

Received: August 4, 2022; Revised: September 22, 2022; Accepted: September 28, 2022

การออกแบบและการพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ Design and development of compressor ice cream maker machine

เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา¹ ชณัฐ วิพัทธะพร¹ รณพร เสนาสุธรรม¹ และสุพรรณ ยั่งยืน^{1*}
Cherdpong Chiewchanwattana¹, Chanat Vipattanaporn¹, Ranaporn Senasutham¹ and
Suphan Yangyuen^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

*Corresponding Author E-mail Address : suphan.y@msu.ac.th

บทคัดย่อ

ไอศกรีมเป็นของหวานที่ได้รับความนิยม การผลิตไอศกรีมให้ได้คุณภาพนั้นนอกจากรสชาติที่ดีแล้วจะต้องพิจารณาถึงเนื้อสัมผัสไอศกรีมที่เนียนนุ่มฟูน่ารับประทานด้วย แต่ด้วยข้อจำกัดของวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมที่มีความยุ่งยากและต้นทุนด้านเทคโนโลยีในท้องตลาดที่สูง จึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ในการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิต ช่วยประหยัดต้นทุนทั้งในด้านวัตถุดิบและแรงงาน โดยมีปัจจัยการศึกษา ได้แก่ ความดันสารทำความเย็น 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จำนวนท่อแคปพิลารีที่วับ 2 ระดับ คือ 1 และ 2 ท่อ มีปัจจัยควบคุม ได้แก่ สารทำความเย็นชนิด R-404a ระยะเวลาการผลิตไอศกรีมเท่ากับ 60 นาทีต่อรอบการผลิต ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 140 รอบต่อนาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร และความยาวแคปพิลารีที่วับเท่ากับ 3,352.8 มิลลิเมตร มีค่าชี้ผลการศึกษา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไอศกรีม และการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องฯ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะการผลิตไอศกรีมที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็น 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จำนวนแคปพิลารีที่วับ 2 ท่อ สามารถลดอุณหภูมิสารละลายไอศกรีมจนเริ่มจับตัวกันเท่ากับ -20.35 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการทำงานเท่ากับ 46 นาที สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำที่สุดเท่ากับ -23.45 องศาเซลเซียส โดยได้คุณภาพของเนื้อไอศกรีมเนียนนุ่มฟูตามความต้องการ และผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า มีจุดคุ้มทุนในการทำงาน 639.8 ชั่วโมงต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.9 ปี เมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานของเครื่องฯ ที่ 2,400 ชั่วโมงต่อปี

คำสำคัญ: ไอศกรีม เครื่องผลิตไอศกรีม ระบบคอมเพรสเซอร์ แคปพิลารีที่วับ

Abstract

Ice cream is a very popular dessert. High-quality ice cream production should consider deliciousness, texture, smoothness, and fluffiness. However, traditional production methods are complicated, and the ice cream making technology has remained expensive. Therefore, the objective of this study is to design and develop an ice cream maker with a compressor system to strengthen production capacity and reduce raw materials and labor costs. The independent variables were the refrigerant pressure levels (10, 15 and 20 psi), quantities of capillary tubes (1 and 2 tubes), controlled by a type R-404a refrigerant, while the ice cream production time was 60 minutes per cycle. The speed of the motor was 140 rpm, while the capillary tube had a diameter of 0.7 mm and length of 3,352.8 mm. From the studies of changes in the ice cream temperature and analysis of the engineering economics of the machines, the results have shown that, with ice cream production conditions at a refrigerant pressure of 20 psi, the condition of two capillary tubes reduced the temperature of the ice cream solution until coagulation took place at -20.35°C after operating for 46 mins. The temperature could be as low as -23.45°C and still achieve good quality ice cream. From the engineering economics perspective, the findings of this study revealed that soft and fluffy ice cream on demand has a breakeven point of 639.8 hours per year and a payback period of 0.9 years when the machine is operated for 2,400 hours per year.

