การลดเวลาผสมในกระบวนการผลิตโลชัน

บดินทร์ เรือนทิพย์
นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สุจินต์ ธงถาวรสุวรรณ และ วิบุญ ตั้งวโรดมนุกูล*
อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2470-9194 อีเมล: viboon.tan@kmutt.ac.th
รับเมื่อ 20 เมษายน 2558 ตอบรับเมื่อ 13 กรกฎาคม 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 3 ธันวาคม 2558
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผสมโลชันส่วนใหญ่ต้องใช้ไปกับการเตรียมวัตถุดิบ การผสมวัตถุดิบเพื่อทำเป็นอิมัลชัน การทำให้ส่วนผสมเย็นตัว และการชั่งน้ำหนักโลชัน โดยเฉพาะเวลาที่ใช้ไปกับการรอให้ส่วนผสมเย็นตัวถือเป็นความสูญเปล่าในการผลิตและต้องลดเวลาในส่วนนี้ลงให้มากที่สุด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงโดยมุ่งเน้นเรื่องการลดเวลาที่ใช้ในการทำเย็นส่วนผสมโลชัน โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ ความเร็วใบพัด Scraper ความเร็วใบพัด Paddle และระบบหล่อเย็น เมื่อทำการศึกษากระบวนการทำเย็น พบว่าความเร็วใบพัด Scraper ของเครื่องผสม และระบบการหล่อเย็น เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำเย็นส่วนผสม จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อใช้ความเร็วใบพัด Scraper ที่สูงขึ้นประกอบกับการเปิดใช้น้ำหล่อเย็นในช่วงเติมวัตถุดิบ สามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ส่วนผสมเย็นตัวลงได้จากเดิม 64.50 นาที เป็น 45.12 นาที

คำสำคัญ: การผลิตโลชัน กระบวนการผสม การลดเวลาสูญเปล่า การปรับปรุงกระบวนการ

การอ้างอิงบทความ: บดินทร์ เรือนทิพย์, สุจินต์ ธงถาวรสุวรรณ และ วิบุญ ตั้งวโรดมนุกูล, "การลดเวลาผสมในกระบวนการผลิตโลชัน," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 1, หน้า 85–93, ม.ค.–เม.ย. 2559. DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.07.012

Reduction of Mixing Time in Lotion Manufacturing

Bordin Ruentip
Student, Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

Sujin Tongthavornsuwan and Viboon Tangwarodomnukun*
Lecturer, Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-2470-9194, E-mail: viboon.tan@kmutt.ac.th
Received 20 April 2015; Accepted 13 July 2015; Published online: 3 December 2015
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Most of the lotion mixing time is consumed in the preparation of raw materials, emulsifying, cooling and weight measurements of lotion. Specifically, time spent waiting in the cool-down phase is deemed a loss in a routine manufacturing process and thus needs to be minimized. Therefore, this research aims to reduce the time spent in the lotion cooling process. The important factors are rotational speed of scraper, rotational speed of paddle and water cooling system. After examining the cooling process, the rotating speed of impeller and cooling system were found to be major factors affecting the cooling time. The experimental results revealed that the high rotational speed of scraper and the water-activated cooling system during the mixing step significantly reduce the cooling phase from 64.50 minutes to 45.12 minutes.

Keywords: Lotion Manufacturing, Mixing Process, Reduction of Loss Time, Process Improvement

Please cite this article as: B. Ruentip, S. Tongthavornsuwan, and V. Tangwarodomnukun, "Reduction of Mixing Time in Lotion Manufacturing," *The Journal of KMUTNB.*, Vol. 26, No. 1, pp. 85–93, Jan.–Apr. 2016 (in Thai). DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.07.012

