

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
การเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวโดยการเพิ่มประสิทธิภาพ
การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิต



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **62691**
วัน,เดือน,ปี... **2.1 ส.ค. 2549**

b. 11729504
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ENHANCEMENT OF SKIN CARE PRODUCTS PRODUCTIVITY BY INCREASING
HEAT TRANSFER EFFICIENCIES IN THE PRODUCTION PROCESS**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**


2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญานิพนธ์เรื่อง การเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวโดยการเพิ่มประสิทธิภาพ
การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิต
โดย นายเกรียงไกร นำโชคประเสริฐ
นางสาวจุฑารัตน์ ขอมอินทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นาวาเอกพิชเชนทร์ ตันประเสริฐ
ผู้อำนวยการฝ่ายผลิตกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล
บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

 ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

 กรรมการ

(อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

 กรรมการ

(อ.рінฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการเรื่อง	การเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิต
โดย	นายเกรียงไกร นำโชคประเสริฐ นางสาวจุฑารัตน์ ขอมอินทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อัญชสิทธิ์ วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นาวาเอกพิชเชนทร์ ดันประเสริฐ ผู้อำนวยการฝ่ายผลิตกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด
ปริญญาานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลวของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินและซีดร้ามีรอบเวลาการผลิตสูง ทั้งนี้เนื่องจากใช้เวลาในกระบวนการเพิ่มและลดอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบมาก จากการปรับปรุงกระบวนการโดยเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น พบว่าเวลาที่ต้องรอเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของของผสมให้ได้ตามค่าเป้าหมายลดลง สำหรับกระบวนการลดอุณหภูมิของของผสม ตัวแปรที่พิจารณาเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของหอทำน้ำหล่อเย็น คือ อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นขาเข้าเปลือกหุ้มของถังผสมหลัก หลังจากเพิ่มขนาดพัดลมดูดอากาศที่หอทำน้ำหล่อเย็น พบว่าเวลาที่รอการลดอุณหภูมิของของผสมในถังผสมลดลง สรุปต้นทุนสำหรับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการถ่ายเทความร้อนของทั้งสองกระบวนการเท่ากับ 170,600 บาท ระยะเวลาคืนทุน 22.4 วัน ซึ่งคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสที่จะได้รับเท่ากับ 13,914,000 บาท/ปี

คำสำคัญ ผลผลิต ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว
การถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

Report Title Enhancement of Skin Care Products Productivity by Increasing Heat Transfer Efficiencies in the Production Process

By Mr. Kriangkrai Namchokprasert
Miss Jutharat Khom-in

Advisor Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

Co-advisor Captain Pichayane Tanprasert R.T.N
Manufacturing Director – Personal care
The Unilever Thai Holdings Limited

Report for Bachelor Degree in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

In the production of personal care liquids at a case study company, it was found that the skin care product, i.e., Vaseline and Citra, had a long cycle time due to heating and cooling processes in raw material mixing. After changing the plates of a plate heat exchanger, the heating process was shortened. In case of cooling process, the temperature and the inlet flow rate of cooling water through a jacket of a batch mixing tank were considered to determine the optimal operating conditions of the cooling tower. After increasing the size of fan in the cooling tower, the cooling process decreased. The total modification cost to increase heat transfer efficiencies of both processes were 170,600 baht with payback period 22.4 days. The calculated opportunity cost was 13,914,000 baht/year

Keywords Productivity, Personal care liquid product, Skin care product, Heat transfer, Heat transfer efficiency

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด คุณคงศักดิ์ พานิช อดีตกรรมการผู้อำนวยการฝ่ายผลิต คร. วิวรรณ กฤษฎาสีมะ รองประธานกรรมการบริหาร ฝ่ายผลิต และผู้บริหารของบริษัทที่ให้โอกาสในการทำโครงการที่โรงงาน คุณสุเมธ โรจน์ดำรงการ ผู้จัดการแผนกผลิตด้านส่วนผสมผลิตภัณฑ์น้ำยาเครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคล คุณชัชวาล วรเจริญ หัวหน้าแผนกผลิตด้านส่วนผสมผลิตภัณฑ์น้ำยาเครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคล คุณศิริชัชร์ ทองเกิด และพนักงานทุกท่านของแผนกผสมผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว ที่ให้ข้อมูล คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดการทำงาน

ขอขอบพระคุณรศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา และ นาวาเอกพิชเชนทร์ ดันประเสริฐ ผู้อำนวยการฝ่ายผลิตกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการทำงาน และตรวจแก้ไขรายงานทำให้ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อ.บุญชัย โชควิวิวัฒนิชัย และ อ.เร็นฤดี เบญจางคประเสริฐ กรรมการสอบปริญญาณิพนธ์

ขอขอบคุณโครงการ โครงการอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (Industrial and Research Projects for Undergraduate Students: IRPUS) ประจำปี 2548 ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนเงินทุนในการดำเนินโครงการ

ความเห็นในรายงานผลการดำเนินโครงการนี้เป็นของผู้ดำเนินโครงการ หน่วยงานสนับสนุนทุนวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและไม่ต้องรับผิดชอบต่อความเห็นที่เสนอนั้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจ และคำแนะนำตลอดมา หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดคณะผู้ดำเนินโครงการขออภัยมา ณ ที่นี้

