรู้สึกว่าเย็นขึ้นถ้าอุณหภูมิภายในร่างกายได้รับความร้อนมากขึ้นกว่าปกติ ก็จะรู้สึกว่าร้อนขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิของร่างกายคนเราปกตินั้นควรจะอยู่ประมาณ 37 องศาเซลเซียส

สมศักดิ์ สุโมตยกุล [10] ได้กล่าวว่า หลักการทำความเย็นในระบบที่ใช้งานแล้วให้ ประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูงก็จะถูกพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ บางระบบถ้าใช้งานแล้วมี ประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่ำก็จะถูกเลิกใช้ไป หลักการทำความเย็น ในระบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้หลายทาง เช่น แบ่งตามชนิดของตัวปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นแบ่งตามชนิดของสารทำความเย็นที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำความเย็น หรือแบ่งตามชนิดของการควบคุมมอเตอร์ระบบอัดไอ (Compression System) และระบบแอบซอรัปชัน (Absorption System) เป็นต้น ระบบการทำความเย็น มีดังนี้ 1) การทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็ง ตู้เย็นที่ใช้น้ำแข็งในการทำความเย็นพบว่าใช้กันมานานแล้ว และในปัจจุบันก็ยังใช้อยู่บ้าง ประกอบด้วยตัวตู้ซึ่งบุฉนวนกันความร้อน มีถาดหรือช่องใส่น้ำแข็งอยู่ที่ ส่วนบนของตัวตู้ ถาดนี้เจาะรูสำหรับให้น้ำล้นไหลลงสู่ถังรองน้ำทิ้งใต้ตู้ และมีชั้นสำหรับใส่อาหาร อยู่ ข้างใต้ถาดใส่น้ำแข็ง ซึ่งเป็นการทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็ง (Ice Refrigeration) เมื่อน้ำแข็งใส่ในถาด หรือช่องใส่น้ำแข็ง ขณะที่น้ำแข็งหลอมละลายกลายเป็นน้ำจะดูดรับปริมาณความร้อนจากอากาศ รอบตัวทำให้อากาศเย็นลง และมีความหนาแน่นสูงขึ้น 2) การทำความเย็นโดยใช้การระเหยตัวของน้ำ ในขณะที่ของเหลวระเหยตัวเปลี่ยนสถานะ กลายเป็นไอ จะดูดรับความร้อนแฝง 3) การทำความเย็นโดยใช้ของแข็งเป็นตัวดูดซับ การทำความเย็นโดยใช้ของแข็งเป็นตัวดูดซับ (Solid Absorbent Refrigeration) เกิดขึ้นจากการทดลองของ ไมเคิล ฟาราเดย์ และต่อมาก็ได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นโดยนำเอาของแข็งหลายๆ ชนิดมาใช้เป็นตัวกลางในการทำความเย็น แต่ทุกชนิด เป็นไปตามหลักและกฎเกณฑ์อันเกี่ยวกับการทดลองของฟาราเดย์ 4) การทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็งแห้ง (Dry Ice Refrigeration) จะใช้น้ำแข็งแห้งซึ่งทำจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสถานะของแข็งซึ่งถูกอัดขึ้นให้มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไปอาจเป็น ก้อนหรือเป็นแผ่น น้ำแข็งแห้งจะเปลี่ยนสถานะโดยตรงจากของแข็งเป็นแก๊ส

โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ ให้เป็นของเหลวเสียก่อน การเปลี่ยนสถานะในลักษณะ นี้เรียกว่า การระเหิด ที่ความดันบรรยากาศ น้ำแข็งแห้งจะมีอุณหภูมิต่ำถึง 78 องศาเซลเซียส

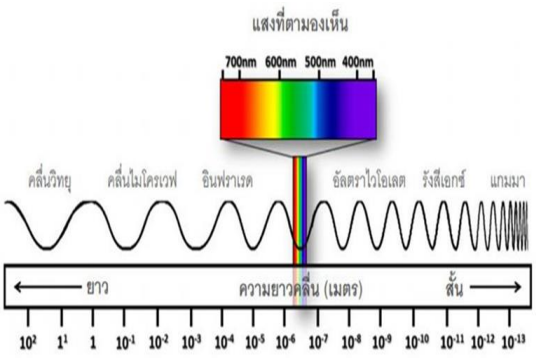
4.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับพลังงานทดแทน

ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาขอนแก่น [11] พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า “พลังงานสิ้นเปลือง” ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะศักยภาพ และสถานภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทน การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่น ๆ เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม

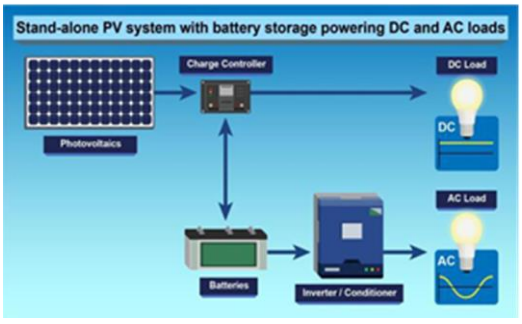
พศวัต โพธิ์ศรี [12] พลังงานทดแทน หมายถึงพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและสามารถมีทดแทนได้อย่างไม่จำกัด (เมื่อเทียบกับพลังงานหลักในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน) ตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ไบโอฟิล พลังงานน้ำ ขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น และพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากกระบวนการชีวภาพเช่น บ่อก๊าซชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.3 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [13] พลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึง รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงโลก พลังงานนี้สามารถแปลงเป็นความร้อนและไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ “พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)” เป็นภาษาละตินและแปลว่า “เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์” หากปราศจากแหล่งพลังงานอันทรงพลังนี้ก็จะไม่มีสิ่งมีชีวิต พลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนเนื่องจากมีปริมาณมาก ดังนี้ 1) สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ว่า ในแต่ละส่วนของสเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์มีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน แสงในส่วนที่มองเห็นได้ของสเปกตรัมแสงสีแดงจะมีพลังงานต่ำสุดและมีแสงสีม่วงพลังงานสูงสุด ในส่วนของแสงที่มองไม่เห็นของสเปกตรัม โฟตอนในช่วงอัลตราไวโอเลตซึ่งทำให้ผิวเป็นสีแทน มีพลังงานมากกว่าช่วงแสงที่มองเห็นได้แสงในช่วงที่อินฟาเรด มีพลังงานน้อยกว่าโฟตอนในพื้นที่ที่มองเห็นการเคลื่อนที่ของแสงจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนั้นสามารถอธิบายได้ดีที่สุดว่าเป็นการเคลื่อนที่ของคลื่นและชนิดของการแผ่รังสีแต่แบบสามารถอธิบายโดยความยาวคลื่น ความยาวคลื่นคือระยะทางจากจุดสูงสุดของคลื่นหนึ่งไปถึงจุดสูงสุดของลูกคลื่นลูกถัดไป การแสดงการแผ่รังสีปริมาณพลังงานที่แตกต่างกัน ยิ่งความยาวคลื่นมากเท่าไหร่ก็ยิ่งใช้พลังงานน้อยเท่านั้น ตัวอย่างเช่น แสงสีแดงมีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าดังนั้นจะมีพลังงานน้อยกว่าแสงสีม่วง ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระทำงานร่วมกันกับแบตเตอรี่

4.4 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับต้นทุนและต้นทุนการผลิต

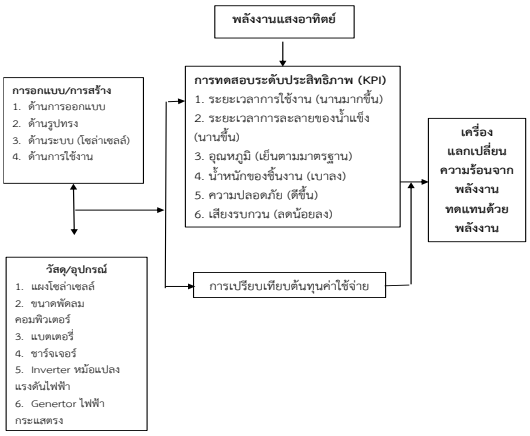
มนวิกา ผดุงสิทธิ์ [14] กล่าวไว้ว่า ต้นทุน (Cost) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่องค์กรใช้ประโยชน์เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ได้กำหนดไว้ เช่น ต้นทุนของวัตถุดิบและแรงงานที่เกิดขึ้นเพื่อผลิตสินค้าหรือบริการ และเมื่อต้นทุนได้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อธุรกิจแล้ว ต้นทุนส่วนนั้นจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นค่าใช้จ่าย (Expense) ซึ่งจะนำไปหักจากรายได้ในแต่ละงวดบัญชี