1. บทนำ

ขั้นตอนการผสมในกระบวนการผลิตโลชันโดยทั่วไปมักใช้เวลาในการผสมที่นาน เนื่องจากต้องทำให้ส่วนผสมที่ประกอบไปด้วยน้ำและน้ำมันผสมเข้ากันในรูปของอิมัลชันที่อุณหภูมิสูงประมาณ 80°C ในกระบวนการผสมจะมีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์เป็นสารช่วยลดแรงตึงผิวและทำให้ส่วนผสมมีความคงตัวมากยิ่งขึ้น การกวนผสมอาศัยใบพัดในการตีส่วนผสม เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อส่วนผสมอยู่ในรูปของอิมัลชันแล้วจะถูกทำให้เย็นตัวลงจาก 80°C เหลือ 36°C ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานมากที่สุด จากงานวิจัยของธิดารัตน์ [1] พบว่ากระบวนการทำอิมัลชันครีมนวดผมเกิดการเสียเวลาโดยส่วนใหญ่ไปกับการเตรียมวัตถุดิบทำให้เกิดการรอคอย เนื่องจากต้องรอให้วัตถุดิบไขมันละลายก่อนนำมาทำอิมัลชันกับน้ำ อีกทั้งยังเกิดการเสียเวลารอคอยในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย เนื่องจากต้องรอให้อุณหภูมิของส่วนผสมลดลงถึงระดับที่สามารถนำมาทำการตรวจสอบคุณสมบัติของครีมนวดได้อย่างถูกต้อง

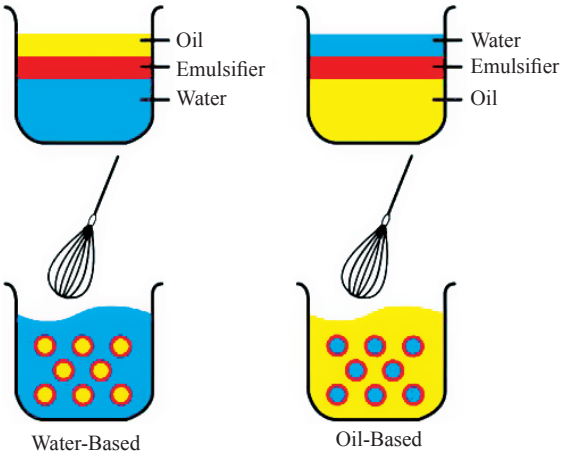
กระบวนการทำเย็นเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบหนึ่ง ซึ่งการถ่ายเทความร้อนมีวิธีการที่หลากหลายแตกต่างกันออกไป นำพน และคณะ [2] ได้ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการทำงานในแนวระดับพบว่าท่อความร้อนแบบ CLOHP/CV (Closed Loop Oscillating Heat Pipe with Check Valves) สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดเนื่องจากมีปัจจัยสำคัญคือ ขนาดท่อความร้อนแบบสั่น (เส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวส่วนทำระเหย) และพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน เมื่ออุณหภูมิการทำงานเพิ่มขึ้นพบว่าอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน อีกแนวทางหนึ่ง ดุสิต และคณะ [3] ทำการเพิ่มสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องขนานด้วยการเซาะร่องพื้นผิวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนเป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งเป็นการเพิ่มความปั่นป่วนในการไหลของของไหล จากการทดลองพบว่าช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น โดยค่า e/D (Relative Roughness) ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ สุทิน [4] ได้ใช้แผ่นใบบิดไปประยุกต์ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การใช้แผ่นใบบิดแบบสลับแกนหมุนตามเข็มและทวนเข็มทำให้เกิดสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของท่อผิวเรียบโดยของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบเกลียวไปตามความยาวของแผ่นใบบิดส่งผลให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นตามไปด้วย Masiuk และคณะ [5] ได้ทำการวัดค่าการใช้พลังงาน เวลาการผสม การถ่ายเทมวลและความร้อนของถังของเหลวที่มีใบพัด พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นถ้ามีการเพิ่มจำนวนใบพัดหรือทำให้ของเหลวมีการปั่นป่วนนั้นคือมีค่า Reynolds Number (อัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด) เพิ่มขึ้น

จากงานวิจัยในอดีตต่างๆ ข้างต้นให้ทำทราบแนวทางในการปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น โดยหลักสำคัญในการปรับปรุงคือทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ที่มีการนำความร้อน และการพาความร้อน มาประยุกต์ในการปรับปรุงงาน เช่น การทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน การเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งในแต่ละงานวิจัยข้างต้นได้อาศัยหลักการเหล่านี้มาใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการ เพื่อทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาปัญหาการทำเย็นภายหลังการผสมโลชันที่ใช้เวลานานในงานวิจัยนี้ หลักการถ่ายเทความร้อนจึงเป็นแนวทางสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาเพื่อลดเวลาในการทำเย็นลง

2. กระบวนการผสมผลิตภัณฑ์ประเภทโลชัน

ขั้นตอนแรกของกระบวนการผสมที่จะต้องทำความสะอาดอุปกรณ์การผลิต ถังเตรียมวัตถุดิบและถังผสม โดย