นายเกรียงไกร นำโชคประเสริฐ

นางสาวจุฑารัตน์ ขอมอินทร์

16 มีนาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การถ่ายเทความร้อน.....	4
2.1.1 การนำความร้อน.....	4
2.1.2 การพาความร้อน.....	4
2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน.....	5
2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchangers).....	5
2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบรีคูเปอร์เตอร์.....	5
2.3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double pipe heat exchanger).....	6
2.3.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell-and-tube heat exchanger).....	7
2.3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchanger: PHE).....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นวน (Spiral plate heat exchanger).....	10
2.3.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผงท่อติดครีป (Fin-and-tube heat exchanger).....	11
2.4 การแลกเปลี่ยนความร้อนในถังผสม.....	12
2.5 การประมาณเวลาสำหรับการให้ความร้อนหรือการหล่อเย็นแก่ของผสมในถังผสม แบบกะผ่านเปลือกหุ้ม.....	12
2.5.1 กรณีตัวกลางให้ความร้อนมีอุณหภูมิคงที่.....	12
2.5.2 กรณีตัวกลางหล่อเย็นมีอุณหภูมิคงที่.....	13
2.5.3 กรณีตัวกลางให้ความร้อนมีอุณหภูมิไม่คงที่.....	14
2.5.4 กรณีตัวกลางหล่อเย็นมีอุณหภูมิไม่คงที่.....	15
2.6 หอทำน้ำหล่อเย็น (Cooling tower).....	15
2.6.1 หลักการทำงาน.....	16
2.6.2 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ.....	16
2.6.3 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล.....	17
2.6.4 ประสิทธิภาพของหอทำน้ำหล่อเย็น.....	19
บทที่ 3 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวและผลการดำเนินโครงการ	
3.1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว.....	21
3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว.....	24
3.2.1 วิเคราะห์ปัญหา.....	24
3.2.2 การแก้ไขปัญหและผลการแก้ไข.....	24
3.2.2.1 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการให้ความร้อน.....	24
3.2.2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการลดอุณหภูมิ.....	28
บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	32
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	33
ภาคผนวก ก การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยโปรแกรม MINITAB.....	35
ภาคผนวก ข การคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity cost).....	67
ภาคผนวก ค ต้นทุนในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการถ่ายเทความร้อน.....	69
ภาคผนวก ง ข้อมูลการประมาณเวลาสำหรับการหล่อเย็นผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม.....	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างข้อมูลผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว.....	2
ตารางที่ 2.1 ประโยชน์จากรูปแบบโครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น.....	10
ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้รอการเพิ่มอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนและหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน.....	26
ตารางที่ 3.2 เวลาที่ใช้รอการเพิ่มอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนและหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน.....	27
ตารางที่ 3.3 เวลาที่ใช้รอการลดอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนและหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น.....	30
ตารางที่ 3.4 เวลาที่ใช้รอการลดอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนและหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น.....	31
ตารางที่ ก.1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิ ของของผสมในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ บำรุงผิววาสลีน ก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน.....	36
ตารางที่ ก.2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิ ของของผสมในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ บำรุงผิววาสลีน หลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน.....	40
ตารางที่ ก.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิ ของของผสมในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ บำรุงผิวชนิดร่า ก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน.....	45
ตารางที่ ก.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิ ของของผสมในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ บำรุงผิวชนิดร่า หลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน.....	49
ตารางที่ ก.5 ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ลดอุณหภูมิของผสมในถึงผสมหลักกับเวลา ในการรออุณหภูมิของผสมลดถึงค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีน ก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.6 ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ลดอุณหภูมิของผสมในถังผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้น หลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น.....	58
ตารางที่ ก.7 ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ลดอุณหภูมิของผสมในถังผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดรี ก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น.....	61
ตารางที่ ก.8 ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ลดอุณหภูมิของผสมในถังผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดรี หลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น.....	65
ตารางที่ ง.1 เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของผสมในถังผสมผ่านเปลือกหุ้มที่คำนวณจากสมการประมาณเวลา.....	73

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น.....	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ.....	7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น.....	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะการไหลของของไหลผ่านผิวหน้าของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน.....	9
รูปที่ 2.5 ภาพตัดขวางของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นวน.....	11
รูปที่ 2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผงท่อติดครีป.....	11
รูปที่ 2.7 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ.....	17
รูปที่ 2.8 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบไหลสวนทาง.....	18
รูปที่ 2.9 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบ ไหลตัดกัน.....	18
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้น.....	21
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นกับระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ ของของผสมที่อุณหภูมิขาเข้าของน้ำหล่อเย็นต่างๆ.....	28
รูปที่ ก.1 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้นก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด.....	37
รูปที่ ก.2 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้นก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด.....	37
รูปที่ ก.3 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้นก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1.....	38
รูปที่ ก.4 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้นก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2.....	38
รูปที่ ก.5 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้นก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลมี ความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.882.....	39
รูปที่ ก.6 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้นหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.7 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด.....	41
รูปที่ ก.8 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1.....	42
รูปที่ ก.9 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2.....	42
รูปที่ ก.10 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 3.....	43
รูปที่ ก.11 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 4.....	43
รูปที่ ก.12 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลมี ความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.319.....	44
รูปที่ ก.13 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชีวิตร่าก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด.....	46
รูปที่ ก.14 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชีวิตร่าก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด.....	46
รูปที่ ก.15 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชีวิตร่าก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1.....	47
รูปที่ ก.16 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชีวิตร่าก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.17 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลมี ความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.241.....	48
รูปที่ ก.18 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด.....	50
รูปที่ ก.19 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด.....	50
รูปที่ ก.20 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1.....	51
รูปที่ ก.21 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2.....	51
รูปที่ ก.22 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 3.....	52
รูปที่ ก.23 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 4.....	52
รูปที่ ก.24 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 5.....	53
รูปที่ ก.25 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิต ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลมี ความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.512.....	53
รูปที่ ก.26 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.27 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด.....	56
รูปที่ ก.28 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1.....	57
รูปที่ ก.29 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.556.....	57
รูปที่ ก.30 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด.....	59
รูปที่ ก.31 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด.....	59
รูปที่ ก.32 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1.....	60
รูปที่ ก.33 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.477.....	60
รูปที่ ก.34 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด.....	62
รูปที่ ก.35 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด.....	62
รูปที่ ก.36 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มี ความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1.....	63