Keywords: Ice cream, Ice cream maker machine, Compressor system, Capillary tube

บทนำ

ไอศกรีมเป็นของหวานที่ให้ความรู้สึกสดชื่นเหมาะกับประเทศไทยที่มีสภาพอากาศร้อนเป็นส่วนมากตลอดทั้งปี ส่งผลให้ความต้องการบริโภคไอศกรีมเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้น โดยมูลค่าตลาดไอศกรีมในประเทศไทยมีมูลค่า 16,500 ล้านบาท เมื่อปี 2557 และเพิ่มเป็น 17,500 ล้านบาท ในปี 2558 (ปานทิพย์, 2560) อัตราการบริโภคไอศกรีมของประเทศไทย 2 ลิตร/คน/ปี มาเลเซีย 2.5 ลิตร/คน/ปี สิงคโปร์ 5-6 ลิตร/คน/ปี และสหรัฐอเมริกา 15 ลิตร/คน/ปี (มนตรี, 2559) และการบริโภคทั่วโลกคิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณของหวาน (วนิดา, 2559) ปัจจุบันกระบวนการการผลิตไอศกรีมมี 2 วิธี คือ การใช้ถังผลิตที่ใช้น้ำแข็งกับเกล็ดเม็ด และการผลิตที่ใช้ระบบคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกระบวนการการผลิตไอศกรีมมี 2 วิธีนี้ส่งผลให้ได้ผลผลิตของไอศกรีมที่แตกต่างกัน

กระบวนการการผลิตไอศกรีมแบบดั้งเดิมยังเป็นการใช้ถังผลิตที่ใช้น้ำแข็งกับเกล็ดเม็ดในปริมาณ 3 ต่อ 1 หน่วย ระยะเวลาในการผลิตขึ้นรูปประมาณ 20-30 นาที ซึ่งจะสามารถผลิตได้ครั้งละ 4 กิโลกรัม/ครั้ง จากการสำรวจเก็บข้อมูลพบว่าการใช้เครื่องผลิตแบบดั้งเดิมที่ใช้น้ำแข็งกับเกล็ดเม็ด มีข้อจำกัดเรื่องปริมาณความเย็นที่ไม่ต่อเนื่องในการผลิตไอศกรีมอีกทั้งขั้นตอนในการเตรียมเครื่องผลิตไอศกรีมมีความยุ่งยาก อาทิ การทูนน้ำแข็งให้ละเอียด การเปลี่ยนวัสดุทำความเย็นในแต่ละรอบการผลิต ฯลฯ เนื่องจากปริมาณความเย็นขึ้นอยู่กับการละลายของน้ำแข็ง ซึ่งการเติมเกล็ดเป็นการเร่งการละลายของน้ำแข็งที่มีฤทธิ์ในการกักความร้อนสูงทำให้อุปกรณ์เกิดสนิมและอาจมีการปนเปื้อนในไอศกรีมที่ผลิตได้ รวมถึงการส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาของ วรุดติ และสันติสุข (2561) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมโดยใช้ระบบคอมเพรสเซอร์ เพื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม

สำหรับการผลิตไอศกรีมที่สามารถใช้งานได้จริงในระดับวิสาหกิจชุมชน แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของประสิทธิภาพและการรักษาคุณภาพของการผลิตไอศกรีมไม่คงที่ อีกทั้งการใช้งานที่ยุ่ยากหลายขั้นตอน

จากประเด็นปัญหาและความสำคัญดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องฯ ที่สามารถใช้งานได้จริงในระดับวิสาหกิจชุมชน เพื่อช่วยลดต้นทุน พัฒนาระบบการผลิตในด้านการลดระยะเวลาในการผลิต เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ป้องกันการปนเปื้อนที่ส่งผลเสียต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเพิ่มฟังก์ชันในการควบคุมเพื่อความสะดวกและทันสมัยมากยิ่งขึ้นเพื่อให้วิสาหกิจชุมชนได้มีนวัตกรรมและองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ต่อยอดพัฒนาได้อย่างยั่งยืน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