รูปที่ 1 การผสมกันระหว่างน้ำกับน้ำมันโดยมีตัวอิมัลซิไฟเออร์ลดแรงตึงผิวทำให้เข้ากันง่ายขึ้น

ทำการล้างให้สะอาด จากนั้นฆ่าเชื้อด้วยน้ำร้อน 80°C ใช้เวลาทั้งหมด 17 นาที จากนั้นนำวัตถุดิบจำพวก น้ำ ผงแป้งขาว เม็ดไขแข็ง มาหลอมให้ละลายที่อุณหภูมิสูง 80°C ที่ถังเตรียมวัตถุดิบ และกวนผสมให้เข้ากัน โดยมีถังผสมอยู่ 2 ส่วน คือ ถังเตรียมวัตถุดิบประเภทน้ำ และถังเตรียมวัตถุดิบประเภทน้ำมัน ใช้เวลาทั้งหมด 46 นาที เมื่อทำการผสมส่วนผสมในแต่ละถังเข้ากันดีแล้วจึงนำเอาส่วนผสมจากถังเตรียมวัตถุดิบประเภทน้ำและน้ำมันมาผสมเข้าด้วยกันที่ถังผสมรวม เพื่อทำให้เป็นอิมัลชัน [6] ดังแสดงในรูปที่ 1 ขั้นตอนการผสมรวมกันนี้ใช้เวลาทั้งหมด 27 นาที

เมื่อส่วนผสมเข้ากันเป็นอิมัลชันแล้ว ส่วนผสมจะถูกลดอุณหภูมิลงจาก 80°C เป็น 36°C เพื่อให้อิมัลชันมีการคงสภาพในสถานะของเหลวกึ่งของแข็ง การทำเย็นอาศัยการหล่อเย็นด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 11–12°C ซึ่งการทำเย็นในกระบวนการผลิตโลชันใช้เวลาทั้งหมด 64.50 นาที คิดเป็น 32.17% ของเวลาการผสม

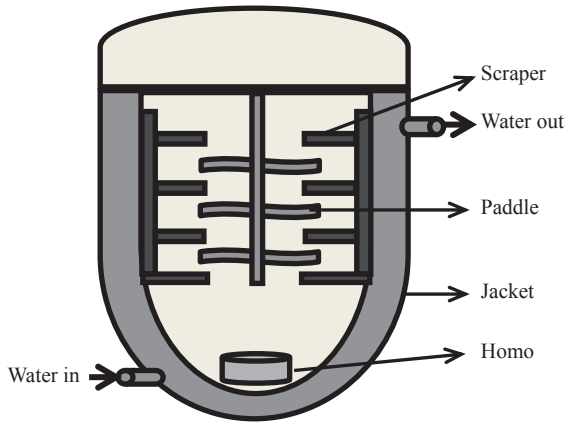
เมื่อโลชันเย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิ 36°C แล้ว จะถูกนำไปตรวจสอบความหนืด และค่า pH ว่าอยู่ในช่วงของการควบคุมหรือไม่ หากไม่อยู่ในช่วงจะต้องแก้ไขโดยมีการปั่นเพิ่ม และ/หรือ ปรับอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อไป ซึ่งใช้เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการตรวจสอบนี้ประมาณ 22 นาที เมื่อโลชันที่ผลิตมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานโลชันจะถูกนำไปชั่งเพื่อตรวจสอบน้ำหนัก ซึ่งใช้เวลาประมาณ 11 นาที ก่อนนำไปเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 18–22°C เพื่อให้ส่วนผสมมีการคงสภาพมากขึ้น โดยทำการเก็บเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อคุณสมบัติต่างๆ ของโลชันผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดแล้ว จึงจัดส่งไปยังแผนกบรรจุผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อบรรจุลงขวดต่อไป

จากขั้นตอนการทำงานข้างต้น [7] เวลาในการผลิตทั้งหมดอยู่ที่ 200.50 นาที และสามารถสังเกตได้ว่าช่วงเวลาในการทำให้ส่วนผสมเย็นตัวจากอุณหภูมิ 80°C ไปยังอุณหภูมิ 36°C เป็นช่วงเวลาที่นานที่สุดในกระบวนการผลิต คือใช้เวลาในการทำเย็นนานถึง 64.50 นาที คิดเป็น 32.17% ซึ่งถือเป็นเวลาสูญเปล่าที่มากและต้องหาแนวทางในการลดเวลาที่ใช้ในส่วนนี้ลง