โสรญา ม่วงกรุง [15] ให้ความหมายของคำว่า ต้นทุนการผลิต หมายถึง ต้นทุนที่ทำให้ได้สินค้าสำเร็จรูปใด ๆ ประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรง ที่เบิกใช้ในการผลิต แรงงานทางตรงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการผลิต เมื่อทั้ง 3 ส่วนประกอบ ได้เข้าสู่ขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิตก็จะถูกแปรสภาพเป็นสินค้าสำเร็จรูป โดยการจำแนกประเภทต้นทุนแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนตามระยะเวลา ต้นทุนตามลักษณะการดำเนินงาน ต้นทุนตามส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนตามปริมาณกิจกรรม ต้นทุนเพื่อการควบคุมและวัดผลการปฏิบัติงาน ต้นทุนเพื่อการตัดสินใจ

เบญจมาศ อภิสิทธิ์ภิญโญ [16] กล่าวไว้ว่า ต้นทุนการผลิต (Manufacturing Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการผลิตเพื่อแปรสภาพวัตถุดิบให้เป็นสินค้า ซึ่งปกติต้นทุนการผลิตจะเกิดขึ้นในธุรกิจผลิตสินค้าเท่านั้น เช่น วัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิต

5. กรอบแนวคิดการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาจากเอกสาร ตำรา แนวคิดทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำมาประมวลผลเป็นกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้

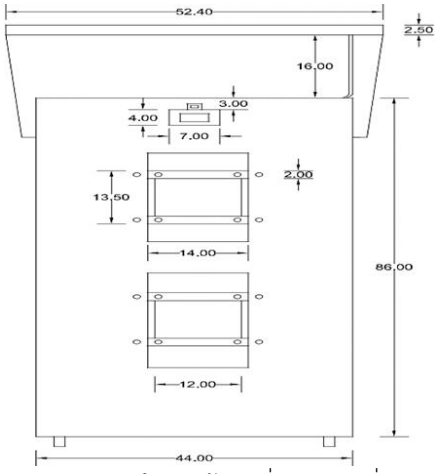


รูปที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

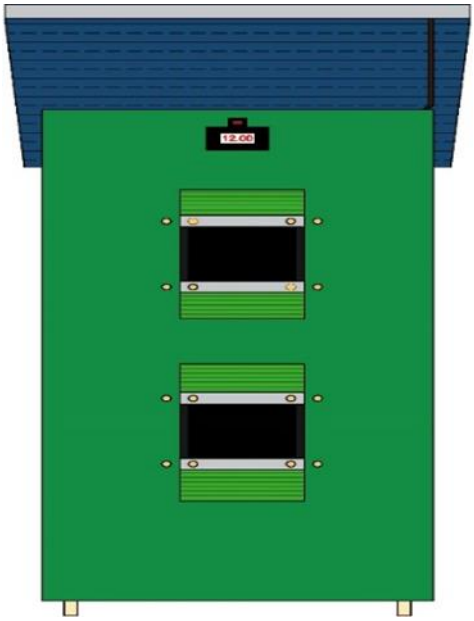
6. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงปริมาณ ที่มุ่งเน้นจะได้ข้อมูลในลักษณะเชิงตัวเลข และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาคุณภาพ เพื่อนำมาพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้หลักการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบของพลังงานความร้อนป้อนเข้าสู่กระบวนการทำความเย็นโดยความร้อน (Thermally-Driven Cooling Process) ด้วยการดูดซึมน้ำเย็น (Chilled water) จากกล่องความเย็นด้านล่างขึ้นด้านบนออกมาเพื่อใช้ในการทำความเย็นสู่ภายนอกตามลำดับ จากการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีทำให้คณะผู้วิจัยได้คิดค้นและออกแบบเครื่องและแนวทางการดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