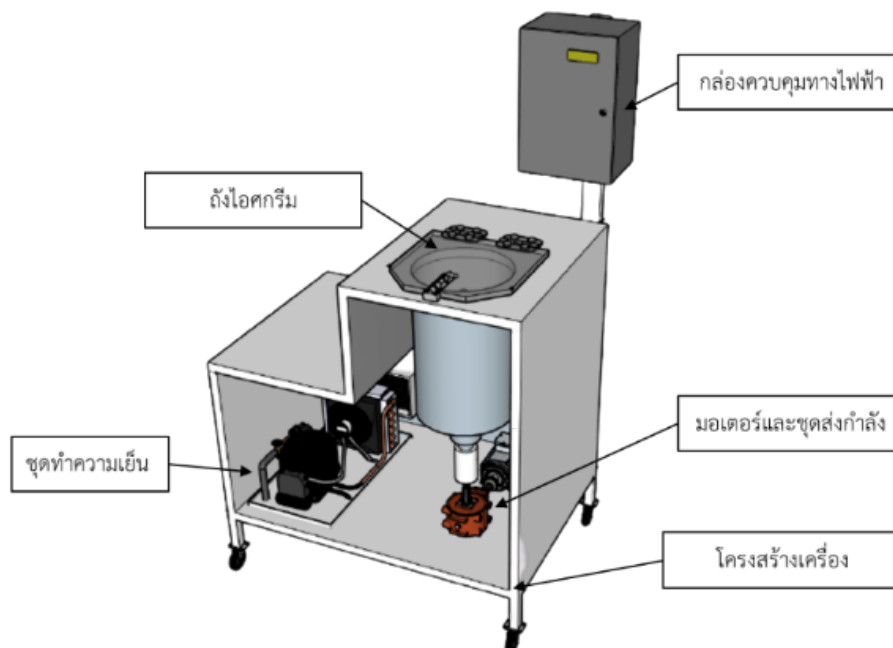
รายละเอียดในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ในระดับวิสาหกิจชุมชนโดยมีเงื่อนไขในการออกแบบ และส่วนประกอบหลักในหัวข้อที่ 1 และ 2 ดังนี้

1. เงื่อนไขการออกแบบ

เครื่องผลิตไอศกรีมที่ไม่ใช้น้ำแข็งกับเกล็ดเม็ดในกระบวนการผลิต ทำความเย็นด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ โดยมีกำลังผลิตไอศกรีมขนาด 4 ลิตรต่อรอบ

2. แบบร่างเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

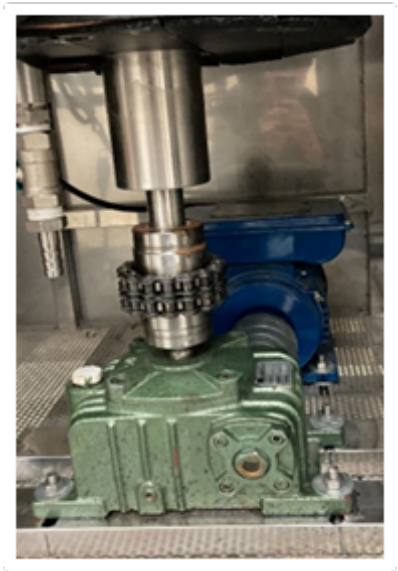
ในส่วนของแบบร่างจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ ที่ใช้สำหรับการสร้างและพัฒนา แบบร่างไอโซเมตริกเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ ดังรูปที่ 1 โดยมีส่วนประกอบหลักได้แก่ โครงสร้าง มอเตอร์ชุดส่งกำลัง ชุดระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ถึงทำความเย็นไอศกรีมพร้อมใบกวน และกล่องควบคุมทางไฟฟ้า รายละเอียดในการออกแบบมีดังนี้



