การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

The Quality Improvement of Tube Ice Production Process by using Central Composite Design

นิภาส ลีนะธรรม และ สุวรรณา พลภักดี*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ขุนทะเล เมือง สุราษฎร์ธานี 84100

Nipas Leenatham and Suwanna Ponpakdee*

Department of Industrial Management Technology, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Khuntale, Muang, Suratthani, 84100, Thailand

***Corresponding Author E-mail:** suwanna.pon@sru.ac.th

Received: Feb 16, 2024; **Revised:** Jun 17, 2024; **Accepted:** Jun 26, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้น พบปัญหาปริมาณน้ำแข็งหลอดใหญ่ที่ขนาดไม่ได้มาตรฐาน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 159 ตันต่อเดือน หรือคิดเป็น 83.25 เปอร์เซ็นต์จากปัญหาทั้งหมด ซึ่งเป็นปัญหาหลักของงานวิจัยนี้ จากการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา พบว่าปัญหาปริมาณน้ำแข็งหลอดใหญ่ที่ขนาดไม่ได้มาตรฐานมีสาเหตุหลักมาจาก อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (A) อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง (B) อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (C) และเวลาในการผลิตน้ำแข็ง (D) มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการทดลองเบื้องต้นโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k เพื่อที่จะกรองปัจจัยที่ไม่มีผลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน และขั้นตอนที่สองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าสามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดด้วยสมการถดถอย คือ เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน = 7.72433 + 0.10813A + 0.12271B + 0.11729C - 0.09521D + 0.03877AA + 0.05252CC - 0.03844AC ซึ่งเป็นสมการที่มีรูปแบบการถดถอยที่เหมาะสมแล้ว และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตพบว่า สัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานลดลงกว่าเดิมคิดเป็น 8.37 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดต้นทุนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานที่ต้องผลิตซ้ำ 18,331.40 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด, การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k, การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Abstract

This research aimed to find optimum process conditions in tube ice production. The design of experiments was utilized to improve quality in the production process. The primary data were collected and found the substandard product size problem in large-tube ice manufacturing, averaging 159 tons per month and accounting for 83.25 percent of all production issues. These were the main problems of the research. According to the analysis to find a solution to the problem, the non-standard size issue was mainly caused by the temperature of raw feed water intake (A), the temperature of the ice-maker machine itself (B), the temperature inside the ice production plant (C), and the improper handling of production time parameters (D). In this study, the problematic issues were improved by applying the 2 step-design of experiments. The first step to experiment basically used the 2^k full factorial design for screening the nonrelated factors to the non-standard size proportion. Secondly, in order to determine the optimal factors of the tube ice production process, this step utilized the Central Composite Design (CCD). According to the experimental analysis, the optimum condition in tube ice production process was derived by regression equation. The percent proportion of the substandard large tube ice was represented by 7.72433 + 0.10813A + 0.12271B + 0.11729C - 0.09521D + 0.03877AA + 0.05252CC - 0.03844AC, which interpreted the most suitable equation in regression model. After incorporating the parameters in the process, the proportion of the substandard ice tube size was reduced by 8.37 percent and the non-standard remake production cost was decreased by 18,331.40 Baht a month.

Keywords: Tube Ice Production Process, 2^k Full Factorial Design, Central Composite Design

1. บทนำ

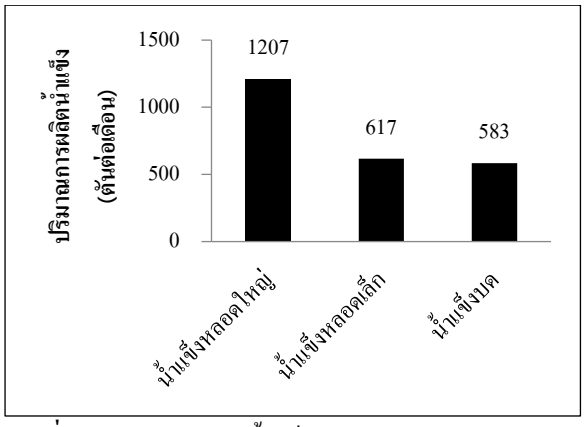
น้ำแข็งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารในประเทศที่ใช้บริโภคทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยมีบทบาทสำคัญในการนำไปใช้เก็บรักษาอาหารและถนอมอาหาร ในวงการอุตสาหกรรมน้ำแข็งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมประมงอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง อุตสาหกรรมการเกษตร เป็นต้น และการบริโภคน้ำแข็งมีอยู่ทุกภาคส่วนของประเทศ หากน้ำแข็งที่ใช้รับประทานโดยตรงไม่สะอาดพอ มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคปนเปื้อนอยู่ก็อาจเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดอาการป่วยจากโรคติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการบริโภคน้ำแข็ง สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาจึงควบคุมการผลิตโดยการกำหนดคุณภาพมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 420 (พ.ศ. 2563) เรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร คุณภาพในกระบวนการผลิต การใช้น้ำในการผลิต สถานที่เก็บรักษาน้ำแข็ง การใช้ภาชนะบรรจุน้ำแข็ง ตลอดจนการแสดงฉลากที่เกี่ยวกับน้ำแข็ง [1]

จากความเป็นมาดังกล่าวส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตน้ำแข็ง ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตน้ำแข็งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งที่ผ่านมากระบวนการผลิตน้ำแข็งมีขั้นตอน ได้แก่ กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ กระบวนการแช่น้ำแข็ง กระบวนการบรรจุและขนส่ง [1] ทุกกระบวนการมีความสำคัญในกระบวนการผลิตน้ำแข็ง และในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตน้ำแข็งมีการแข่งขันสูง ดังนั้นการการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตจึงเป็นหัวใจสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมน้ำแข็งที่จะทำให้การแข่งขันทางการตลาดประสบความสำเร็จ ซึ่งการทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีคุณภาพนั้น นอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายของผู้ผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแล้ว ยังทำให้สินค้าที่ผลิตออกมาสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเต็มที่อีกด้วย

ด้วยเหตุนี้เทคนิคต่าง ๆ ในเรื่องเกี่ยวกับการจัดการด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำมาใช้ ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพเพื่อจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าเชื่อถือสูง และทำให้ความสามารถในการผลิต

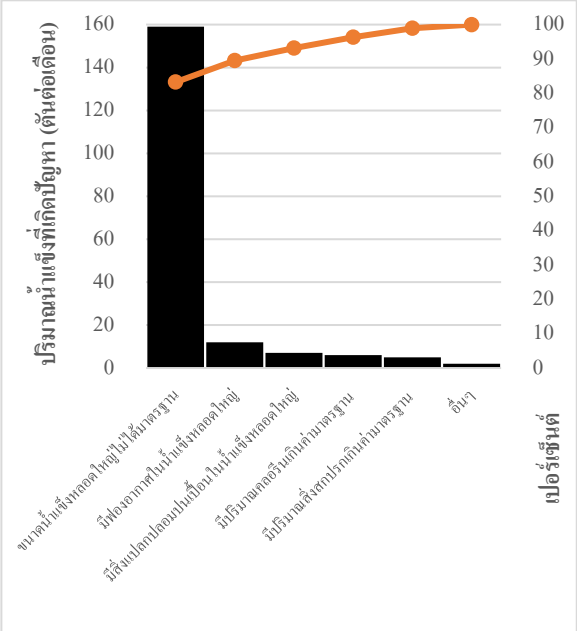
มีประสิทธิภาพสูงขึ้นนี้ สามารถนำเอาวิธีการของการออกแบบการทดลองมาใช้ โดยอาศัยหลักสถิติต่าง ๆ มาประยุกต์ร่วมกัน ทั้งในเรื่องของการควบคุมคุณภาพโดยใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control) เป็นต้น [2] รวมทั้งสามารถนำเอาโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติต่าง ๆ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาได้มากขึ้น

โดยจากการเก็บข้อมูลเชิงปฐมภูมิเบื้องต้นจากการสัมภาษณ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะรูปแบบของน้ำแข็ง ได้แก่ น้ำแข็งหลอดใหญ่ น้ำแข็งหลอดเล็ก น้ำแข็งบด ซึ่งปัจจุบันปริมาณการผลิตน้ำแข็งระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอดใหญ่ มีปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนสูงสุดเท่ากับ 1,207 ตันต่อเดือน หรือคิดเป็น 50.15 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำแข็งทั้งหมด ดังแสดงใน**รูปที่ 1** ซึ่งงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอดใหญ่เท่านั้น เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอดเล็กและน้ำแข็งบดต่อไป