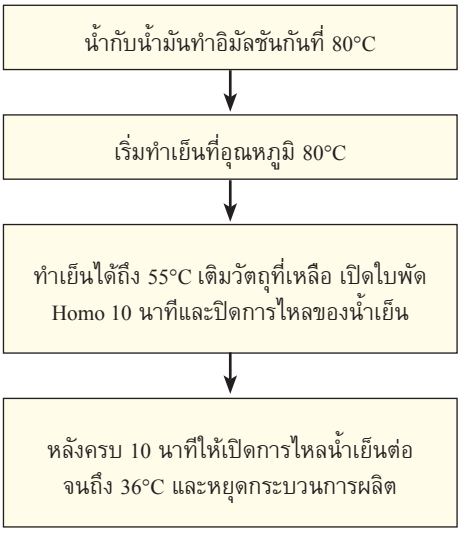
3. แนวทางในการลดเวลาในช่วงเวลาทำเย็น

การทำเย็นด้วยการหล่อเย็นทำให้เวลาที่ใช้ในการลดอุณหูมิของส่วนผสมสั้นลง อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการทำเย็นของการผลิตโลชันนี้มีระยะเวลาในการทำเย็นที่นานหากเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและในห้องผลิตที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิน้ำในระบบหล่อเย็น จึงเกิดการสูญเสียความเย็นตามแนวของท่อน้ำหล่อเย็น เนื่องจากน้ำเย็นจากเครื่องชิลเลอร์ในการผลิตโลชันนี้สามารถทำเย็นได้ต่ำสุดเพียง 6.8°C ที่อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น 96.91 ลิตรต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขของระบบทำความเย็นนี้ การลดเวลาทำเย็นลงโดยไม่ต้องลงทุนซื้อเครื่องชิลเลอร์ใหม่จึงเป็นเรื่องที่ท้าทายและถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้

จากการวิเคราะห์การทำงานของถังผสมช่วงขณะที่ทำความเย็นพบว่าปัจจัยที่น่าจะเกี่ยวข้องและเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ มีทั้งหมด 3 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือความเร็วของใบพัด Scraper ซึ่งเป็นใบพัดขอบในที่คอยกวาดส่วนผสมด้านข้างของถังผสมและมีตำแหน่งของใบพัดติดกับ Jacket มากที่สุดซึ่งเป็นบริเวณที่มีการไหล



รูปที่ 2 ถังผสมโลชันและส่วนประกอบของถังผสม



รูปที่ 3 กระบวนการทำเย็นของโลชัน

ของน้ำหล่อเย็นสำหรับใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ปัจจัยที่สองคือ ความเร็วของใบพัด Paddle ซึ่งเป็นใบพัดแกนกลางที่ใช้ในการปั่นผสมโลชัน ใบพัด Paddle นี้น่าจะมีส่วนช่วยในการกระจายตัวของความเย็นด้วยเช่นกัน ตำแหน่งและลักษณะของใบพัด Scraper และ Paddle ในถังผสมถูกแสดงในรูปที่ 2

ปัจจัยสุดท้ายที่สามารถควบคุมได้คือ การเปิด-ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็นในช่วงการใส่เพิ่มวัตถุดิบพร้อมเปิดใช้ใบพัด Homo ตามขั้นตอนในรูปที่ 3

การเปิดใช้ใบพัด Homo ซึ่งเป็นใบพัดบดละเอียด ทำให้วัตถุดิบจำพวกน้ำหอม สี สารยับยั้งเชื้อและสารต่างๆ สามารถแทรกเข้าไปในส่วนผสมได้อย่างละเอียดขึ้น โดยปกติแล้วตามขั้นตอนการผลิตแนะนำให้ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็นช่วงอุณหภูมิ 55°C แล้วเติมวัตถุดิบที่เหลือลงไปในถังผสม เมื่อเติมครบแล้วจึงให้ทำการเปิดใบพัด Homo เพื่อให้วัตถุดิบที่ใส่เข้าไปผสมกัน การเติมวัตถุดิบส่วนที่เหลือนี้ ซึ่งปกติแล้วเป็นสารที่ไม่ทนความร้อน ต้องใส่ในถังผสมในขณะที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 55°C ถึง 45°C [6] แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุณหภูมิและเวลาสะสมในการผสม