รูปที่ 1 แบบร่างไอโซเมตริกเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

2.1 โครงสร้างผลิตจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 นำมาเชื่อมติดกันลักษณะคล้ายตัว L โดยมีขนาดกว้าง 610 มิลลิเมตร ยาว 880 มิลลิเมตร สูง 800 มิลลิเมตร ติดตั้งล้ออิสระ 4 ล้อ เพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย ในส่วนบนของโครงสร้าง ติดตั้งชุดกล่องควบคุมทางไฟฟ้า

2.2 มอเตอร์และชุดส่งกำลังประกอบไปด้วย มอเตอร์ที่ความเร็วรอบที่ 1,400 รอบต่อนาที ต่อเข้ากับชุดเกียร์บ็อกซ์ อัตราทด 1:10 ความเร็วรอบของเพลาใบกวนเท่ากับ 140 รอบต่อนาที ส่งกำลังไปยังใบกวนด้วยชุดคัปปลิงโซ่ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 มอเตอร์และระบบส่งกำลังโดยใช้เกียร์บ็อกซ์

2.3 ชุดทำความเย็นระบบอัดไอเป็นระบบทำความเย็นแบบอัดสารทำความเย็นด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ โดยใช้สารทำความเย็นชนิด R404a ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ คอยล์เย็น คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชุดทำความเย็นด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

2.4 แคปิลารีทิวบ์ (Capillary tube) ที่ระดับปัจจัย 2 ระดับได้แก่ 1 และ 2 ท่อ กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร และ 3,352.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีลักษณะการเสริมจำนวนท่อแคปิลารีทิวบ์จาก 1 เป็น 2 ท่อโดยการเชื่อมและมีลักษณะการติดตั้ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะการเสริมจำนวนและการติดตั้งของแคปิลารีทิวบ์ (Capillary tube)

2.5 ถังทำความเย็นไอศกรีมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 250 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 264 มิลลิเมตร ความลึก 3950 มิลลิเมตร ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และหุ้มด้วยแผ่นฉนวนเพื่อกักเก็บความเย็น มีฝาปิดลักษณะใสสามารถมองเห็นได้ทำมาจากแผ่นอะคริลิกหนา 10 มิลลิเมตร ภายในถังทำความเย็นไอศกรีมมีชุดใบกวน 2 ใบ ต่อกับแกนหมุน โดยโครงทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม และใบกวนทำมาจากพลาสติกแข็งเกรดอาหาร ดังรูปที่ 5 (ก) และ (ข)



(ก) ถังไอศกรีมติดตั้งฉนวน



(ข) ภายในถังทำความเย็นและใบกวนไอศกรีม

รูปที่ 5 ลักษณะภายนอก-ภายในของถังทำความเย็นและใบกวนไอศกรีม

รูปที่ 6 แสดงเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น มีโครงสร้างที่แข็งแรง ปลอดภัย ได้มาตรฐาน มีระบบการใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนสะดวกต่อการใช้งาน โดยมีรายละเอียดภาพรวมของเครื่องฯ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำความเย็นของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์โดยมีรายละเอียดเครื่องมือและอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการทดลอง ดังนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

1.2 เทอร์โมคัปเปิล ใช้วัดอุณหภูมิเพื่อสารทำความเย็นที่หมุนรอบถังไอศกรีม

1.3 เครื่องวัดอุณหภูมิด้วยอินฟราเรด ใช้วัดอุณหภูมิภายในถังโดยการวัดบริเวณเนื้อไอศกรีม

1.4 มัลติมิเตอร์ สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ และมอเตอร์

1.5 แคปิลลารีทิวบ์ (Capillary tube) ที่ระดับปัจจัย 2 ระดับได้แก่ 1 และ 2 ท่อ โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวแคปิลลารีทิวบ์เท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร และ 3,352.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ

1.6 สารทำความเย็น ชนิด R404a ระดับปัจจัยความดัน 3 ระดับ ได้แก่ 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 เตรียมเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

2.2 เตรียมสารละลายส่วนผสมของไอศกรีม โดยลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส และตวงให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 4 กิโลกรัม และนำเข้าสู่ถังทำความเย็นเพื่อผลิตไอศกรีม

2.3 เริ่มเปิดเครื่องเพื่อทำการผลิตโดยทำการวัดอุณหภูมิและจดบันทึก ณ บริเวณรอบถัง และเนื้อไอศกรีม ทุก 2 นาที จนสิ้นสุดกระบวนการผลิตโดยกำหนดไว้ที่ 60 นาที

การศึกษาวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1. การวิเคราะห์และประเมินต้นทุนโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินต้นทุนโดยรวม ด้านค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องโดยพิจารณาจาก เกษตรกรหรือผู้ประกอบการ วิชาทฤษฎีต้นทุนซื้อเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แทนการผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมประกอบด้วย ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคา (คือค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องเท่ากับ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิตไอศกรีม สำหรับวิเคราะห์จะไม่คิดในส่วนของคุณค่าภาษี ค่าประกันภัย ค่าจ้างขนย้ายเครื่องฯ และค่าโรงเรือน เป็นต้น สำหรับต้นทุนผันแปรซึ่งเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิตไอศกรีม ได้แก่ ค่าวัตถุดิบส่วนผสม ค่าจ้างแรงงานเพื่อทำงานร่วมกับเครื่องฯ ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าซ่อมแซม เป็นต้น (Hunt, 2008)

2. การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ว่าใช้ระยะเวลาเท่าไรเมื่อลงทุนในการซื้อหรือสร้างเครื่องฯ โดยจะพิจารณาการได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะเวลา 1 ปี คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$PBP = \left(\frac{P}{R} \right) \quad (1)$$

PBP = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

P = ราคาเครื่องจักร (บาท)

R = กำไรสุทธิ (บาทต่อปี)

3. การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (Break-even point)

เป็นการคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการทำงานของเครื่องฯต่อปีโดยคิดเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตไอศกรีม ระหว่างแรงงานคนกับเครื่องที่สร้างขึ้น โดยพิจารณาจากต้นทุนในการทำงานโดยใช้แรงงานคนเท่ากับต้นทุนในการทำงานโดยใช้เครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$BEP = \left(\frac{F_c}{B - VC} \right) \quad (2)$$

BEP = จุดคุ้มทุน (ชั่วโมงต่อปี)

F_c = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

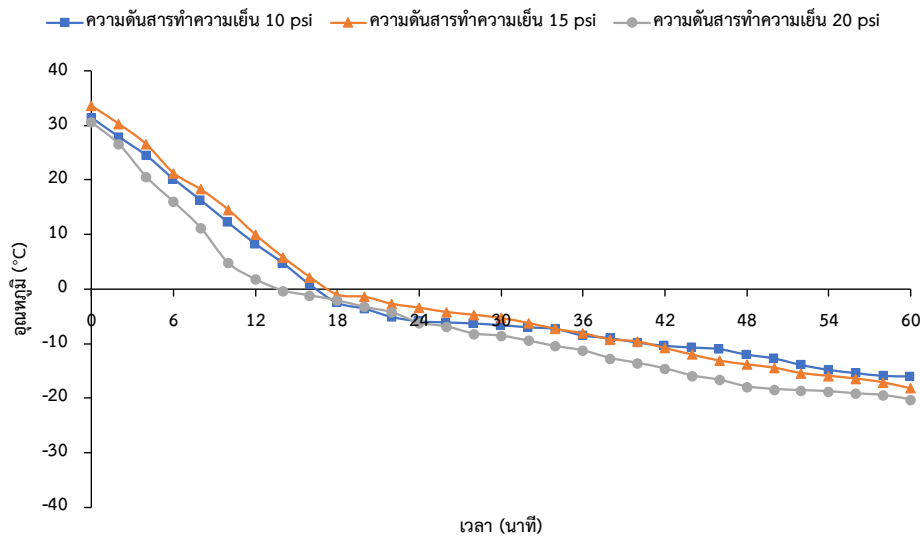
B = อัตราการรับจ้าง (บาทต่อชั่วโมง)