6.1 ออกแบบโครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5 และ 6



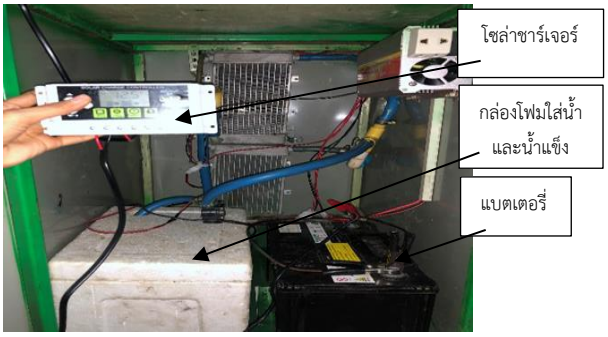
รูปที่ 5 การออกแบบโครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 6 โครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

6.2 สร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 การประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในตัวเครื่อง



รูปที่ 8 การต่อสายไฟเข้ากับระบบแผงโซล่าเซลล์

6.3 ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 การทดสอบการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

6.4 สรุปผลการทดสอบและการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

6.5 เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

6.6 จัดทำรูปเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์

7. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 1 แสดงการทดลองประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยกระบวนการสร้างพลังงานทดแทนโดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ (V) 80 แอมป์ ใช้แรงดันในการใช้งาน 220 โวลต์ (V)

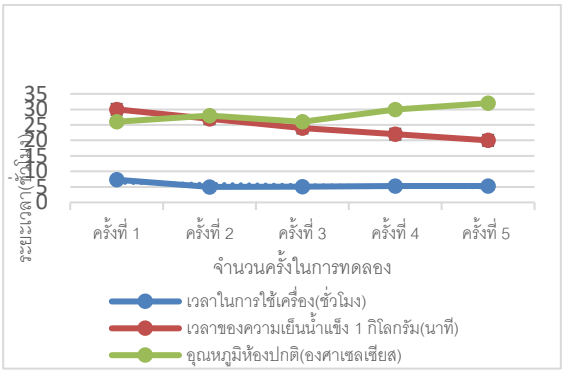
การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{x}$
ระยะเวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)	7.30	5	5.10	5.24	5.30	5.16
ระยะเวลาของความเย็น(นาที)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30	25
อุณหภูมิห้องปกติ (℃)	26–32	26–32	26–32	26–32	26–32	29

จากตารางที่ 1 มีการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเฉลี่ย 5 ชั่วโมง 16 นาที จากการทดลองทั้ง 5 ครั้ง พบว่าการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำสามารถผลิตไฟฟ้าได้จริง แต่ยังมีปัญหาเกี่ยวกับตัวพัดลมโบลเวอร์แอร์ที่ใช้กำลังไฟที่ 220 โวลต์ (V) ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองชนิดมีการทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ โดยระยะเวลาของความเย็นที่ใส่น้ำแข็งปริมาณ 1 กิโลกรัม ด้วยการระยะเวลาระหว่าง 20-30 นาที มีเวลาเฉลี่ย 25 นาที ด้วยการจับเวลาตั้งแต่เริ่มใส่น้ำแข็งจนละลายเป็นน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติ และระหว่างอุณหภูมิ 26-32 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับความเย็นที่ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 10

ตารางที่ 2 แสดงการทดลองประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ (V) 80 แอมป์ ใช้แรงดันในการใช้งาน 12 โวลต์ (V)

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{x}$
ระยะเวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)	24.30	24	24.10	24.25	24.30	24.18
ระยะเวลาของความเย็น (นาที)	20–30	20–30	20–30	20–30	20–30	25
อุณหภูมิห้องปกติ (℃)	26–32	26–32	26–32	26–32	26–32	29

จากตารางที่ 2 มีการใช้งานของเครื่องเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 18 นาที จากการทดลองทั้ง 5 ครั้ง พบว่าระยะเวลาของความเย็นที่ใส่น้ำแข็งปริมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งระยะเวลาระหว่าง 20-30 นาที มีเวลาเฉลี่ย 25 นาที จากการจับเวลาตั้งแต่เริ่มใส่น้ำแข็งจนละลายเป็นน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติ และระหว่างอุณหภูมิ 26-32 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับความเย็นที่ลดลงตามลำดับ