รูปที่ 1 ปริมาณการผลิตน้ำแข็งตามลักษณะรูปแบบต่าง ๆ

โดยปัญหาของผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอดใหญ่ในแต่ละประเภท พบปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน มีฟองอากาศในน้ำแข็งหลอดใหญ่มีสิ่งแปลกปลอมปนเปื้อนในน้ำแข็งหลอดใหญ่ มีปริมาณคลอรีนเกินค่ามาตรฐาน และมีปริมาณสิ่งสกปรกเกินค่ามาตรฐาน และจากการนำหลักการพาเรโตมาประยุกต์ใช้เพื่อระบุปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ พบว่าปัญหาปริมาณน้ำแข็งหลอดใหญ่ที่ขนาดไม่ได้มาตรฐาน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 159 ตันต่อเดือน หรือคิดเป็น 83.25 เปอร์เซ็นต์ จากปัญหาทั้งหมด ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากที่สุดในกระบวนการผลิต ดังแสดงใน**รูปที่ 2** งานวิจัยนี้จึงเลือกปัญหาดังกล่าวมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตต่อไป



รูปที่ 2 ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอดใหญ่ที่เกิดปัญหาต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต

โดยวัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำแข็งหลอดที่เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดโดยการออกแบบการทดลอง และเพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด นอกจากนั้นยังเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน และเผยแพร่ผลงานวิจัยต่อสถานประกอบการผลิตน้ำแข็งที่สนใจต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k สามารถศึกษาผลกระทบของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ทั้งผลกระทบ

หลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (อันตรกิริยา หรือ Interaction Factor) จำนวน การทดลองทั้งหมดที่เป็นไปได้สำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (ไม่รวมการทดลองซ้ำ) เท่ากับ 2^k โดยที่ 2 คือจำนวนระดับการทดลองของแต่ละปัจจัย k คือ จำนวนปัจจัยที่ศึกษา ข้อดีของการทำการทดลองแบบนี้ คือ ไม่มีโครงสร้างที่ซ้ำซ้อน (No Aliased Structure) และศึกษาได้ทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม และอาจจะนำไปใช้ในการทดลองขนาดเล็กเพื่อทำการกรองปัจจัย (Screening) ส่วนข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายสูง ต้องใช้เวลาและทรัพยากรมาก เนื่องจากจำนวนการทดลองแปรผันตามจำนวนระดับของปัจจัยและจำนวนปัจจัย [3] โดยงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต เช่น งานวิจัยของ Leenatham and Khemavuk [5] ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการผลิตลวดแกนกลางของผลิตภัณฑ์สายสวนหลอดเลือดหัวใจโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k พบว่าสามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตได้ โดยคิดเป็นของเสียลดลง 87.96 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ Ma et al. [6] ได้กล่าวถึงอุตสาหกรรมการผลิตแว่นตาโดยศึกษาความแม่นยำทางสถิติของเลนส์แว่นตา และใช้แผนการทดลองแฟกทอเรียล 2^3 เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต จากผลการทดลอง พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ 21.52 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาเป็นงานวิจัยของ Semsri [7] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนฝาครอบไฟเลี้ยวรถแทรกเตอร์ ด้วยการวิเคราะห์เพื่อหาค่าอุณภูมิที่เหมาะสมของบาเรลฮีตเตอร์โดยประยุกต์ใช้เทคนิค DMAIC และทำการออกแบบการทดลองที่เป็นแบบแฟกทอเรียล 2^k ผลการศึกษาพบว่า ก่อนการปรับปรุงมีของเสียคิดเป็น 1.51 เปอร์เซ็นต์ หลังการปรับปรุงจำนวนของเสียคิดเป็น 0.83 เปอร์เซ็นต์ ของเสียลดลงจากเดิมคิดเป็น 45.1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Leenatham et al. [8] ได้ศึกษาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20 โดยได้ประยุกต์ใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีนซิกซ์ซิกม่าและใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k เพื่อปรับปรุงงาน จากผลการวิจัย พบว่าสัดส่วนของยางแท่งที่เกิดจุดขาวจากยางแห้งไม่สมบูรณ์ลดลงจากเดิม คิดเป็น 17.16 เปอร์เซ็นต์

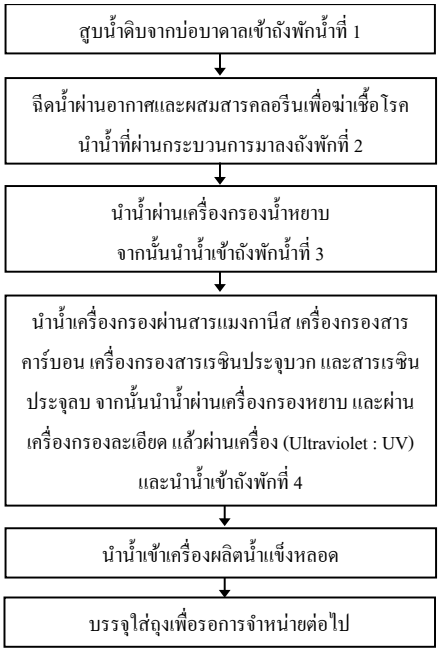
2.2 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

เหมาะสำหรับในการศึกษาหรือสร้างแบบจำลองพหุนามอันดับสอง (Second-order or Quadratic Model) การทดลองแบบส่วนประสมกลาง มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลองพหุนามอันดับสอง ข้อดีของการทดลองแบบส่วนประสมกลาง คือ 1) เหมาะสำหรับการศึกษาสมการพหุนามอันดับสองมากที่สุด ในกรณีที่ศึกษาปัจจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Factor) 2) ความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง เนื่องจากมีค่า Resolution ให้เลือกได้ครอบคลุมทุกค่า รวมทั้งเลือกใช้ได้ทั้งการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับและการทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน 3) โครงสร้างซ้ำซ้อนสำหรับ Resolution III หรือ IV สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับ 2^{k-p} การทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน 4) สามารถแยกการทดลองได้เป็นส่วน ๆ ตามลำดับ คือ ทำการทดลองส่วนของแฟกทอเรียล (Factorial Portion) เพื่อสร้างสมการเชิงเส้นในกรณีศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับ และคาดการณ์ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Point) ถ้าสมการเชิงเส้นไม่เหมาะสมจึงทำการทดลองเพิ่มในส่วนของจุดแกน (Axial Point) จะได้สมการพหุนามอันดับสอง ข้อเสียของการทดลองแบบส่วนประสมกลาง คือ ไม่เหมาะสำหรับศึกษาปัจจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Factor) [4] โดยงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต เช่น งานวิจัยของ Boumaiza et al. [9] ได้ทำการออกแบบการทดลองและนำเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) เข้ามาปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์เหล็กในดิน โดยการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ประกอบด้วยปัจจัย 3 ปัจจัย จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของไฮดรอกไซด์มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์เหล็กในดิน ต่อมาเป็นงานวิจัยของ Coelhoa et al. [10] โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดโปรตีนจากเนื้อแพะโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง

แบบแฟกทอเรียลเพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่ให้เหลือน้อยลง และการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า โปรตีนจากเนื้อแพะที่สกัดด้วยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้ มีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นคิดเป็น 30.51 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ Silaloy et al. [11] ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกรรมวิธีการผลิตลวดตีเกลียว 7 เส้น โดยมีแนวทางในการปรับปรุงจะเป็นการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคการทดลองแบบส่วนประสมกลาง เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการผลิตจริงพบว่า สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลในกระบวนการผลิตลวดตีเกลียว 7 เส้น ได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Chanchay et al. [12] ได้ศึกษาการผลิตแคโรทีนอยด์จากยีสต์ บนฝุ่นข้าวโพดแบบการหมักแห้ง และจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตแคโรทีนอยด์โดยการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง พบว่าสามารถนำฝุ่นข้าวโพดที่หมักร่วมกับเชื้อยีสต์ไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้โดยตรง และสามารถเพิ่มมูลค่าของเสียทางการเกษตรได้