VC = ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาทต่อชั่วโมง)

ผลการวิจัย

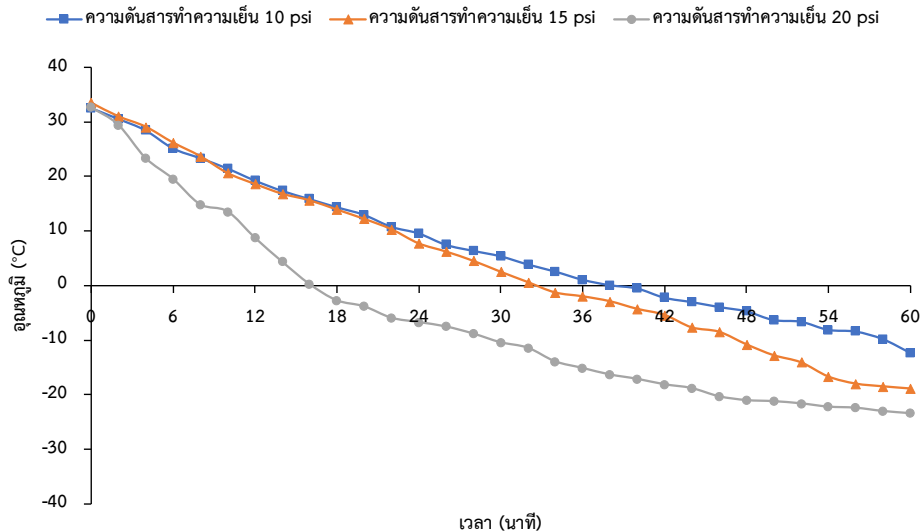
ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

ผลการศึกษาการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องผลิตระบบคอมเพรสเซอร์ ที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นเท่ากับ 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปัจจัยของจำนวนแคปพิลารีที่วับแบบ 1 ท่อ จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพและข้อมูลค่าชี้ผล พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และลักษณะทางกายภาพของสารละลายไอศกรีมมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการทำงานของเครื่องฯ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบพบว่า ที่แต่ละระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นอุณหภูมิสุดท้ายของไอศกรีมมีค่าเท่ากับ -15.98 -18.18 และ -20.28 องศาเซลเซียส โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมจากการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของไอศกรีมที่เปลี่ยนแปลงไปใน 60 นาที ที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็น 10, 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ระดับปัจจัยแคปพิลารีที่วับแบบ แบบ 1 ท่อ

ผลการทดสอบการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องผลิตระบบคอมเพรสเซอร์ แต่ละระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นเท่ากับ 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปัจจัยของจำนวนแคปพิลารีที่วับแบบ 2 ท่อ จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพและข้อมูลค่าชี้ผล พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และลักษณะทางกายภาพของสารละลายไอศกรีมมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการทำงานของเครื่องฯ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบพบว่า ที่แต่ละระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นอุณหภูมิสุดท้ายของไอศกรีมมีค่าเท่ากับ -12.28 -18.88 และ -23.45 องศาเซลเซียส โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมจากการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของไอศกรีมที่เปลี่ยนแปลงไปใน 60 นาที ที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็น 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ระดับปัจจัยแคปพิลารีหัวแบบ 2 ท่อ