รูปที่ 10 การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยพลังงานทดแทนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การพัฒนา	เก่า	ใหม่	สรุป
น้ำหนัก	มีน้ำหนักมาก	มีน้ำหนักเบาลง	เนื่องจากเปลี่ยนจากพัดลมโบลเวอร์แอร์ที่มีขนาดใหญ่เป็นพัดลมระบายอากาศ ขนาด 12 โวลต์ที่ทำความเย็นแทนกันได้จึงทำให้มีน้ำหนักที่เบาลง
ความปลอดภัย	ไม่มีความปลอดภัย ไม่เก็บสายไฟ	มีความปลอดภัยมากขึ้น	จากเดิมสายไฟห้อยตามตัวเครื่องขาดความปลอดภัยจึงปรับเป็นหุ้มสายไฟและจัดเก็บสายไฟให้เป็นระบบมีความปลอดภัยต่อการใช้งานมากขึ้น
เสียงรบกวน	เสียงดังจากมอเตอร์ของพัดลมโบลเวอร์แอร์	เสียงรบกวนลดลง	เมื่อเปลี่ยนจากพัดลมโบลเวอร์แอร์เป็นพัดลมระบายอากาศ ขนาด 12 โวลต์แล้วทำให้ไม่มีเสียงรบกวนจากมอเตอร์

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยพลังงานทดแทนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

รายการ	ขนาด	จำนวนที่ใช้ต่อหน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคาผลิตรวม	ราคาตลาด
พัดลมแอร์โบลเวอร์	DIY 220 โวลต์	1 ตัว	800	800	-
แผงโซล่าเซลล์	55 วัตต์ 12 โวลต์	1 แผง	1,390	1,390	2,200
พัดลมแอร์ใช้ไฟฟ้า	-	1 ตัว	-	-	3,800
ชาร์จเจอร์	-	1 เครื่อง	690	690	-
พัดลม	12 นิ้ว	2 ตัว	350	700	-
สายไฟ	-	5 เมตร	10	50	-
ลวดเชื่อม	0.0024 เมตร	1 กิโลกรัม	360	360	-
ใบเลื่อยสายพาน	1.5 เมตร	1 ใบ	700	700	-
อลูมิเนียมเส้น	0.054 เมตร	1 เส้น	160	160	-
เหล็กแผ่นติดบานพับ	6 เมตร	1 เส้น	100	100	-
เหล็กเพลา	0.009 เมตร	1 เส้น	70	70	-
ใบเจีย	4 นิ้ว	1 ใบ	20	20	-
หน้ากากเชื่อม	-	1 อัน	170	170	-
ไส้ไก่พันสายไฟ	-	5 เมตร	12	60	-
ปลั๊กขั้วต่อสายไฟ	-	4 ตัว	10	40	-
เทฟอคริลิค	-	1 อัน	47	47	-
รีเวท	0.006 เมตร	12 ตัว	5	60	-
น็อตสกรูเกลียวปล่อย	0.006 เมตร	16 ตัว	3	48	-
รวม				**5,465**	**6,300**

จากการเปรียบเทียบเทียบต้นทุนการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้ในพื้นที่โรงเลี้ยงแกะขนาดกว้าง 3 เมตร x ยาว 4 เมตร เท่ากับ 12 ตารางเมตร จากเดิมมีค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าประมาณ 1,500 บาทต่อเดือน เมื่อได้มีการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นใหม่มาใช้งาน จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเดือนลดลงร้อยละ 20

8. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการวิจัยพบว่า

ด้านระยะเวลาในการทำงาน มีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ยนานกว่าเดิมจาก 5 ชั่วโมง 16 นาที และเมื่อมีการพัฒนาแล้ว มีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 18 นาที เนื่องจากใช้พลังงานที่น้อยกว่าและสามารถชาร์จพลังงานเพิ่มจากพลังงานแสงอาทิตยได้

ด้านอุณหภูมิ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิที่ลดลงเนื่องจากเดิมเป็นพัดลมโบลเวอร์ที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ ส่งผลให้การทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ ที่มีมอเตอร์ขนาดเล็กและอาจมากขึ้นหรือน้อยลงตามอุณหภูมิห้อง

ด้านน้ำหนักตัวเครื่อง จากตัวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเดิมใช้พัดลมโบลเวอร์ซึ่งมีน้ำหนัก 7 กิโลกรัม ซึ่งส่งผลให้ตัวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีน้ำหนักที่มาก และเมื่อได้มีการพัฒนาโดยการเปลี่ยนเป็นพัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ ซึ่งมีน้ำหนักเพียง 400 กรัม จึงส่งผลให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีน้ำหนักที่เบาลงและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกมากขึ้น