อุณหภูมิ (°C)	เวลาสะสมในการผสม (นาที)
80	0
75	6
70	10
65	15
60	19
55	25 (เริ่มเติมวัตถุดิบส่วนที่เหลือ)
50	37
45	52
40	58
36	65

ด้วยเหตุนี้ ในขณะการเติมวัตถุดิบและทำการผสมจะปิดการไหลของน้ำหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิการเติมให้เหมาะสมและกันไม่ให้อุณหภูมิลดต่ำมากเกินไป เพราะการเข้ากันของวัตถุดิบสามารถเข้ากันได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 55°C ถึง 45°C อย่างไรก็ตาม การทำเช่นนี้ทำให้ไม่มีการพาความร้อนเกิดขึ้นระหว่างส่วนผสมกับน้ำหล่อเย็น จะมีเพียงน้ำหล่อเย็นที่ค้างใน Jacket ที่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น หากมีการเปิดน้ำหล่อเย็นในช่วงการเติมส่วนผสมจะช่วยให้สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงช่วยลดเวลาในการทำเย็นลงได้ นอกจากนี้ หากมีการเติมวัตถุดิบลงไปและเปิดใบพัด Homo พร้อมกันไปด้วย น่าจะช่วยให้วัตถุดิบผสมได้เข้ากันก่อนที่อุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า 45°C อนึ่ง ในการเติมวัตถุดิบส่วนที่เหลือนั้น พนักงานผสมจะใช้เวลา

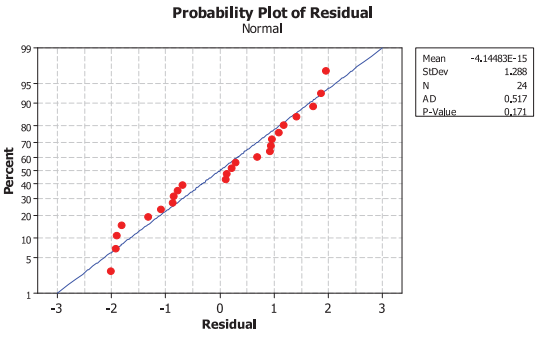
ในการเติมวัตถุ 5 นาที และจากตารางที่ 1 พบว่าหากเริ่มเติมวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 55°C อุณหภูมิในการผสมไม่น่าจะลดต่ำลงน้อยกว่า 45°C เมื่อทำการเติมวัตถุดิบจนครบหมดแล้ว ด้วยการใช้สภาวะการผสมเช่นนี้จึงน่าจะไม่ส่งผลกระทบใดๆ ในเรื่องของคุณภาพของโลชันที่ผลิตได้

ปัจจัยทั้ง 3 ข้างต้น เป็นปัจจัยหลักที่เชื่อว่ามีผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำเย็นส่วนผสม นอกจากนี้ จากงานวิจัยในอดีต[4], [5] ยังทำให้ทราบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัวและความเร็วในการผสมสามารถประมาณให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นได้ ดังนั้น เพื่อทดสอบสมมติฐานดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบ 23 แฟกทอเรียล [8] โดยการทดลองนี้เป็นการทดลองที่มีจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยหลัก และมีจำนวนระดับของปัจจัยหลัก 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ในการทดลองนี้ ความเร็วใบพัด Scraper ที่ 35 และ 42 rpm ถูกเลือกมาทดสอบ โดยความเร็วที่ 35 rpm เป็นระดับความเร็วที่ถูกใช้อยู่ในกระบวนการผสมปัจจุบัน ในขณะที่ความเร็ว 42 rpm เป็นระดับความเร็วสูงสุดที่ไม่ก่อให้เกิดการกระเด็นของส่วนผสมติดบนฝาถังด้านใน การกระเด็นของส่วนผสมเช่นนี้ส่งผลโดยตรงต่อการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มเวลาในการทำความสะอาดฝาถังอีกด้วย สำหรับเกณฑ์ในการกำหนดค่าความเร็วของใบพัด Paddle ก็มีเหตุผลเช่นเดียวกันกับกรณีของใบพัด Scraper