ผลข้อมูลลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมที่ได้จากเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิตตามระยะเวลาที่กำหนด เมื่อเพิ่มระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุด) ที่ระดับปัจจัยจำนวนแคปพิลารีหัวแบบ 1 ท่อ เมื่อระยะเวลาการผลิตเท่ากับ 56 นาที ระดับอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมเท่ากับ -19.18 องศาเซลเซียส และระดับปัจจัยจำนวนแคปพิลารีหัวแบบ 2 ท่อ เมื่อระยะเวลาการผลิตเท่ากับ 46 นาที ระดับอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมเท่ากับ -20.35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า ณ ระยะเวลาและอุณหภูมิของไอศกรีมในแต่ละระดับปัจจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ลักษณะทางกายภาพของสารละลายไอศกรีมเริ่มจับตัวกันบริเวณขอบถังเหนียวฟูมากขึ้นซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสไอศกรีมตามความต้องการของผู้ผลิตไอศกรีม ดังรูปที่ 9 ส่วนที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นเท่ากับ 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปัจจัยจำนวนแคปพิลารีหัวแบบ 1 และ 2 ท่อ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบพบว่าสารละลายไอศกรีมยังไม่จับตัวเป็นเนื้อไอศกรีมตามที่ต้องการ



รูปที่ 9 ลักษณะทางกายภาพของเนื้อสัมผัสไอศกรีมที่ได้ตามความต้องการ

ผลการศึกษาวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ผลการศึกษาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยใช้แรงงานคนปฏิบัติงาน 1 คน กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1.63 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ความสามารถในการผลิตไอศกรีม 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง 50,000 บาท สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุนและจุดคุ้มทุนของเครื่องฯ โดยผลการวิเคราะห์พบว่า มีจุดคุ้มทุนในการทำงาน 639.8 ชั่วโมงต่อปี เมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานของเครื่องฯ ที่ 2,400 ชั่วโมงต่อปี จะมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.9 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องฯ 155.41 บาทต่อกิโลกรัม

การอภิปรายผล

จากการทดลองออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมระบบคอมพิวเตอร์ พบว่าลักษณะของกรรมวิธีการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องฯ ที่มีใบกวนหมุนเพื่อไม่ให้สารละลายไอศกรีมติดกับผนังของถัง โดยที่บริเวณผิวของผนังถังผลิตไอศกรีมมีการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยระบบทำความเย็นแบบคอมพิวเตอร์ มีหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใบมีดขูดผิว (Scraped Surface Heat Exchanger; SSHE) และผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saraceno et al. (2011) และ Hernández-Parra (2018) ในการศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องทดสอบแบบใบมีดขูดผิว ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมให้ลดลงได้ และมีใบกวนทำหน้าที่กวนให้ไอศกรีมภายในชุดอุปกรณ์เพื่อไม่ให้ติดขอบขณะทำการผลิต และอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความดันของสารทำความเย็นและจำนวนท่อซึ่งเป็นการเพิ่มการอัตราแลกเปลี่ยนของอุณหภูมิระหว่างสารละลายไอศกรีมที่มีความหนืด โดยผลที่ได้จากการทดสอบนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ D'Addio et al. (2013) และ Shiryan et al. (2015) ในการศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนและความเย็นด้วยชุดทดสอบ SSHE พบว่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนในของไหลที่มีลักษณะหนืดนั้นมีการแลกเปลี่ยนเพื่อลดอุณหภูมิได้ดี

บทสรุป

เครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบและสร้างประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ ชุดควบคุมทางไฟฟ้า เพื่อความสะดวกและทันสมัยยิ่งขึ้น โครงสร้างของเครื่องผลิตไอศกรีมและชิ้นส่วนชุดอุปกรณ์ทุกชิ้นทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS304) ถึงไอศกรีมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 250 มิลลิเมตร หุ้มรอบนอกด้วยแผ่นฉนวนเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อน มีฝาปิดทำจากอะคริลิกใสที่ความหนา 10 มิลลิเมตร ภายในถังมีชุดใบกวนแบบ 2 ใบ ทำมาจากพลาสติกแข็งเกรดอาหาร ที่แกนเพล่าใบกวนส่งกำลังจากชุดขับเคลื่อนโดยใช้เฟืองสวมตัวที่ และชุดทำความเย็นขนาด 867 วัตต์ต่อชั่วโมง

ผลการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ปัจจัยจำนวนชุดแคปพิลารีที่วับแบบ 2 ท่อ ที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็น 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถลดความเย็นสารละลายไอศกรีมลงจนเริ่มมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายไอศกรีมที่อุณหภูมิประมาณ -20.35 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาเท่ากับ 46 นาที โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิตที่ระดับปัจจัยดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิของไอศกรีมลงได้มากที่สุดเท่ากับ -23.45 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปได้ว่าการนำเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไอศกรีมในระดับวิสาหกิจชุมชนที่ต้องการกำลังผลิต 4 กิโลกรัมต่อครั้ง ราคาไอศกรีม 1,000 บาท โดย 1 วัน ทำการผลิต 8 ครั้ง ทำการผลิต 300 วันต่อปี ใช้แรงงานคนปฏิบัติงานจำนวน 1 คน จากการวิเคราะห์พบว่า มีจุดคุ้มทุนในการทำงาน 639.8 ชั่วโมงต่อปี เมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานของเครื่องฯ ที่ 2,400 ชั่วโมงต่อปี จะมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.9 ปี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยวิศวกรรมบริการ จากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2564 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบคุณ นายกิตติศักดิ์ สิงห์ทอง และนายณพคุณ สืบุดตา นิสิตผู้ร่วมวิจัย คณาจารย์ และผู้เกี่ยวข้อง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรกลเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกที่ทำให้การศึกษานี้สำเร็จได้

เอกสารอ้างอิง

- ปานทิพย์ เปี้ยนโมฬี. (2560). อุตสาหกรรมไอศกรีมมูลค่าตลาดหมื่นล้าน. วารสารอุตสาหกรรมสาร. 59: 5-7.
- มนตรี ทองโคตร, ชื่นจิตร อังกรวงศ์ และเปรมใจ สัจจะอารีวัฒน์. (2559). พฤติกรรมการบริโภคไอศกรีมและปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกร้านไอศกรีมของนักศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. 11(3): 233-241.
- วนิดา บุรีภักดิ์, เลิศศิริ พวงแก้ว และนรินทร์ภพ ช่วยการ. (2559). การศึกษาปริมาณใบชะมวงและกรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมเชอร์เบทใบชะมวง. รายงานการวิจัย. สาขาคหกรรมศาสตร์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา.
- วรุฒิ วันสา และสันติสุข คำวิสิทธิ์. (2561). การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- D'Addio L., Carotenuto C., Di Natale F. and Nigro R. (2013). Heating and cooling of hazelnut paste in alternate blades scraped surface heat exchangers. Journal of Food Engineering. 115(2): 182-189.
- Hernández-Parra O.D., Plana-Fattori A., Alvarez G., Ndoye F.T., Benkhelifa H. and Flick D. (2018). Modeling flow and heat transfer in a scraped surface heat exchanger during the production of sorbet. Journal of Food Engineering. 221: 54-69.
- Hunt D. (2008). Farm power and machinery management: 10th Edition. United States of America, Waveland Press.
- Saraceno L., Boccardi G., Celata G.P., Lazzarini R. and Trinchieri R. (2011). Development of two heat transfer correlations for a scraped surface heat exchanger in an ice-cream machine. Applied Thermal Engineering. 31(17): 4106-4112.
- Shiryan D.K., Fazilati M.A. and Hajatzadeh A. (2015). Surface scraped heat exchanger for cooling newtonian fluids and enhancing its heat transfer characteristics, a review and a numerical approach. Applied Thermal Engineering. 87: 56-65.