2.3 กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด

กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดเริ่มจากสูบน้ำดิบจากบ่อบาดาลเข้าถังพักน้ำที่ 1 เพื่อผ่านกระบวนการแยกสารละลายบางชนิดที่ปนอยู่กับน้ำดิบออก โดยการฉีดน้ำผ่านอากาศ และผสมสารคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค นำน้ำที่ผ่านกระบวนการมาลงถังพักที่ 2 เพื่อผ่านกระบวนการกรองหยาบ โดยผ่านเครื่องกรองน้ำที่ขนาดความละเอียด 5 ไมครอน จากนั้นนำน้ำเข้าถังพักน้ำที่ 3 เพื่อผ่านปั๊มเข้าเครื่องกรองผ่านสารแมงกานีส เครื่องกรองสารคาร์บอน เครื่องกรองสารเรซินประจุบวกและสารเรซินประจุลบ จากนั้นนำน้ำผ่านเครื่องกรองหยาบความละเอียดขนาด 5 ไมครอน และผ่านเครื่องกรองความละเอียด 0.03 ไมครอน แล้วผ่านเครื่อง (Ultraviolet: UV) และนำน้ำเข้าถังพักที่ 4 เพื่อรอส่งเข้าเครื่องผลิตน้ำแข็ง ในกระบวนการสุดท้ายนำน้ำเข้าเครื่องผลิตน้ำแข็ง ไปบรรจุกระสอบหรือถุงพลาสติกเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป โดยกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดดังแสดงใน**รูปที่ 3**



รูปที่ 3 กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด

ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด เช่น งานวิจัยของ Yartprom and Chinsuwan [13] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอด โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นเชิงพาณิชย์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในการลดอุณหภูมิ น้ำป้อน จากผลการทดลองพบว่าที่เครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดขนาด 50 ตันต่อวัน สามารถลดเวลาการทำงานในหนึ่งรอบการผลิตได้ 9.1 นาที ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมได้ 7.47 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอด เพิ่มขึ้นจาก 1.89 เป็น 2.48 จากระบบการผลิตเดิม ต่อมาเป็นงานวิจัยของ Pochana and Jongpanyalert [14] ได้ทำการลดการหยุดทำงานของเครื่องจักรและสร้างแผนการบำรุงรักษาในโรงงานผลิตน้ำแข็งหลอด โดยได้ประยุกต์กระบวนการแก้ปัญหาเชิงคุณภาพมาใช้ จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า เครื่องคอมเพรสเซอร์และฟรีสเซอร์มีการเกิดเหตุขัดข้องสูงสุด จากการดำเนินการแก้ไขพบว่าสามารถลดการหยุดทำงานของเครื่องจักรจาก 12.7 เปอร์เซ็นต์เป็น 7 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ Phannuchareonwong et al. [15] ได้ศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแข็งตัวของน้ำแข็งหลอด ได้แก่ อุณหภูมิน้ำป้อน อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศรอบนอก อุณหภูมิเฉลี่ยบรรยากาศห้องเครื่องผลิตน้ำแข็ง และอุณหภูมิเฉลี่ยผิวฟรีซซึ่งเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี จาก

การศึกษาพบว่า ค่าความหนาของน้ำแข็งหลอดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลา โดยจะมีความหนาเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงเริ่มแรก และจะช้าลงในช่วงท้าย ๆ ของการผลิต นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Kaikaewkanjana [16] ได้ค้นหาแนวทางเสริมสร้างความเข้มแข็งของวิธีการกำกับดูแลน้ำแข็งหลอดทั้งในช่วงก่อนและหลังออกสู่ตลาดของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชัยนาท และศึกษาปัจจัยที่ทำให้น้ำแข็งหลอดตกมาตรฐานในการผลิต จากผลการวิจัยพบว่า มาตรการในการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังออกสู่ตลาดที่ควรปรับปรุง คือ การเรียกเอกสารผลการตรวจวิเคราะห์ด้านเคมีของแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งหลอด และผลการตรวจวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลวิจัยระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2566 และได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามขั้นตอนของกระบวนการวิจัยจากเอกสารต่าง ๆ แล้วกำหนดวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 การพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตที่เกิดจากปัญหาขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานโดยการออกแบบการทดลอง

จากการค้นหาสาเหตุของปัญหาขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกสาเหตุหลักของปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ จากนั้นผู้วิจัยได้ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k เพื่อที่จะกรองปัจจัยที่ไม่มีผลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน [3] ซึ่งขั้นตอนของการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k ดังนี้

1) สร้างแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k เมื่อได้ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อปัญหาขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน จากนั้นนำปัจจัยต่าง ๆ มาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^4 ซึ่งมี 16 การทดลอง ประกอบไปด้วยปัจจัยควบคุม 4 ปัจจัย ซึ่งทำการศึกษาปัจจัยละ 2 ระดับคือ ที่ระดับต่ำและสูง แต่ละระดับมีการทำซ้ำ 2 ซ้ำ

2) ทำการทดลองกับกระบวนการผลิตจริง ตามรูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้และทำการบันทึกข้อมูล

3) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อเป็นการยืนยันว่าข้อมูลที่เก็บมาได้ มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ได้จริง

4) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน

5) สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยนำปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน มาพล็อตกราฟแสดงอิทธิพลหลักและอิทธิพลอันตรกิริยาของปัจจัย เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานลดลง และอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

3.2 การประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด

ในขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยนี้ คือการประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต แล้วจึงทำการยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ซึ่งขั้นตอนของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง [4] ดังนี้

1) สร้างแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง โดยนำปัจจัยที่มีผลสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานที่ได้จากการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k แบ่งแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษาออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับต่ำ กลาง และสูง แต่ละระดับมีรอบทำซ้ำ 2 ซ้ำ มาศึกษาต่อโดยการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

2) ทำการทดลองกับกระบวนการผลิตจริงตามรูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ และทำการบันทึกข้อมูล

3) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่เก็บมาได้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือและสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ได้จริง

4) วิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน

5) ตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ เพื่อเป็นการยืนยันสมการถดถอยที่สร้างได้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และสามารถนำสมการถดถอยไปใช้ได้จริง

6) สรุปผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยส่งผลให้สัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานลดลงและอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

7) ทำการยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ไปใช้จริงในกระบวนการผลิต จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลและคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการตรวจสอบปัญหาขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานโดยมีเกณฑ์การตรวจสอบขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานดัง **ตารางที่ 1** และได้กำหนดค่าตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทำการทดลองคือ สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน โดยคิดจากสัดส่วนระหว่างจำนวนน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานต่อจำนวนน้ำแข็งหลอดใหญ่ทั้งหมดในแต่ละวันที่ทำการผลิต

ตารางที่ 1 เกณฑ์การตรวจสอบปัญหาขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน

ขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่	การตัดสินใจ
ขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่: 1) เส้นผ่านศูนย์กลางนอกที่ 30 มิลลิเมตร 2) เส้นผ่านศูนย์กลางใน $\leq$ 5 มิลลิเมตร	ยอมรับ
ขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่: 1) เส้นผ่านศูนย์กลางนอกที่ 30 มิลลิเมตร 2) เส้นผ่านศูนย์กลางใน > 5 มิลลิเมตร	ไม่ยอมรับ

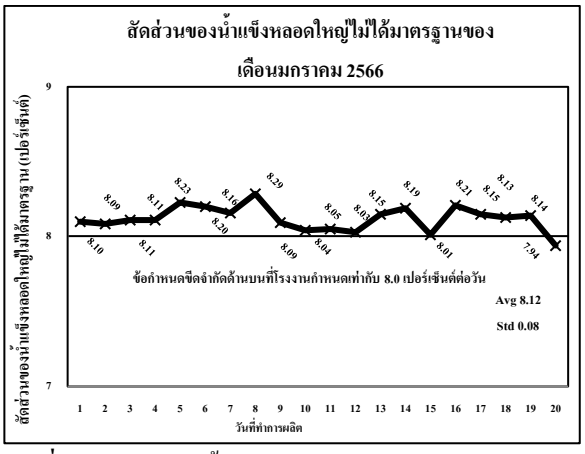
4. ผลการวิจัย

จากวิธีการดำเนินการวิจัยได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนของกระบวนการวิจัย ดังนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ และได้มีการบันทึกผลการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนต่าง ๆ สามารถแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ผลจากการเก็บข้อมูล โดยผลการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

4.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำแข็งหลอดที่เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต

1) การระบุปัญหาที่เกิดขึ้น

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน เพื่อใช้เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต และตรวจสอบว่ากระบวนการมีปัญหาต้องทำการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดของโรงงานกรณีศึกษามีการผลิตในแต่ละวันโดยเริ่มทำการผลิตน้ำแข็งหลอดตั้งแต่เวลา 22.00–09.00 น. รวมใช้เวลาในการผลิต 11 ชั่วโมงต่อวัน โดยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตในเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 จำนวน 20 วัน แสดงดัง**รูปที่ 4** และ **ตารางที่ 2**



รูปที่ 4 สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานของเดือนมกราคม พ.ศ. 2566

จาก**รูปที่ 4** พบว่าสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานของเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 คิดเฉลี่ยเป็น 8.12 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.08 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน โดยสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานสูงกว่าข้อกำหนดขีดจำกัดด้านบนที่โรงงานกำหนด คือ 8.0 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน โดยข้อกำหนดขีดจำกัดด้านบนได้มาจากค่าจากสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานที่โรงงานเคยทำได้เฉลี่ยต่ำที่สุดก่อนการปรับปรุงกระบวนการ จึงต้องทำการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ตารางที่ 2 ค่าสถิติต่าง ๆ จากผลการทดลองก่อนการปรับปรุงสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานของเดือนมกราคม พ.ศ. 2566

ค่าทางสถิติ	ก่อนการปรับปรุง (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)
สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานเฉลี่ย	8.12
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.08
ขอบเขตบนสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	8.15

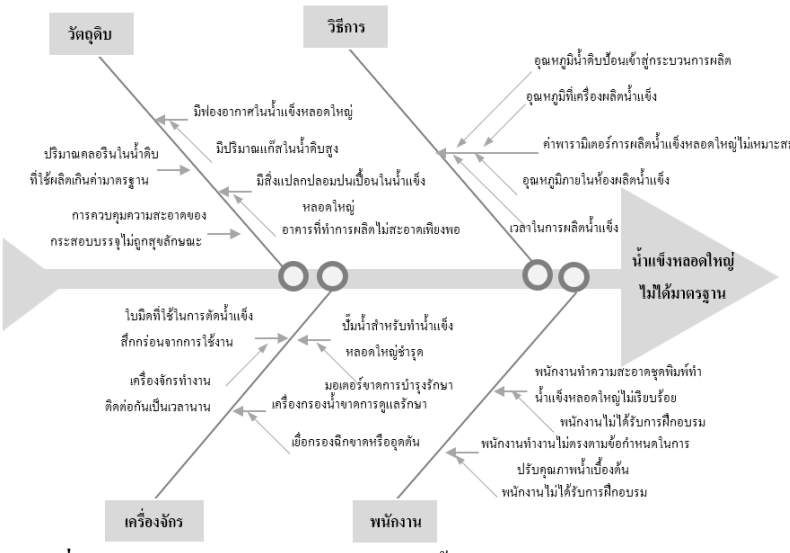
2) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ในการวิเคราะห์ความผันแปรเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการระดมสมอง (Brainstorming) จากผู้ที่มีความรู้เฉพาะทางในทางกระบวนการผลิตน้ำแข็ง เพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุของปัญหาแล้วทำการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการปรับปรุงแก้ไขต่อไป [2] ดังแสดงใน**รูปที่ 5**

จากการวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล ดัง**รูปที่ 5** พบว่ามีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ทางทีมผู้เชี่ยวชาญจึงได้นัดประชุมเพื่อระดมสมอง เพื่อหาสาเหตุจากพนักงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการ ซึ่งส่งผลให้กระบวนการผลิตขาดประสิทธิภาพ และได้นำสาเหตุดังกล่าวมาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

3) การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของปัญหา

จากนั้นผู้วิจัยได้นำเอาหลักการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analyze Process: FMEA) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาระดับความรุนแรงของผลกระทบจากสาเหตุต่าง ๆ ที่ได้จากการระดมสมองจากแผนภาพสาเหตุและผล และเพื่อคัดเลือกสาเหตุหลักที่ส่งผลต่อปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน โดยคณะผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 ท่าน ประกอบไปด้วย วิศวกรฝ่ายคุณภาพ วิศวกรฝ่ายผลิต วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง และหัวหน้างานแผนกต่าง ๆ ได้ร่วมกันทำการประเมินในหัวข้อระดับความรุนแรงของผลกระทบจากข้อบกพร่อง (Severity) ความถี่ของการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence) และความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection) และทำการวิเคราะห์ผลกระทบเพื่อหาค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number: RPN) โดยคำนวณจากผลคูณของ S × O × D = RPN [3] ดัง**ตารางที่ 3** และวิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหาโดยใช้แผนภาพพาเรโต เพื่อทำการเลือกผลกระทบที่มีความรุนแรงมาก โดยมีค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) มากกว่าหรือเท่ากับ 100 ไปปรับปรุงต่อไป แสดงดัง**รูปที่ 6**



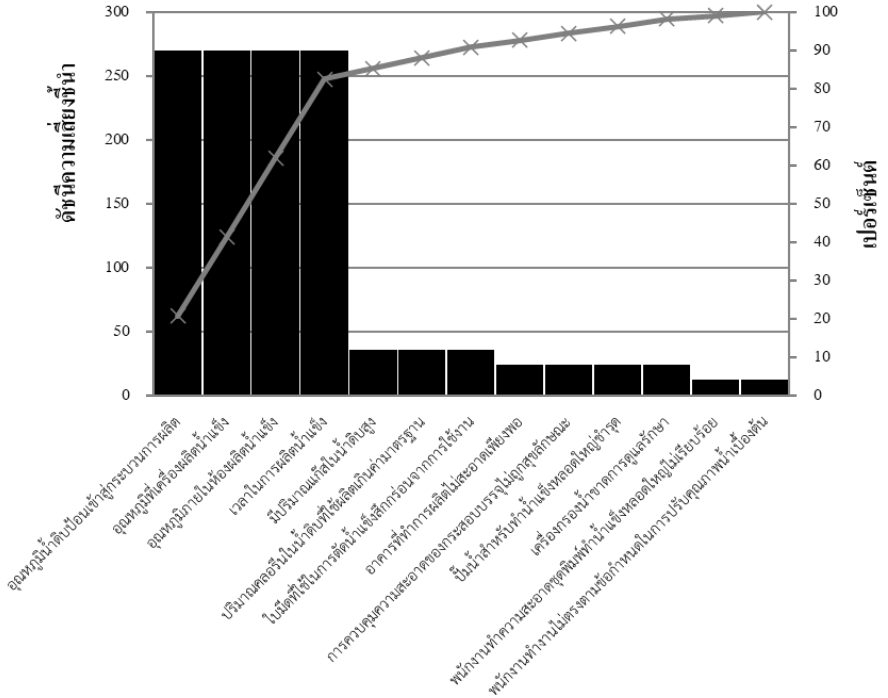
รูปที่ 5 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน

สาเหตุจาก	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบข้อบกพร่อง	S	สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการปัจจุบัน	D	RPN
วิธีการ	ค่าพารามิเตอร์การผลิตน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่เหมาะสม	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต	5	มีการควบคุมให้ปรับค่าของพารามิเตอร์จากข้อกำหนดของกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด แต่ค่าสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานยังสูงกว่าข้อกำหนดขีดจำกัดด้านบนที่โรงงานกำหนด	9	270
			6	อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง	5		9	270
			6	อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง	5		9	270
			6	เวลาในการผลิตน้ำแข็ง	5		9	270
วัตถุดิบ	มีฟองอากาศในน้ำแข็งหลอดใหญ่	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	มีปริมาณแก๊สในน้ำดิบสูง	2	มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด โดยลดการปนเปื้อนของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง	3	36
	มีสิ่งแปลกปลอมปนเปื้อนในน้ำแข็งหลอดใหญ่	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	อาคารที่ทำการผลิตไม่สะอาดเพียงพอ	2	มีแผนการทำความสะอาด ซ่อมแซม และบำรุงรักษาอาคารอย่างสม่ำเสมอ	2	24
	การควบคุมความสะอาดของกระสอบบรรจุไม่ถูกสุขลักษณะ	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	กระสอบบรรจุน้ำแข็งมีการนำมาใช้หมุนเวียน ขาดการควบคุมความสะอาดก่อนนำมาใช้ใหม่	2	มีแผนการป้องกันการปนเปื้อน โดยมีการล้างกระสอบ ฆ่าเชื้อ ผึ่งให้แห้ง และเก็บรักษาอย่างถูกสุขลักษณะ	2	24
	ปริมาณคลอรีนในน้ำดิบที่ใช้ผลิตเกินค่ามาตรฐาน	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	การควบคุมปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อฆ่าเชื้อขาดประสิทธิภาพ	3	มีแผนตรวจติดตามในการควบคุมค่าคลอรีนในน้ำดิบที่ใช้ทำการผลิตระหว่าง 0.2-0.5 PPM	2	36
เครื่องจักร	ใบมีดที่ใช้ในการตัดน้ำแข็งสึกกร่อนจากการใช้งาน	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	เครื่องจักรทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน	3	มีแผนการตรวจสอบการใช้ใบมีดตามมาตรฐานที่กำหนดในทุกรอบผลิต	2	36
	ปั๊มน้ำสำหรับทำน้ำแข็งหลอดใหญ่ชำรุด	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	มอเตอร์ขาดการบำรุงรักษา	2	มีแผนการซ่อมบำรุงรักษามอเตอร์ตามมาตรฐานที่กำหนด	2	24
	เครื่องกรองน้ำขาดการดูแลรักษา	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	เยื่อกรองฉีกขาดหรืออุดตัน	2	มีการตรวจสอบ และวิธีการดูแลความสมบูรณ์ของเยื่อกรองโดยวัดความดัน อัตราการไหล และค่าการนำไฟฟ้า กรณีพบว่าชำรุดเสียหายต้องเปลี่ยนใหม่ทันที	2	24