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.37 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลที่ตัดค่า ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2.....	63
รูปที่ ก.38 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.104.....	64
รูปที่ ก.39 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด มีความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.578.....	66
รูปที่ ก.40 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด.....	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภายใต้สภาวะการแข่งขันและสถานการณ์ด้านเศรษฐกิจในปัจจุบัน การเพิ่มผลผลิตหรือผลิตภาพในการผลิต (Productivity) และการลดต้นทุนเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญยิ่ง เพราะการแข่งขันไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่าจะผลิตสินค้าได้มาก แต่ยังขึ้นอยู่กับจะผลิตอย่างไรให้รวดเร็วด้วยต้นทุนที่เหมาะสมกว่าและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าคู่แข่ง นอกจากนี้ยังต้องส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันตามกำหนดเวลา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือสามารถเพิ่มผลผลิตให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค สิ่งที่ควรพิจารณาเมื่อต้องการเพิ่มผลผลิต คือ การจัดการเวลาและต้นทุนการผลิต ด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการผลิตให้ดีขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

หน่วยผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคล (Home and Personal Care Products Plant: HPC liquid plant) เป็นหน่วยผลิตหลักของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเหลวต่างๆ ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล (Personal care products) เช่น แชมพู คอนดิชันเนอร์ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว และผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน (Home care products) เช่น น้ำยาล้างจาน น้ำยาปรับผ้านุ่ม

HPC liquid plant มีถังผสมหลัก (Main mixer) ทั้งหมด 7 ถัง และถังผสมรอง 10 ถัง แบ่งเป็น ก. ถังผสมหลักแบบมีเปลือกหุ้ม (Jacket) ขนาด 6 ตัน จำนวน 5 ถัง ใช้ผลิตแชมพู ครีมนวดน้ำ คอนดิชันเนอร์ และผลิตภัณฑ์บำรุงผิว แต่ละถังผสมหลักประกอบด้วยถังผสมรองดังนี้

- ถังผสมหลักถังที่ 1 (MX 101) ประกอบด้วยถังผสมรองที่มีเปลือกหุ้ม 1 ถัง (MX 103)
- ถังผสมหลักถังที่ 2 (MX 201) ประกอบด้วยถังผสมรองที่มีเปลือกหุ้ม 1 ถัง (MX 203)
- ถังผสมหลักถังที่ 3 (MX 301) ประกอบด้วยถังผสมรองที่มีเปลือกหุ้ม 1 ถัง (MX 303) และที่ไม่มีเปลือกหุ้ม 1 ถัง (MX 304)
- ถังผสมหลักถังที่ 4 (MX 401) ประกอบด้วยถังผสมรองที่มีเปลือกหุ้ม 1 ถัง (MX 403) และที่ไม่มีเปลือกหุ้ม 1 ถัง (MX 404)
- ถังผสมหลักถังที่ 5 (MX 501) ประกอบด้วยถังผสมรองที่มีเปลือกหุ้ม 1 ถัง (MX 503) และที่ไม่มีเปลือกหุ้ม 1 ถัง (MX 504)

ข. ถังผสมหลักแบบไม่มีเปลือกหุ้มขนาด 10 ตัน จำนวน 2 ถัง ใช้ผลิตน้ำยาล้างจาน 1 ถัง (MX 601) และอีก 1 ถัง (MX 701) ใช้ผลิตน้ำยาปรับผ้านุ่ม แต่ละถังผสมหลักประกอบด้วยถังผสมรอง 1 ถังที่ไม่มีเปลือกหุ้ม คือ MX 603 และ MX 703 ตามลำดับ

ตัวอย่างข้อมูลผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลวแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าผลิตภัณฑ์บำรุงผิวมีราคาขายต่อตันสูงแต่รอบเวลาการผลิตนาน ทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity cost)

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างข้อมูลผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว

ผลิตภัณฑ์	ราคาขายต่อตัน (บาท)	เวลาในการรออุณหภูมิตามค่า เป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)	รอบเวลาการผลิต (นาที)
ครีมอาบน้ำล้าง	65,000	54	390
แชมพูชั้นซิด	40,000	0	209
ทอนดิชั่นเนอร์	50,000	77	358
ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว	100,000	49	460

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้ ศึกษาที่หน่วยผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคลของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด เน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในขั้นตอนการเพิ่มอุณหภูมิและขั้นตอนการลดอุณหภูมิระหว่างกระบวนการผสมวัตถุดิบ เพื่อลดรอบเวลาการผลิต (Cycle time) ของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนและซิดร้า ซึ่งจะดำเนินการดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาขั้นตอนของกระบวนการผลิตและระบบการถ่ายเทความร้อน
- 1.3.2 เก็บและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหา
- 1.3.3 เสนอแนวทางการแก้ปัญหาและนำไปทดสอบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