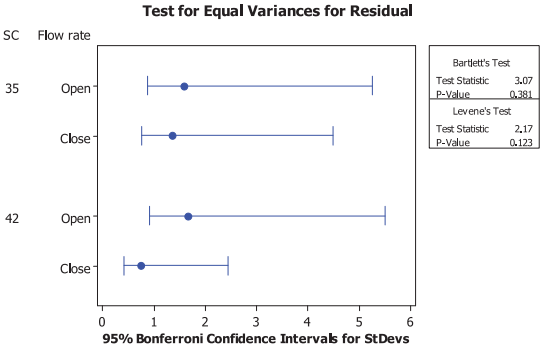
ในแต่ละสภาวะทดสอบมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และมีลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ ดังนั้น จำนวนการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้มี 24 การทดลอง สำหรับตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาในการทดลองนี้คือเวลาที่ใช้ในการทำเย็นส่วนผสมจากอุณหภูมิ 80°C มาเป็น 36°C

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ควบคุมสำหรับการทดลอง

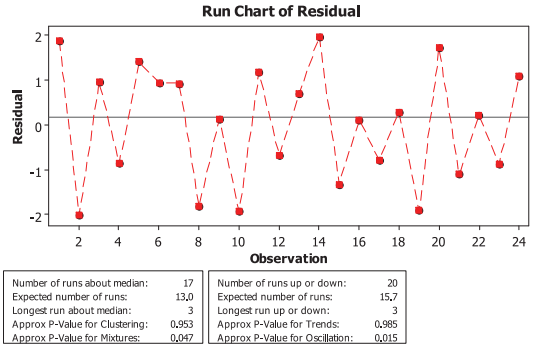
ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ	ระดับสำหรับการทดลอง (Level)
ความเร็วใบพัด Scraper (rpm)	35, 42
ความเร็วใบพัด Paddle (rpm)	30, 36
การเปิด-ปิดการไหลน้ำหล่อเย็นช่วงเติมวัตถุดิบ	Open, Close



รูปที่ 4 Normality Test



รูปที่ 5 Equal Variance Test



รูปที่ 6 Independent Test

4. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้ถูกตรวจสอบคุณภาพและความพอเพียงของข้อมูล โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ด้าน คือ 1) Normality 2) Equal Variance และ 3) Independent Test ผลการทดสอบที่ได้แสดงในรูปที่ 4 ถึง 6 ตามลำดับ

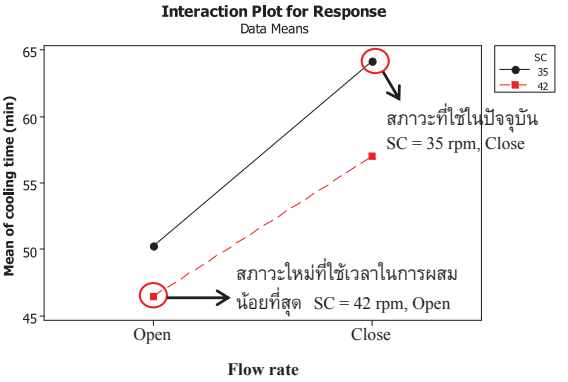
จากการตรวจสอบทั้ง 3 ด้านข้างต้น พบว่าค่า P-Value ของทั้ง 3 ผลการทดสอบมีค่ามากกว่า 0.05 ที่ระดับนัยสำคัญ 95% นั่นแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเพียงพอและสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อได้

ผลการทดลองที่ได้ถูกแสดงในตารางที่ 3 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ถูกแสดงในตารางที่ 4 จากผลที่ได้พบว่า ปัจจัยด้านความเร็วรอบของใบพัด Scraper และปัจจัยเรื่องการเปิด-ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็นในช่วงการเติมวัตถุดิบพร้อมกับเปิดใบพัด Homo มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ผลที่ได้เช่นนี้แสดงว่า ปัจจัยทั้ง 2 มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำเย็นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยด้านความเร็วรอบของของใบพัด Paddle พบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.399 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นความเร็วรอบของใบพัด Paddle ที่แตกต่างกันตามขอบเขตที่พิจารณาในการทดลองนี้จึงไม่มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำเย็น