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน (ต่อ)

สาเหตุจาก	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบข้อบกพร่อง	S	สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการปัจจุบัน	D	RPN
พนักงาน	พนักงานทำความสะอาดชุดพิมพ์ทำน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่เรียบร้อย	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงานเรื่องการทำความสะอาดชุดพิมพ์ทำน้ำแข็งหลอด	1	จัดอบรมพนักงานและมีแผนในการตรวจติดตามการทำความสะอาดของชุดพิมพ์ทำน้ำแข็งหลอด	2	12
	พนักงานทำงานไม่ตรงตามข้อกำหนดในการปรับคุณภาพน้ำเบื้องต้น	ปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน	6	พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงานเรื่องการตรวจสอบค่า pH ในน้ำดิบ	1	จัดอบรมพนักงานและตรวจติดตามในการควบคุมค่า pH ไม่เกิน 9 ในน้ำดิบ	2	12



รูปที่ 6 แผนภาพพาเรโตดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) ของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน

จาก**รูปที่ 6** พบว่าสาเหตุที่มีความรุนแรงมากและส่งผลกระทบต่อปัญหาน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานคือมีค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) เท่ากับ 270 ซึ่งมีค่ามากกว่า 100 มี 4 สาเหตุหลัก ได้แก่ อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง เวลาในการผลิตน้ำแข็ง ตามลำดับ จึงได้นำสาเหตุหลักดังกล่าวมาดำเนินการปรับปรุงต่อไป

4.2 ผลการพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตที่เกิดจากปัญหาขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานโดยการออกแบบการทดลอง

1) สร้างแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะกรองปัจจัยที่ไม่มีผลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานโดยสร้างแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k โดยจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบมีทั้งหมด 4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาจึงได้นำปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^4 ซึ่งมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 16 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองมีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ดัง**ตารางที่ 4** โดยในสภาพปัจจุบันในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดผู้ผลิตได้กำหนดค่าระดับของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ที่อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง -1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง 30 องศาเซลเซียส และเวลาในการผลิตน้ำแข็ง 30 นาที ซึ่งส่งผลให้ค่าสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานสูงกว่าข้อกำหนดขีดจำกัดด้านบนที่โรงงานกำหนด ดังนั้นเพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด คณะผู้วิจัยกับผู้เชี่ยวชาญจึงได้ระดมสมองเพื่อหาค่าระดับของปัจจัยในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดที่เหมาะสมเพื่อทำการทดลอง จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การพิจารณาตามเอกสารคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องจักร และการปรับตั้งค่าเครื่องจักรที่ผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดเคยทำการศึกษาและทดลองไว้

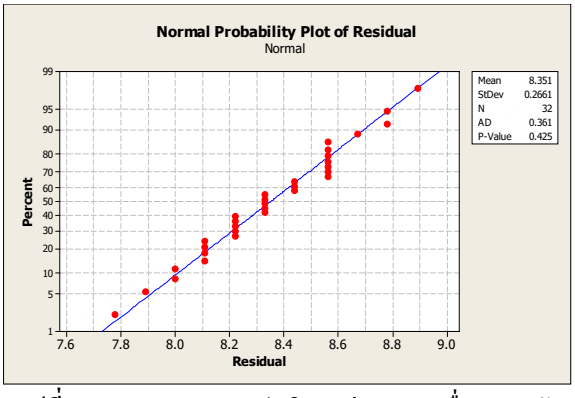
ตารางที่ 4 ปัจจัยและระดับในแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^4

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	สัญลักษณ์	ระดับ	
		ต่ำ	สูง
อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (องศาเซลเซียส)	ปัจจัย A	25	30
อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง (องศาเซลเซียส)	ปัจจัย B	-4	-1
อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (องศาเซลเซียส)	ปัจจัย C	27	30
เวลาในการผลิตน้ำแข็ง (นาที)	ปัจจัย D	30	40

2) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

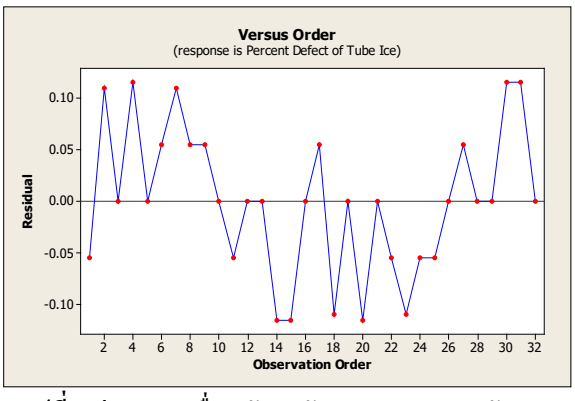
ก่อนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน จะต้องทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อดูความเพียงพอของข้อมูลทางสถิติ มีดังนี้

2.1) การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) จาก**รูปที่ 7** การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าคลาดเคลื่อน (Residual) พบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงและค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.425 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำให้สามารถประมาณได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ



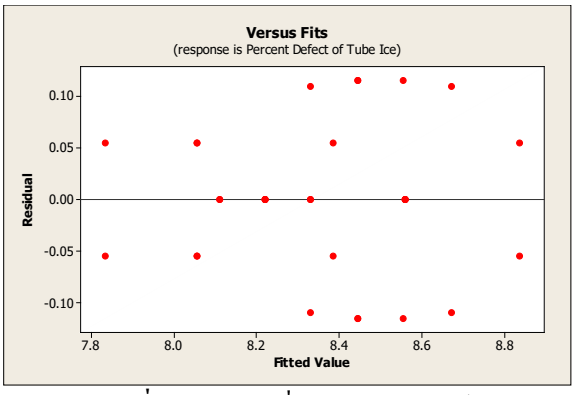
รูปที่ 7 การแจกแจงแบบปกติของค่าคลาดเคลื่อนสำหรับการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียล

2.2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) จาก**รูปที่ 8** การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล จากการนำผลการทดลองมาพิจารณาการกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อน พบว่า การกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อนเทียบกับลำดับการทดลอง (Observation Order) ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม ทำให้สามารถประมาณได้ว่าค่าคลาดเคลื่อน มีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 8 ค่าคลาดเคลื่อนกับลำดับการทดลองสำหรับการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียล

2.3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) จาก**รูปที่ 9** การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน การกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อน พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าพยากรณ์ มีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่มีรูปแบบทำให้สามารถประมาณได้ว่าค่าความแปรปรวนของ การทดลองมีความเสถียรอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 9 ค่าคลาดเคลื่อนกับค่าพยากรณ์

3) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

จากการการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่า ข้อมูลที่ได้นั้นมีความถูกต้องและเหมาะสม ดังนั้นจึงถือได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งในขั้นตอนต่อไป ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลักและปัจจัยอันตรกิริยา โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียล ดัง**ตารางที่ 5** มีดังนี้