- 1.4.1 วิเคราะห์ข้อมูลและปัญหาเบื้องต้นเพื่อหาแนวทางในการทำงาน
- 1.4.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.3 ศึกษากระบวนการผลิตและระบบการถ่ายเทความร้อนในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนและซิดร้า ที่หน่วยผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.4 เก็บข้อมูลที่จำเป็น เช่น เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการถ่ายเทความร้อน คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น และหอทำน้ำหล่อเย็น ระยะเวลาการผสมวัตถุดิบของแต่ละผลิตภัณฑ์ทุกขั้นตอน
- 1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูล หาสาเหตุของปัญหาและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการถ่ายเทความร้อน
- 1.4.6 เสนอแนวทางการแก้ปัญหาให้ทีมงานของบริษัทพิจารณา
- 1.4.7 นำแนวทางที่ผ่านการเห็นชอบแล้วมาทดสอบจริงกับระบบการผลิตในหน่วยผลิต
- 1.4.8 วิเคราะห์ สรุปผลการดำเนินงาน และเขียนรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว
- 1.5.2 ลดรอบเวลาการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว
- 1.5.3 ได้ฐานข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์กับหน่วยการผลิตอื่นๆ ของบริษัท หรือแนวทางสำหรับระบบการผลิตของบริษัทอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน
- 1.5.4 สามารถประหยัดพลังงานจากกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทความร้อน [1-8]

การถ่ายเทความร้อนแบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction heat transfer) การพาความร้อน (Convection heat transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer)

2.1.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน หมายถึง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง จากโมเลกุลของด้านที่มีอุณหภูมิสูงไป โมเลกุลของด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอย่างต่อเนื่อง การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบการนำความร้อนคำนวณจากกฎของฟูรีเยร์ (Fourier's law)

กฎของฟูรีเยร์ กล่าวว่า “สำหรับการนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางดังกล่าว”

2.1.2 การพาความร้อน

การพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของเหลวหรือกับก๊าซ หรือระหว่าง ของเหลวกับของเหลวหรือกับก๊าซ ผลการเคลื่อนที่ของของไหลส่งผลให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนั้น การถ่ายโอนพลังงานความร้อนเป็นผลมาจากการแพร่ (Diffusion) ของโมเลกุลของไหล

การพาความร้อนแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.2.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or Natural convection) เป็นการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นผลของแรงลอยตัวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่น อันเกิดจากมีผลต่างของอุณหภูมิของของไหลใน 2 บริเวณ ตัวอย่างการพาความร้อนแบบธรรมชาติ เช่น ลมที่ลอยขึ้นจากปล่องไฟเนื่องจากความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศโดยรอบ

2.1.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เป็นการเคลื่อนที่ของของไหลจากแรงกระทำภายนอก เช่นจากเครื่องสูบ (Pump) เครื่องเป่าลม (Blower) ตัวอย่างเช่น การใช้พัดลมดูดอากาศที่หอทำน้ำหล่อเย็นทำให้เกิดการพาความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ

2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกผิวตัวกลางหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) หรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยวัสดุตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดในสุญญากาศได้

2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchangers) [9-10]

ในงานวิศวกรรมหลายประเภทต้องอาศัยกระบวนการการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่มีอุณหภูมิต่างกันด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ แบบรีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) แบบรีคูเพอเรเตอร์ (Recuperator) และแบบสัมผัสโดยตรง (Direct contact)

ของไหลร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบรีเจนเนอเรเตอร์จะถ่ายเทความร้อนให้กับตัวกลางที่มีคุณสมบัติในการเก็บความร้อนได้ดี และของไหลเย็นจะมารับความร้อนจากตัวกลางดังกล่าวนี้ ตัวอย่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้ เช่น ระบบอุ่นอากาศ (Air preheater) ก่อนเข้าเตาหม้อน้ำในโรงจักรพลังไอน้ำ

สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบรีคูเพอเรเตอร์ ของไหลร้อนและเย็นจะแยกจากกันด้วยผนังซึ่งเป็นของแข็ง ดังนั้นบางครั้งจึงมีชื่อเรียกว่า surface heat exchanger ส่วนใหญ่เครื่องแบบนี้จะมีลักษณะเป็นท่อสวมอยู่ภายใน ของไหลชนิดหนึ่งจะไหลภายในท่อ และอีกชนิดจะไหลภายนอกท่อ ตัวอย่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องควบแน่น (Condenser) ในโรงจักรพลังไอน้ำ หม้อระบายความร้อนน้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil cooler) ของเครื่องยนต์ขนาดใหญ่

ส่วนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัมผัสโดยตรงนั้นของไหลร้อนและเย็นจะสัมผัสกันโดยตรง ตัวอย่างได้แก่ หอทำน้ำหล่อเย็น (Cooling tower) ซึ่งน้ำและอากาศสัมผัสกันโดยตรง และหม้ออุ่นน้ำแบบปิดในโรงจักรพลังไอน้ำ เป็นต้น ในงานนี้จะอธิบายเฉพาะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบรีคูเพอเรเตอร์ และหอทำน้ำหล่อเย็นเท่านั้น

2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบรีคูเพอเรเตอร์ [9-17]

โดยปกติเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบรีคูเพอเรเตอร์จะแบ่งตามการจัดการไหล (Flow arrangement) และรูปแบบการสร้าง (Type of construction) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบง่ายที่สุด คือ ชนิดที่ของไหลร้อนและเย็นไหลในท่อกลมซึ่งสวมกัน (Concentric tube)