ด้านความปลอดภัย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้มีการเปลี่ยนจากการใช้ระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ เป็นระบบไฟฟ้า 12 โวลต์ ซึ่งไม่มีแรงดันไฟฟ้ามากพอที่จะอันตรายต่อผิวหนังและได้มีการเก็บหุ้มสายไฟ การจัดเก็บสายไฟให้เป็นระบบจะทำให้มีความปลอดภัยต่อการใช้งานมากขึ้น

ด้านเสียงรบกวน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้มีการเปลี่ยนจากพัดลมโบลเวอร์ที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่มาเป็นพัดลม

ระบายอากาศ ขนาด 12 โวลต์ ทำให้มีเสียงรบกวนจากการทำงานของมอเตอร์ที่ลดลงจากเดิม

ในกรณีไม่มีแสงอาทิตย์แบตเตอรี่สามารถจ่ายไฟให้กับตัวเครื่องทำงานได้เท่ากับกำลังในการประจุแบตเตอรี่ เมื่อหมดแล้วการทำงานก็จะหยุดลง ในกรณีที่มีแสงอาทิตย์แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายไฟให้ได้ตลอดเวลา และสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากการใช้เครื่องแอร์พัดลมไฟฟ้าเหลือเพียง 5,465 บาท

9. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

9.1 จากการวิจัยครั้งนี้ภาชนะบรรจุน้ำแข็งเก็บความเย็นได้ค่อนข้างน้อย ควรเพิ่มอุปกรณ์ที่สามารถทำความเย็นได้ตลอดเวลาที่ใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

9.2 ควรศึกษาและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบอัจฉริยะ เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าเสียเวลาและต้นทุนค่าเสียโอกาสในการดำเนินงานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม

10. เอกสารอ้างอิง

[1] K. Arthit and R.Kornpapop. (2021, October 1) Development of air conditioners using co-energy from solar cells. [online]. Available: https://tdcthailis.or.th

[2] T. Yongyoot. “Development of Suitable Heat Ecchangers for Efficiency Enhancement of Dryer for Agicultural Product” M.Eng. dissertation, College of Renewable energy, Mae Jo University, 2021 (in Thai).

[3] K. Jatuporn. “The Design of Control Structure of Heat Exchanger Network” M.Eng. dissertation, Faculty of Engineer, Chulalongkorn University, (2001) (in Thai).

[4] X. Lianzheng, M. Guoyuan, Z. Feng and W Lei. (2021, October 10). Operation characteristics of air–air heat pipe inserted plate heat exchanger for heat recovery. [online]. Available: https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsenergylett.7b00980#

[5] T. Wiwat, *Industrial heat exchanger*. Bangkok: Faculty of Engineer, Chulalongkorn University, Publisher, 2007 p.11 (in Thai).

[6] S.H. Noie-Baghban and G.R. Majideian. (2021, October 10). Waste Heat Recovery using heat pipe Heat Exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals. [online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/223481375

[7] S. Anusorn, “The Study on Heat Transfer byInduction of Cylindrical Fins” M.Eng. dissertation, Faculty of Engineer, Srinakharinwirot University, 2007 (in Thai).

[8] M. S. Soylemez. (2021, October 10). On the optimum heat exchanger sizing for heat recovery. [online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/245159456

[9] T. Chatchan, *Refirgeration and air conditioning*. Pathunthani: Skybook, 2015, p. 7 (in Thai).

[10] S. Somsak, *Refirgeration and air conditioning*. Bangkok: SE-ED Publisher, 2016, p. 43 (in Thai).

[11] Sciene Center for Education Khonkaen, (2021, October 17). Definition of renewable energy. [online]. Available: http://kksci.com/elreaning/prarang_t/e- tan.htm

[12] P. Phasawat, (2021, October 1). Definition of renewable energy. [online]. Available: https://sites.google.com/site/possawatt/phlangngan-cak-khya

[13] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, (2021, November 4). Power generation from solar energy. [online]. Available:https://webkc.dede.go.th/testmax/kb01-list

[14] P. Monvika. *Cost Accounting.* Bangkok: Physics Center, 2013 (in Thai).

[15] M. Soraya. *Production Cost*. Bangkok: Srinakharinwirot University Publisher, 2014 (in Thai).

[16] A. Benjamart. *Introduction Cost Accounting*. Bangkok: SE-ED Publisher, 2013 (in Thai).