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^4 พบว่า จากการวิเคราะห์อิทธิพลหลักทั้ง 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (A) อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง (B) อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (C) เวลาในการผลิตน้ำแข็ง (D) มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการวิเคราะห์อิทธิพลอิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตและอุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (AC) ก็มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 เช่นเดียวกัน และการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) เท่ากับ 92.80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจจากการทดลองครั้งนี้อยู่ในระดับที่ดี ข้อมูลมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ [2]

4) สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^4 โดยพิจารณาจากกราฟแฟกทอเรียล (Factorial Plots) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^4 ดัง**ตารางที่ 5**

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียล

แหล่งความผันแปร	องศาเสรี	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	ค่า P-value
A	1	0.27751	0.277513	28.10	0.000*

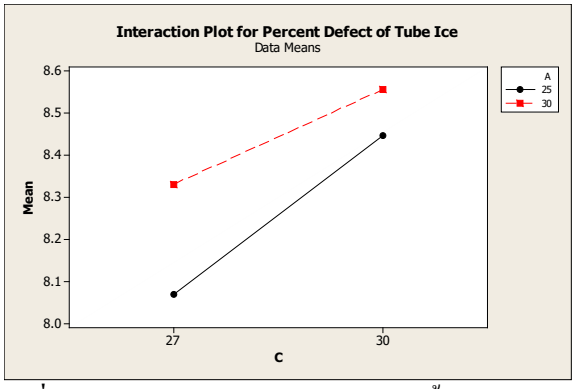
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2^4 แฟกทอเรียล (ต่อ)

แหล่งความผันแปร	องศาเสรี	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	ค่า P-value
B	1	0.37411	0.374112	37.88	0.000*
C	1	0.72601	0.726013	73.52	0.000*
D	1	0.41861	0.418612	42.39	0.000*
AB	1	0.00281	0.002812	0.28	0.601
AC	1	0.04651	0.046513	4.71	0.045*
AD	1	0.03251	0.032513	3.29	0.088
BC	1	0.01051	0.010513	1.06	0.318
BD	1	0.01901	0.019012	1.93	0.184
CD	1	0.00031	0.000312	0.03	0.861
ABC	1	0.01901	0.019013	1.93	0.184
ABD	1	0.06661	0.066612	6.75	0.019
ACD	1	0.02101	0.021013	2.13	0.164
BCD	1	0.00361	0.003613	0.37	0.554
ABCD	1	0.01901	0.019013	1.93	0.184
ความคลาดเคลื่อน	16	0.15800	0.009875		
ทั้งหมด	31	2.19519			

S = 0.0993730, R-Sq = 92.80%, R-Sq(adj) = 86.05%

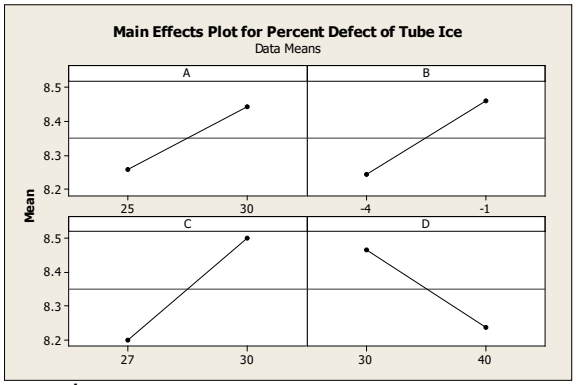
เมื่อนำปัจจัยที่มีผลกระทบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละระดับของปัจจัย และสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ได้ผลดังนี้

4.1) อิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตและอุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (AC) จาก**รูปที่ 10** สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อกำหนดอุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (A) 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (C) 27 องศาเซลเซียส สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานเท่ากับ 8.07 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าการลดอุณหภูมิทั้งสองในการผลิตน้ำแข็งหลอดใหญ่ ส่งผลให้สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานลดลง ตามลำดับ



รูปที่ 10 อิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตและอุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (AC)

4.2) อิทธิพลหลัก กราฟอิทธิพลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน จาก**รูปที่ 11** สามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลหลักมีค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลกระทบ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (A) ที่ระดับต่ำ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง (B) ที่ระดับต่ำ -4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (C) ที่ระดับต่ำ 27 องศาเซลเซียส เวลาในการผลิตน้ำแข็ง (D) ที่ระดับสูง 40 นาที โดยจะส่งผลให้สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานลดลงได้



รูปที่ 11 อิทธิพลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน

4.3 ผลการประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด

1) สร้างแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

ในส่วนต่อไปผู้วิจัยจะทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ดังนั้นในการกำหนดระดับในแผนการทดลองนี้ จึงได้มี

การปรับค่าระดับของปัจจัยต่าง ๆ ให้ออกนอกช่วงที่เคยทำการทดลองและผลิตจริง โดยสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาด้วยก็คือ ผลที่ได้จากการทดลองนั้นต้องสอดคล้องกับคุณภาพของงานด้วย เพราะถ้าปรับค่าพารามิเตอร์มากเกินไป อาจเกิดปัญหาด้านอื่น ๆ ตามมาได้ ดัง**ตารางที่ 6**

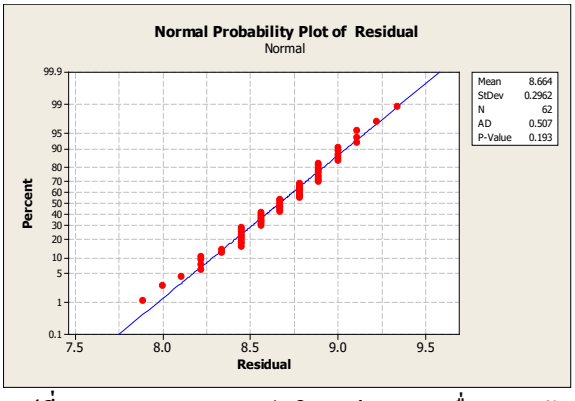
ตารางที่ 6 ปัจจัยและระดับในการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	สัญลักษณ์	ระดับ				
		-2	-1	0	1	2
อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (องศาเซลเซียส)	ปัจจัย A	22	23	24	25	26
อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง (องศาเซลเซียส)	ปัจจัย B	-7	-6	-5	-4	-3
อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (องศาเซลเซียส)	ปัจจัย C	24	25	26	27	28
เวลาในการผลิตน้ำแข็ง (นาที)	ปัจจัย D	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5

2) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน จะต้องทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อดูความเพียงพอของข้อมูลทางสถิติ มีดังนี้

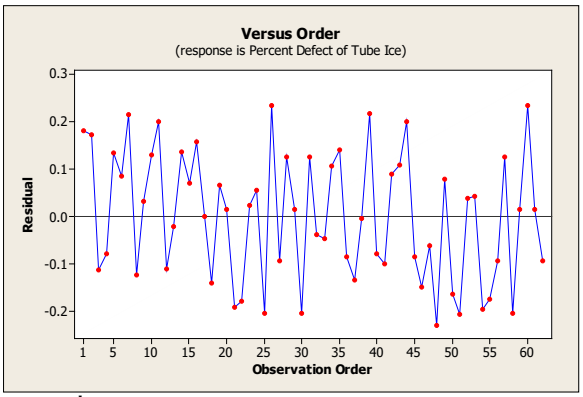
2.1) การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ จาก**รูปที่ 12** การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าคลาดเคลื่อน (Residual) พบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงและค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.193 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำให้สามารถประมาณได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ



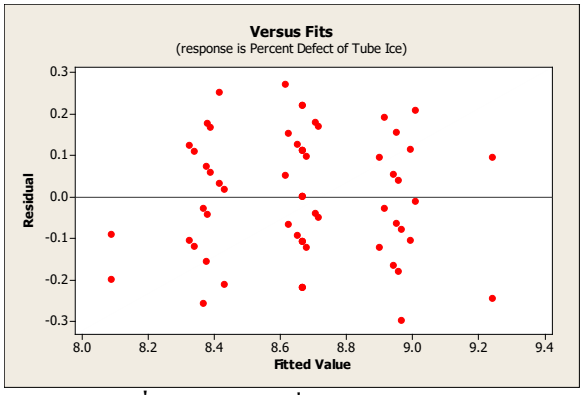
รูปที่ 12 การแจกแจงแบบปกติของค่าคลาดเคลื่อนสำหรับการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

2.2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล จาก**รูปที่ 13** การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล จากการนำผลการทดลองมาพิจารณาการกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อน พบว่า การกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อนเทียบกับลำดับการทดลองไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม ทำให้สามารถประมาณได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีความเป็นอิสระต่อกัน