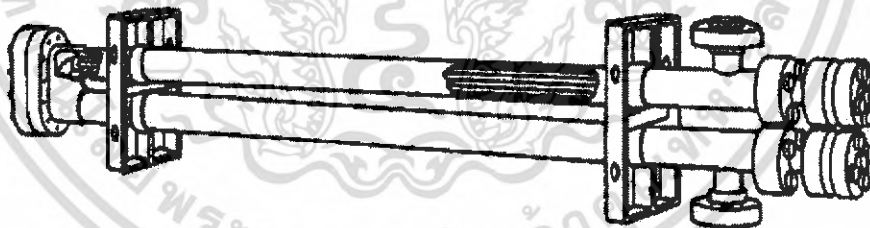
แบบไหลทิศทางเดียวกัน (Parallel flow หรือ Co current flow) หรือไหลสวนทางกัน (Counter flow) หรือไหลตั้งฉากกัน (Cross flow)

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพิจารณาเฉพาะการนำความร้อน และการพาความร้อน ไม่พิจารณาการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากเป็นกระบวนการทำงานที่อุณหภูมิไม่สูงมาก หลังจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ทำงานไปแล้วในระยะเวลาหนึ่งผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอาจถูกเคลือบด้วยสิ่งสกปรก เรียกว่าเกิดตะกรัน ทำให้เกิดการอุดตันภายในระบบการไหลได้ หรือที่ผิวอาจถูกกัดเซาะจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างของไหลกับวัสดุที่ใช้ทำเป็น โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทั้งการอุดตันและการกัดเซาะจะทำให้สมรรถนะหรือประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง

ประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบรีคูเปอเรเตอร์

2.3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double pipe heat exchanger) [11]

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นมี 2 ระบบ คือ แบบของไหลไหลสวนทาง และแบบไหลขนาน โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยท่อ 2 ขนาดที่ซ้อนกันอยู่ โดยมีแกนกลางของท่อร่วมกัน ปกติจะเป็นท่อทองแดง ของไหลชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ภายในท่อส่วนของไหลอีกชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในช่องว่างรูปร่างแหวนระหว่างท่อในและท่อนอก โดยทั่วไปปลายข้างหนึ่งจะถูกเชื่อมด้วยท่อโค้งรูปตัว U (U Bend) บางครั้งเรียกชื่อตามรูปร่างของเครื่องว่า “เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแฮร์พิน (Hairpin heat exchanger)”



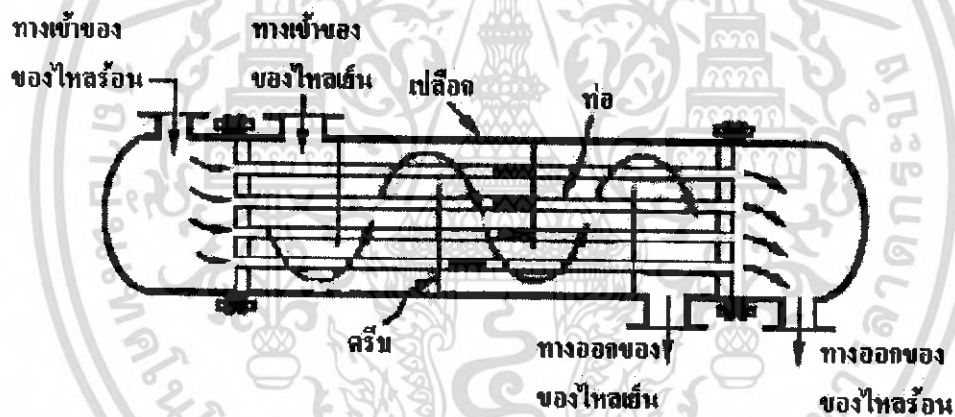
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น [12]

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้เหมาะสำหรับการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของของไหลที่มีความดันและความหนืดสูงหรือมีฤทธิ์การกัดกร่อนสูง ในบางครั้งจะใช้ท่อที่มีสปีนเป็นท่อชั้นในเพื่อเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อน ลักษณะเด่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น คือ โครงสร้างค่อนข้างง่าย ราคาของเครื่องต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ถ่ายเทความร้อนค่อนข้างถูก และเมื่อมีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่การถ่ายเทความร้อนมากก็สามารถนำมาต่อกันแบบอนุกรม (Series) หรือแบบขนาน (Parallel) ได้ ลักษณะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้คือของไหล

ไหลสวนทางกันด้วยความเร็วที่เหมาะสม ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีและมีความดันสูญเสียต่ำ

2.3.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell-and-tube heat exchanger) [10]

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ใช้งานในอุตสาหกรรมมากที่สุด เนื่องจากความยืดหยุ่นทั้งในด้านแบบ วัสดุที่ใช้สร้าง ช่วงของอุณหภูมิและความดันในการทำงาน ตลอดจนความสะดวกในการประกอบและบำรุงรักษา โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อแสดงดังรูปที่ 2.2 มีการจัดเรียงท่อเป็นแบบท่อซ้อนคล้ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น โดยมีจำนวนท่อหลายท่อในเปลือก ของไหลร้อนจะไหลอยู่ด้านในของท่อ ขณะที่ของไหลเย็นจะไหลผ่านเปลือกและอยู่ด้านนอกของท่อเหล่านั้น และอาจมีการติดตั้งแผ่นกั้นไว้ภายในเปลือกเพื่อให้แน่ใจว่าของไหลด้านเปลือกจะไหลผ่านท่อต่างๆ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น การจัดเรียงท่อมีหลายลักษณะ เช่น แบบท่อผ่านภายในเปลือกครั้งเดียว (1-tube pass) แบบท่อผ่านภายในเปลือกสองครั้ง (2-tube pass) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ [13]

2.3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchanger: PHE) [14]