ตารางที่ 3 แผนการทดลองและผลการทดลอง

No.	SC (rpm)	PD (rpm)	Coolant flow	Cooling time (min)
1	35	30	Open	52.09
2	35	30	Open	48.22
3	35	30	Open	51.18
4	35	30	Close	63.30
5	35	30	Close	65.56
6	35	30	Close	65.10
7	35	36	Open	51.15
8	35	36	Open	48.42
9	35	36	Open	50.35
10	35	36	Close	62.23
11	35	36	Close	65.33
12	35	36	Close	63.47
13	42	30	Open	47.13
14	42	30	Open	48.40
15	42	30	Open	45.12
16	42	30	Close	57.12
17	42	30	Close	56.23
18	42	30	Close	57.30
19	42	36	Open	44.54
20	42	36	Open	48.15
21	42	36	Open	45.35
22	42	36	Close	57.23
23	42	36	Close	56.14
24	42	36	Close	58.10

SC คือความเร็วรอบของใบพัด Scraper
PD คือความเร็วรอบของใบพัด Paddle



รูปที่ 7 ผลกระทบของความเร็วรอบของใบพัด Scraper และการเปิด-ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็นต่อเวลาที่ใช้ในการทำเย็น

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบของใบพัด Scraper และการเปิด-ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็นในช่วงการเติมวัตถุดิบ พบว่ามีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นอิทธิพลของปัจจัยร่วมดังกล่าวส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำเย็นเช่นกัน เมื่อพิจารณาค่า R-Sq(adj) พบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในระดับที่สูง คือ 95.56% ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่า ผลการทดลองที่ได้นั้นสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยโปรแกรม

Source	DF	F	P
SC	1	77.03	0.000
PD	1	0.78	0.399
Coolant flow	1	386.96	0.000
SC*PD	1	0.19	0.714
SC*Coolant flow	1	7.27	0.013
PD*Coolant flow	1	0.08	0.779
SC*PS* Coolant flow	1	0.41	0.518
Error	15		
Total	23		

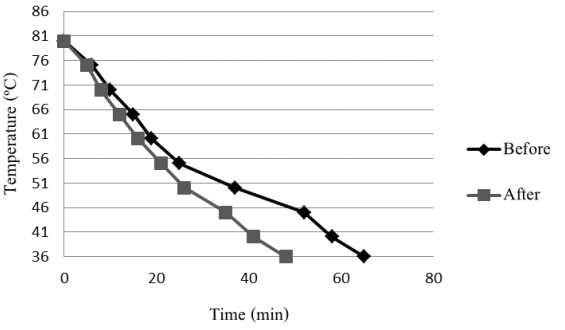
R-Sq(adj) = 95.56%
SC คือความเร็วรอบของใบพัด Scraper
PD คือความเร็วรอบของใบพัด Paddle

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัด Scraper การเปิด-ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็น และเวลาที่ใช้ในการทำเย็น ถูกแสดงในรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วรอบในการหมุนของใบพัด Scraper มีค่ามากขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการทำเย็นมีค่าลดลง เนื่องจากการหมุนใบพัดที่เร็วมากขึ้นมีผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น อีกทั้งการกระจายอุณหภูมิของส่วนผสมสามารถทำได้ไวมากขึ้นกว่าเดิม [9] สำหรับปัจจัยเรื่องการเปิด-ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็นในช่วงการเติมวัตถุดิบพร้อมกับเปิดใบพัด Homo พบว่า เมื่อเปิดระบบทำความเย็นในระหว่างการเติมส่วนผสมสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำเย็นลงได้มาก เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการทำเย็นเดิม คือใช้ความเร็วรอบของใบพัด Scraper ที่ 35 รอบต่อนาที และปิดการหล่อเย็นในช่วงการเติมวัตถุดิบ กับสภาวะการทำเย็นใหม่ (ความเร็วรอบของใบพัด Scraper ที่ 45 รอบต่อนาที และเปิดระบบหล่อเย็นในช่วงการเติมวัตถุดิบ) พบว่าระยะเวลา ที่ใช้ในการทำเย็นสามารถลดลงจากเดิม 64.50 นาที เหลือเพียง 45.12 นาที หรือสามารถลดเวลารอคอยในกระบวนการทำเย็นลงได้ถึง 30% ลักษณะการเย็นตัวของส่วนผสมเมื่อใช้สภาวะในการทำเย็นก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าอัตราการลดลงของส่วนผสมภายหลังการปรับปรุงมีระดับที่มากกว่าสภาวะที่ใช้ก่อนทำการปรับปรุง อีกทั้งการเย็นตัวยังมีความสม่ำเสมอและต่อเนื่องมากกว่าสภาวะการทำเย็นเดิมอีกด้วย