2.3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน จาก**รูปที่ 14** การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน การกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อน พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าพยากรณ์ มีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่มีรูปแบบ ทำให้สามารถประมาณได้ว่าค่าความแปรปรวนของการทดลองมีความเสถียรอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 13 ค่าคลาดเคลื่อนกับลำดับการทดลองสำหรับการทดลองแบบส่วนประสมกลาง



รูปที่ 14 ค่าคลาดเคลื่อนกับค่าพยากรณ์
สำหรับการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

3) การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

จาก**ตารางที่ 7** พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (A) อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง (B) อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (C) เวลาในการผลิตน้ำแข็ง (D) พจน์กำลังสองของอุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (AA) พจน์กำลังสองของอุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (CC) และอิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยระหว่างอุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตและอุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (AC)

ตารางที่ 7 วิเคราะห์การถดถอยแบบพื้นผิวผลตอบสนองสำหรับการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

ตัวแปรอิสระ	ค่าประมาณ β_i	ค่าสถิติ T	ค่า P-Value
Constant	7.71714	339.722	0.000
A	0.10813	8.814	0.000*
B	0.12271	10.002	0.000*
C	0.11729	9.561	0.000*
D	-0.09521	-7.761	0.000*
AA	0.03952	3.516	0.001*
BB	-0.00298	-0.265	0.792
CC	0.05327	4.739	0.000*
DD	0.01077	0.958	0.343

ตารางที่ 7 วิเคราะห์การถดถอยแบบพื้นผิวผลตอบสนองสำหรับการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ	ค่าประมาณ β_i	ค่าสถิติ T	ค่า P-Value
AB	-0.01781	-1.186	0.242
AC	-0.03844	-2.558	0.014*
AD	0.00406	0.270	0.788
BC	0.02344	1.560	0.125
BD	-0.01656	-1.102	0.276
CD	-0.00969	-0.645	0.522

จากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ใน**ตารางที่ 7** เมื่อนำปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานจากการทดลองแบบส่วนประสมกลาง มาทำการวิเคราะห์การถดถอยต่อเพื่อสร้างสมการถดถอยประมาณค่าสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ได้ผลดัง**ตารางที่ 8**

ตารางที่ 8 วิเคราะห์การถดถอยสำหรับตัวแปรอิสระ A B C D AA CC และ AC

ตัวแปรอิสระ	ค่าประมาณ β_i	ค่าสถิติ T	ค่า P-Value
Constant	7.72433	465.135	0.000
A	0.10813	8.847	0.000
B	0.12271	10.040	0.000
C	0.11729	9.597	0.000
D	-0.09521	-7.790	0.000
AA	0.03877	3.498	0.001
CC	0.05252	4.739	0.000
AC	-0.03844	-2.568	0.013

S = 0.0846776, R-Sq = 87.28%, R-Sq(adj) = 85.63%

จาก**ตารางที่ 8** ได้สมการถดถอยดังแสดงในสมการที่ (1)

$$Y = 7.72433 + 0.10813A + 0.12271B + 0.11729C - 0.09521D + 0.03877AA + 0.05252CC - 0.03844AC \quad (1)$$

โดยกำหนดให้

A คือ อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต มีค่าอยู่ระหว่าง 22 ถึง 26 องศาเซลเซียส

B คือ อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง มีค่าอยู่ระหว่าง -7 ถึง -3 องศาเซลเซียส

C คือ อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง มีค่าอยู่ระหว่าง 24 ถึง 28 องศาเซลเซียส

D คือ เวลาในการผลิตน้ำแข็ง มีค่าอยู่ระหว่าง 37.5 ถึง 47.5 นาที

ซึ่งการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) เท่ากับ 87.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจจากการทดลองครั้งนี้อยู่ในระดับที่ดี ข้อมูลมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ [2]

4) การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ (Lack of Fit Test) มีสมมติฐาน ดังนี้

H_0: รูปแบบการถดถอยที่ได้เหมาะสม

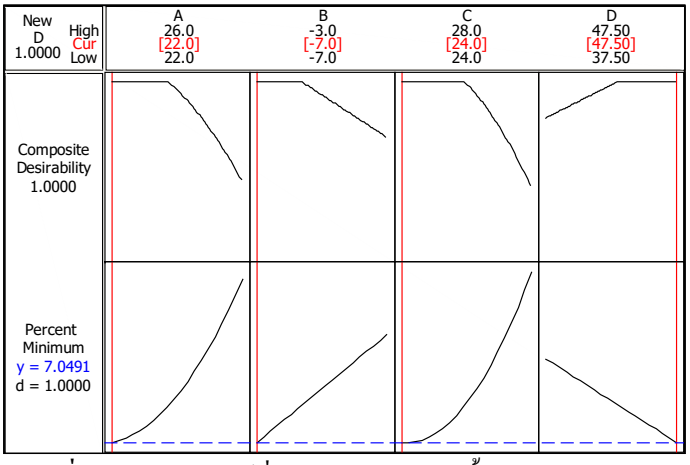
H_1: รูปแบบการถดถอยที่ได้ไม่เหมาะสม

จาก**ตารางที่ 9** จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบเท่ากับ 0.761 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่ารูปแบบการถดถอยที่ได้เหมาะสมแล้ว

5) สรุปผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง โดยพิจารณาจากกราฟพื้นผิวผลตอบสนอง แสดงดัง**รูปที่ 15** และ**ตารางที่ 10** โดยได้ค่าที่ดีที่สุด (Y) คือ มีสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน เท่ากับ 7.05 เปอร์เซ็นต์ และค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลคำตอบ (Composite Desirability: D) มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าผลคำตอบที่ได้นั้นอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับอย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบความถดถอย

แหล่งความผันแปร	องศาเสรี	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	ค่า P-value
Regression	7	4.15267	0.59324	26.71	0.000
Residual Error	54	1.19916	0.02221		
Lack of Fit	17	0.29867	0.01757	0.72	0.761
Pure Error	37	0.90049	0.02434		
Total	61	5.35183			

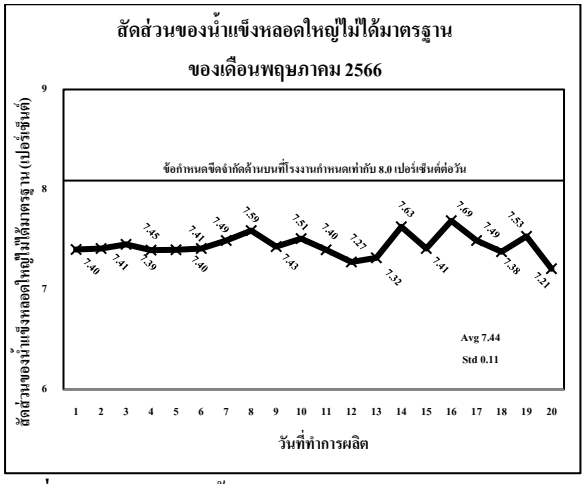


รูปที่ 15 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากกราฟพื้นผิวผลตอบสนอง

ตารางที่ 10 ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดใหญ่

ปัจจัย	ระดับ
อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (A)	22 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง (B)	-7 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง (C)	24 องศาเซลเซียส
เวลาในการผลิตน้ำแข็ง (D)	47.5 นาที

หลังจากได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานหลังการปรับปรุงเพื่อใช้ยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูลว่ากระบวนผลิตดีขึ้น โดยเก็บข้อมูลเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2566 จำนวน 20 วัน แสดงดัง**รูปที่ 16** และ**ตารางที่ 11**



รูปที่ 16 สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2566

จาก**รูปที่ 16** พบว่าสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2566 คิดเฉลี่ยเป็น 7.44 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.11 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ลดลงคิดเป็น 8.37 เปอร์เซ็นต์ หรือลดลง 12,140 กิโลกรัมต่อเดือน เทียบกับเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 โดยต้นทุนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานที่ต้องผลิตซ้ำ 1.51 บาท/กิโลกรัม สรุปได้ว่าสามารถลดต้นทุนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานที่ต้องผลิตซ้ำ 18,331.40 บาทต่อเดือน และจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงในกระบวนการนี้ สามารถลดสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานได้

ตารางที่ 11 ค่าสถิติต่าง ๆ จากผลการทดลองหลังการปรับปรุงสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2566

ค่าทางสถิติ	หลังการปรับปรุง (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)
สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานเฉลี่ย	7.44
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.11
ขอบเขตบนสัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	7.48

5. สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางเริ่มจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้น พบว่า บริษัทกรณีศึกษา ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตน้ำแข็ง ซึ่งในปัจจุบันผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอดใหญ่ มีปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนสูงสุด งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอดใหญ่ ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์หลักของบริษัทกรณีศึกษาทั้งนี้หากพิจารณาปัญหาของผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอดใหญ่ในแต่ละประเภทพบว่าปัญหาปริมาณน้ำแข็งหลอดใหญ่ที่ขนาดไม่ได้มาตรฐาน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 159 ตันต่อเดือน หรือคิดเป็น 83.25 เปอร์เซ็นต์จากปัญหาทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงเลือกพัฒนาและปรับปรุงปัญหาขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

1) การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำแข็งหลอดที่เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต

จากปัญหาหลักของงานวิจัยในเรื่องปัญหาปริมาณน้ำแข็งหลอดใหญ่ที่ขนาดไม่ได้มาตรฐาน ได้นำมาศึกษาปัจจัยที่เกิดจากปัญหา โดยพบว่าก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน สูงกว่า

ข้อกำหนดขีดจำกัดด้านบนที่โรงงานกำหนด โดยจากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิตพบว่า สาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาคือ มีค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) เท่ากับ 270 แสดงว่าสาเหตุนั้นมีความรุนแรงมาก ซึ่งมีค่ามากกว่า 100 มีจำนวน 4 สาเหตุหลัก ได้แก่ อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง เวลาในการผลิตน้ำแข็งตามลำดับ

2) การพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดโดยการออกแบบการทดลอง

จากสาเหตุหลักของปัญหาปริมาณน้ำแข็งหลอดใหญ่ที่ขนาดไม่ได้มาตรฐานได้นำมาปรับปรุงแก้ไขโดยใช้การออกแบบการทดลอง 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อที่จะกรองปัจจัยที่ไม่มีผลต่อสัดส่วนของขนาดน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k และขั้นตอนที่สองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง จากผลการวิจัยพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต คือ อุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต 22 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง -7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็ง 24 องศาเซลเซียส เวลาในการผลิตน้ำแข็ง 47.5 นาที

3) การประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด

ในการประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่เกิดจากปัญหาปริมาณน้ำแข็งหลอดใหญ่ที่ขนาดไม่ได้มาตรฐาน จากการวิเคราะห์สมการถดถอยคือ $Y = 7.72433 + 0.10813A + 0.12271B + 0.11729C - 0.09521D + 0.03877AA + 0.05252CC - 0.03844AC$ และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตพบว่า สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานลดลงกว่าเดิมคิดเป็น 8.37 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดต้นทุนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานที่ต้องผลิตซ้ำ 18,331.40 บาทต่อเดือน

5.2 อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดโดยการออกแบบการทดลอง และได้หาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต พบว่าระดับปัจจัยของอุณหภูมิน้ำดิบป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต อุณหภูมิที่เครื่องผลิตน้ำแข็ง และอุณหภูมิภายในห้องผลิตน้ำแข็งอยู่ที่ระดับต่ำ ซึ่งแปรผกผันกับระดับปัจจัยของเวลาในการผลิตน้ำแข็งอยู่ที่ระดับสูง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Phannuchareonwong et al. [15] ที่ได้ศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแข็งตัวของน้ำแข็งหลอดเช่นเดียวกัน โดยเป็นเพราะว่าเมื่อลดอุณหภูมิทั้ง 3 ปัจจัยในการผลิตและเพิ่มเวลาในการผลิต สัดส่วนของน้ำแข็งหลอดใหญ่ไม่ได้มาตรฐานจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่โรงงานกำหนด แต่ในการปรับอุณหภูมิทั้ง 3 ปัจจัยในการผลิตก็ไม่ควรที่จะต่ำจนเกินไปและปรับเวลาในการผลิตไม่ควรที่จะนานจนเกินไปเพราะอาจสิ้นเปลืองพลังงานได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

เสนอให้สถานประกอบการที่ดำเนินธุรกิจในประเภทเดียวกันที่มีกระบวนการผลิตน้ำแข็ง สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตได้ ทั้งในระบบการทดลองและการใช้ข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำแข็งประเภทต่าง ๆ ได้ และเพื่อประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงงานกรณีศึกษาผลิตน้ำแข็ง ที่ได้ให้ข้อมูลวิจัยและช่วยเหลืออนุเคราะห์ในการทำวิจัยฉบับนี้ และเอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อการวิจัยด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Singhakant, “Hazards from Contaminated Ice, Related Laws and Sanitation,” *Public Health & Health Laws Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 279–293, 2018.

[2] P. Sudasna-na-Ayudthya and P. Luangpaiboon, “Introduction,” in *Design and analysis of experiment*,

1st ed. Bangkok, Thailand: Top Publishing, 2008, ch. 1, sec. 1, pp. 1–4.

[3] D. C. Montgomery, "Factorial and Fractional Factorial Experiments for Process Design and Improvement," in *Introduction to statistical quality control*, 8th ed. New York, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2019, ch. 13, sec. 5, pp. 523–550.

[4] D. C. Montgomery, "Response Surface Methods and Designs," in *Design and analysis of experiments*, 10th ed. New York, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2019, ch. 11, sec. 4.2, pp. 430–436.

[5] A. Leenatham and P. Khemavuk, "Process Improvement of PTCA Guide Wire by Using Design of Experiment," *SWU Engineering Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 12–24, 2019.

[6] L. Ma, D. Djurdjanovic and R. Dugnani, "Statistical accuracy of fractographic estimation in silicate glasses with design of experiments and pairwise T-tests," *Engineering Failure Analysis*, vol. 116, 2020, Art. no. 104699, doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104699.

[7] A. Semsri, "Determination of Optimum Temperature of Barrel Heater for Reducing Waste in Plastic Injection Molding Process of Tractor Turn Signal Cover Parts using DMAIC Techniques," *Engineering and Technology Horizons*, vol. 39, no. 3, pp. 111–130, 2022.

[8] N. Leenatham, W. Sudsomboon, S. Kaewkuekool, C. Kaewdee and W. Pansrinual, "The Efficiency Improvement of STR 20 Block Rubber Production Process by Using Design of Experiments," *Naresuan University Engineering Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 119–139, 2021. doi: 10.14456/nuej.2021.12.

[9] H. Boumaiza, P. Dutournié, J -M. Le Meins, L. Limousy, J. Brendlé, C. Martin, N. Michau and L. Dzene, "Iron-rich clay mineral synthesis using design of experiments approach," *Applied Clay Science*, vol. 199, 2020, Art. no. 105876, doi: 10.1016/j.clay.2020.105876.

[10] T. L. S. Coelhoa, F. M. S. Braga, N. M. C. Silva, C. Dantas, C. A. Lopes, S. A. A. Sousa and E. C. Vieira, "Optimization of the protein extraction method of goat meat using factorial design and response surface methodology," *Food Chemistry*, vol. 281, pp. 63–70, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.12.055.

[11] S. Silaloy, P. Srisattayakul and C. Na-Badalung, "Parameter optimization of 7-wires strand process," *RMUTL Engineering Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 11–20, 2023, doi: 10.14456/rmutlengj.2023.2.

[12] N. Chanchay, A. Siangsuepchart and S. Boonkerd, "Optimization using Central Composite Design (CCD) for the Carotenoid Production from Rhodotorula rubra MJU18 on Corn Dust by Solid State Fermentation," *King Mongkut's Agricultural Journal*, vol. 37, no. 2, pp. 332–341, 2019.

[13] P. Yartprom and A. Chinsuwan, "An Improvement of Tubular-Ice Making Machine Coefficient of Performance with a Commercial Water Chiller," *Engineering and Technology Horizons*, vol. 40, no. 1, pp. 126–138, 2023.

[14] K. Pochana and P. Jongpanyalert, "Reduction of Downtime Rate of Machines in Ice Tube Production Process: A Case Study of Khlong Ngae Ice Tube Factory," *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, vol. 5, no. 2, pp. 101–116, 2015.

[15] N. Phannuchareonwong, C. Benchapiyaporn, R. Ladsritha and S. Thongyotee, "The Study of Parameters Effect of Solidification Tubular Ice," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 63–80, 2013.

[16] M. Kaikaewkanjana, "Strengthening of the Measures to Control the Production of Ice Cubes in Chainat," *Thai Journal of Pharmacy Practice*, vol. 7, no. 2, pp. 130–144, 2015.