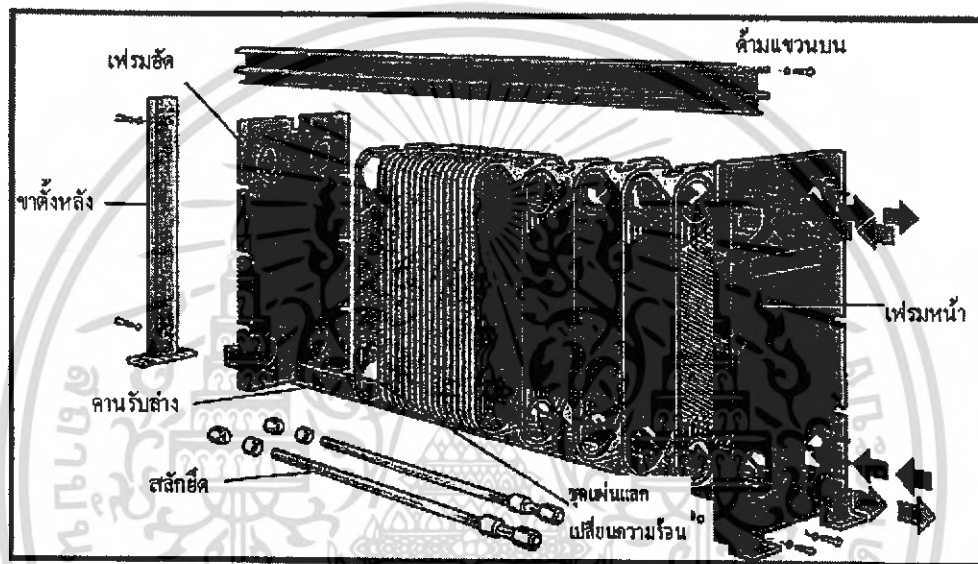
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นใช้เพื่อให้ความร้อน หรือทำความเย็น หรือเพื่อการนำความร้อนกลับมาใช้อีกในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

- อุตสาหกรรมเคมี
- อุตสาหกรรมอาหาร
- อุตสาหกรรมจักรกล
- อุตสาหกรรมปิโตรเลียม ปิโตรเคมี
- อุตสาหกรรมกระดาษ
- ระบบปรับอากาศ
- อุตสาหกรรมเหล็ก
- โรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้มีน้ำหนักเบา มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงโดยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ 5 เท่า รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ซึ่งประกอบด้วย

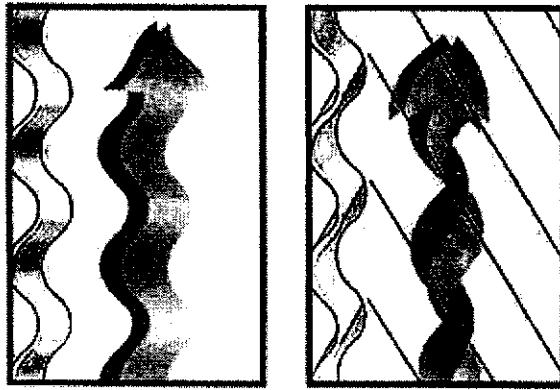
- จุดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน มีลักษณะเป็นลอนใช้เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลสองด้าน จุดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนนี้จะถูกประกอบอยู่ระหว่างเฟรมหน้าและเฟรมอัด โดยมีชุดสลักยึดให้แน่นอีกที่หนึ่ง บนแผ่นโลหะนี้จะมีปะเก็นอยู่รอบแผ่นเพื่อป้องกันการรั่วออกและบังคับทิศทางการไหลของของไหล



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น [14]

การกำหนดจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่จะใช้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล ความดันลด อุณหภูมิของไหลขาเข้าและออกที่ต้องการ เช่น จะใช้จำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนมากถ้าอัตราการไหลของของไหลและความดันลดสูง หรือถ้าความแตกต่างของอุณหภูมิของไหลขาเข้ากับอุณหภูมิของไหลขาออกมาก ทั้งนี้ลักษณะแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่เป็นลอนจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนและทนความดันได้สูง

แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เป็นชิ้นส่วนสำคัญทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนมี 2 ลักษณะดังรูปที่ 2.4 ก-ข



(ก) แบบลายกระดานซีกผ้า (ข) แบบลายก้างปลา

รูปที่ 2.4 ลักษณะการไหลของของไหลผ่านผิวหน้าของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน [14]

แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนแบบลายกระดานซีกผ้า (รูปที่ 2.4 ก) จะสร้างการไหลแบบปั่นป่วนโดยการเปลี่ยนทิศทางการไหลและความเร็ว ส่วนแบบลายก้างปลา (รูปที่ 2.4 ข) เมื่อถูกประกอบเข้าด้วยกันจะมีจุดสัมผัสของส่วนนูนทำให้เกิดการไหลแบบควงสวนขึ้น ลักษณะทั้งสองแบบจะสร้างการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งจะจัดการเกิดตะกรันได้

- ปะเก็น ทำหน้าที่ซีลระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนและเป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของของไหลให้ไหลสลับกันระหว่างแผ่น นอกจากนี้บริเวณช่องว่างระหว่างปะเก็นที่แบ่งทิศทางการไหลจะมีปะเก็นที่มีรูระบายเพื่อป้องกันของไหลไหลปะปนกัน การเลือกวัสดุที่ใช้ทำปะเก็นพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพของของไหล อุณหภูมิ และความดัน และจะต้องเป็นวัสดุพวกยืดหยุ่นได้ เช่น ยางไนไตรล์ ยาง EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) เป็นต้น