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเรื่องการเติมวัตถุดิบส่วนที่เหลือในช่วงอุณหภูมิ 55°C ถึง 45°C ตามขั้นตอนการผสมในรูปที่ 3 พบว่า เมื่อใช้สภาวะในการทำเย็นใหม่ อุณหภูมิถังผสมยังคงอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด ภายหลังการเติมวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 55°C เป็นระยะเวลา 5 นาที โดยอุณหภูมิถังผสมที่อ่านได้ภายหลังการเติมวัตถุดิบเสร็จยังมีค่ามากกว่า 45°C ดังแสดงในรูปที่ 8

เนื่องจากมีการปรับสภาวะในการทำเย็นใหม่โดยเพิ่มความเร็วรอบของใบพัด Scraper ขึ้นและเปิดการหล่อเย็นในช่วงการเติมวัตถุดิบที่เหลือพร้อมเปิดใบพัด Homo คุณภาพของส่วนผสมที่ได้จึงต้องถูกตรวจสอบเพื่อให้สามารถแน่ใจได้ว่าการปรับตั้งสภาวะในการทำเย็นใหม่นี้



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิถังผสมและเวลาที่ใช้ของสภาวะก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

จะไม่มีผลต่อคุณภาพของโลชันที่ผลิตได้ เมื่อทำการทดสอบส่วนผสมตัวอย่างที่ได้ภายหลังกระบวนการทำเย็น พบว่าค่าความหนืด ค่า pH และค่าความหนาแน่นของโลชันรวมไปถึงลักษณะของเนื้อโลชันสีกลิ่นเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยผลการตรวจสอบแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การตรวจสอบคุณภาพโลชันก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ค่าความหนืด 10,200–15,500 (Cps.)		**ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5–6 (pH)**		**ค่าความหนาแน่น 0.945–1.045(g/ml)**	
ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
12,777	12,237	5.42	5.53	0.997	1.004

5. สรุป

การลดอุณหภูมิของส่วนผสมภายหลังกระบวนการผสมเพื่อผลิตเป็นโลชันในมักใช้ระยะเวลานานและถือเป็นความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวทางในการลดระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนของการทำให้ส่วนผสมเย็นตัวลงก่อนทำการจัดเก็บและบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำเย็นมี 2 ปัจจัยคือ ความเร็วรอบในการหมุนของใบพัด Scraper ภายในถังผสม และการเปิด-ปิดระบบหล่อเย็นในระหว่างการเติมส่วนผสม เมื่อทำการเพิ่ม

ความเร็วรอบของใบพัด Scraper จากเดิม 35 รอบต่อนาที เป็น 45 รอบต่อนาที และเปิดระบบหล่อเย็นในระหว่างการเติมวัตถุดิบสามารถช่วยลดเวลาในกระบวนการผสมโลชันลงได้จากเดิม 64.50 นาที เป็น 45.12 นาที โดยที่คุณสมบัติของโลชันที่ได้ยังคงอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดของการผลิต

เอกสารอ้างอิง

[1] T. Kangvan, "Reduction of mixing time in hair condition process," Industrial Research Project of Master of Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2002.

[2] N. Pipatpaiboon, S. Rittidech, and T. Paramatthanuwat, "Heat transfer characteristics of oscillating heat pipes," *The Journal of KMUTT*, vol. 36, pp. 259–270, 2013.

[3] D. Buranachopaisran and P. Prumawong, "Heat transfer and laminar flow friction in a grooved channel," *The Journal of KMITL*, vol. 23, pp. 25–30, 2006.

[4] S. Pholboorn, "Heat transfer and pressure loss characteristics in circular tube with twisted tape," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 10, pp. 134–149, 2014.

[5] S. Masiuk and R. Rakoczy, "Power consumption mixing time, heat and mass transfer measurements for liquid vessels that are mixed using reciprocating multiplates agitators," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 46, pp. 89–98, 2007.

[6] P. Rerapornpisit, *Cosmetics Emulsion*, Bangkok: Ocean Store Publisher, 1997.

[7] M. Jungtanasombati, *Process Management*, McGraw-Hill, 2011.

[8] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiment*, 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 2005.

[9] J. P. Holman, *Heat Transfer*, 7th ed., McGraw-Hill, 1992.