- เฟรม จะประกอบด้วยเฟรมหน้าและเฟรมอัด ทำหน้าที่ประกอบชุดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าด้วยกัน ความแข็งแรงของเฟรมเกิดจากการยึดเฟรมด้วยสลักยึด ดังนั้นจึงทำให้สามารถถอดประกอบชิ้นส่วนเมื่อต้องการเพิ่มหรือลดขนาดความจุของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือตรวจซ่อมและทำความสะอาด

ประโยชน์จากรูปแบบ โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสรุปในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประโยชน์จากรูปแบบโครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น [14-15]

รูปแบบ	ประโยชน์	ผลที่ได้
โครงสร้างถอดเปลี่ยนได้	ปรับปรุงได้	ลดค่าก่อสร้างเนื่องจากใช้ฐานรองรับขนาดเล็ก
มีเฟรมหน้าตั้งอยู่กับที่ ส่วนเฟรมอัดเคลื่อนได้	สะดวกในการตรวจสอบแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน	สะดวกต่อการปรับใช้งานในแต่ละหน่วยหน้าที่
มีจุดสัมผัสระหว่างแผ่นโลหะ	เกิดการสั่นน้อยที่สุด	ลดเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดลง
ใช้วิธีอัดขึ้นรูปแผ่นโลหะครั้งเดียว	มีความทนทานสูง	คุณภาพแผ่นโลหะดีขึ้น

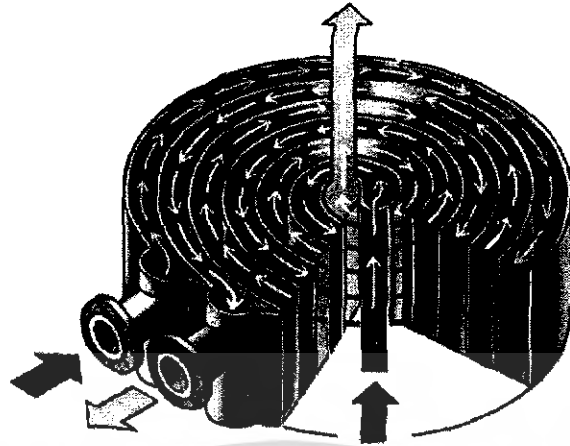
ข้อจำกัดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น [10]

ถึงแม้ว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นจะเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีมาก แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่การทนต่ออุณหภูมิและความดันของของไหลของปะเก็น ก็จะใช้ได้คืออย่างสมบูรณ์ในช่วงอุณหภูมิและความดันปานกลางเท่านั้น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 250 องศาเซลเซียสและความดันเกินกว่า 25 บาร์แล้ว ควรใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อซึ่งเป็นถังรับแรงดัน (Pressure vessel) ด้วยตัวของมันเองจะเหมาะสมกว่า

2.3.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นวน (Spiral plate heat exchanger)[10]

ประกอบด้วยแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนหนึ่งคู่ซึ่งถูกม้วนให้เกิดเป็นช่องทางไหลหมุนวนเหมือนกัน หอยดั่งรูปที่ 2.5 ข้อดีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้อยู่ที่ความกะทัดรัด การหมุนวนของของไหลทำให้เกิดการชะล้างจึงมีการตกตะกอนหรือมีคราบสกปรกน้อย

ข้อเสียที่สำคัญ คือ ทำการซ่อมบำรุงยาก มีข้อจำกัดด้านความดัน คือ ไม่ควรเกิน 15 บาร์ และไม่เหมาะกับการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.5 ภาพตัดขวางของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นวน [16]

2.3.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผงท่อคิคกริบ (Fin-and-tube heat exchanger) [10]

ตัวอย่างของอุปกรณ์ชนิดนี้ได้แก่ คอนเดนเซอร์ (Condenser) และเครื่องระเหย (Evaporator) ในระบบปรับอากาศและหม้อน้ำรถยนต์ เป็นต้น ลักษณะสำคัญ คือ มีของไหลร้อนไหลอยู่ในท่อ และมีอากาศพัดผ่านแผงท่อ เพื่อระบายความร้อนหรือรับความเย็นจากท่อ ตามปกติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของเหลวในท่อมักสูงกว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอากาศนอกท่อมัก ดังนั้นเพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจึงออกแบบให้มีครีบบนผิวโดยรอบของท่อดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผงท่อคิคกริบ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การแลกเปลี่ยนความร้อนในถังผสม [18]

ถังผสมที่มีเปลือกหุ้มจะใช้ในการให้ความร้อนหรือทำความเย็นแก่ของเหลวในถังผสม จากการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลวในถังผสมกับของเหลวที่ไหลผ่านเปลือกหุ้มของถังผสมแบบการนำความร้อนและการพาความร้อนแบบบังคับ สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จากการประยุกต์กฎการถ่ายเทความร้อนของนิวตัน (Newton's law of heat transfer) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลวในถังผสมกับของเหลวที่ไหลผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient: U) พื้นที่ผิวสัมผัสของการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิของของเหลวในถังผสมกับอุณหภูมิของของเหลวที่ไหลผ่านเปลือกหุ้ม

การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน คือ การทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น จะเห็นว่าตัวแปรที่สามารถปรับปรุงเพื่อทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น คือ อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิของของเหลวในถังผสมกับของเหลวที่ไหลผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม ซึ่งหากความแตกต่างนี้มีค่ามากจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ลักษณะการไหลของของเหลวแบบปั่นป่วนทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการไหลแบบราบเรียบ

2.5 การประมาณเวลาสำหรับการให้ความร้อนหรือการหล่อเย็นแก่ของผสมในถังผสมแบบกะผ่านเปลือกหุ้ม [19]

ถังผสมมีทั้งที่เป็นแบบกะ (Batch mixer) และแบบต่อเนื่อง (Continuous mixer) แต่โดยส่วนใหญ่จะใช้งานแบบกะ เนื่องจากค่าความต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยระหว่างของเหลวในถังผสมกับตัวกลางให้ความร้อนหรือตัวกลางหล่อเย็นเป็นฟังก์ชันกับเวลา ดังนั้นเมื่อทราบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมก็จะสามารถประมาณเวลาที่ใช้ระหว่างการให้ความร้อนหรือหล่อเย็นของเหลวในถังผสมได้

วิธีการคำนวณสำหรับระบบที่มีการให้ความร้อนหรือหล่อเย็นผ่านเปลือกหุ้มของถังผสมมีดังนี้

2.5.1 กรณีตัวกลางให้ความร้อนมีอุณหภูมิคงที่

คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จากสมการ

$$Q = WC_p \frac{dT_b}{dt} = UA(T_h - T_b) \quad (2.1)$$

ซึ่ง Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (วัตต์หรือจูลต่อวินาที)

W = มวลของของเหลวในถังผสม (กิโลกรัม)

C_p = ความจุความร้อนจำเพาะของของเหลวในถังผสม (จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน)

t = เวลาที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน (วินาที)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (วัตต์ต่อตารางเมตร เคลวิน)

A = พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (ตารางเมตร)

T_b = อุณหภูมิของของเหลวในถังผสม (เคลวิน)

และ T_h = อุณหภูมิของตัวกลางให้ความร้อน เช่น ไอน้ำ (เคลวิน)

สามารถจัดรูปสมการที่ 2.1 ใหม่ ได้เป็น

$$\frac{dT_b}{T_h - T_b} = \frac{UA}{WC_p} dt$$

เมื่อทำการอินทิเกรตในช่วงเวลา Δt ที่ต้องการให้ความร้อนแก่ของเหลวในถังผสม จากอุณหภูมิ T_{b1} ไปยัง T_{b2} จะได้

$$\int_{T_{b1}}^{T_{b2}} \frac{dT_b}{T_h - T_b} = \frac{UA}{WC_p} \int_0^{\Delta t} dt$$

$$\ln\left(\frac{T_h - T_{b1}}{T_h - T_{b2}}\right) = \frac{UA}{WC_p} \Delta t \quad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.2 สามารถหาเวลาในการให้ความร้อน (Δt) ได้

2.5.2 กรณีตัวกลางหล่อเย็นมีอุณหภูมิคงที่

อัตราการถ่ายเทความร้อนคำนวณจาก

$$Q = -WC_p \frac{dT_b}{dt} = UA(T_b - T_{co}) \quad (2.3)$$

T_{co} = อุณหภูมิขาเข้าของตัวกลางหล่อเย็น (เคลวิน)

เทอม dT_b/dt เป็นลบ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature gradient)

ตรงกันข้ามกับกรณีการให้ความร้อน

สมการที่ได้หลังจากการอินทิเกรตคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\ln\left(\frac{T_{b1} - T_{co}}{T_{b2} - T_{co}}\right) = \frac{UA}{WC_p} \Delta t \quad (2.4)$$

ซึ่ง Δt = เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของเหลวมวล W จากอุณหภูมิ T_{b1} ไปยัง T_{b2}

2.5.3 กรณีตัวกลางให้ความร้อนมีอุณหภูมิไม่คงที่

สำหรับตัวกลางให้ความร้อนปริมาณ W มีอัตราการไหลคงที่ m (กิโลกรัมต่อวินาที) อุณหภูมิขาเข้า T_h อุณหภูมิขาออกเปลี่ยนเป็น T'_h อัตราการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลาหนึ่งคำนวณจาก

$$Q = WC_p \frac{dT_b}{dt} = mC_{p,h}(T_h - T'_h) = UA\Delta T_m \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$\Delta T_m = \frac{T_h - T'_h}{\ln\left(\frac{T_h - T_b}{T'_h - T_b}\right)}$$

แทนค่า ΔT_m ได้เป็น

$$\ln\left(\frac{T_h - T_b}{T'_h - T_b}\right) = \frac{UA}{mC_{p,h}} \quad (2.5)$$

ถ้ากำหนด

$$\phi_h = \frac{T_h - T_b}{T'_h - T_b} = \exp\left(\frac{UA}{mC_{p,h}}\right)$$

ดังนั้น

$$T'_h = T_b + \frac{T_h - T_b}{\phi_h} \quad (2.7)$$

สามารถจัดรูป สมการที่ 2.5 ใหม่ ดังนี้

$$\frac{dT_b}{T_h - T'_h} = \left(\frac{mC_{p,b}}{WC_p}\right) dt$$

จากนั้นแทนค่า T'_h จากสมการที่ 2.7 และจัดรูปเป็น

$$\frac{dT_b}{T_h - T_b} = \left(\frac{\phi_h - 1}{\phi_h} \right) \left(\frac{mC_{p,h}}{WC_p} \right) dt \quad (2.8)$$

อินทิเกรตสมการที่ 2.8 ในช่วงเวลา Δt ที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนแก่ของเหลวในถังผสมจากอุณหภูมิ T_{b1} ไปยัง T_{b2}

$$\int_{T_{b1}}^{T_{b2}} \frac{dT_b}{T_h - T_b} = \left(\frac{\phi_h - 1}{\phi_h} \right) \left(\frac{mC_{p,h}}{WC_p} \right) \int_0^{\Delta t} dt$$

ซึ่งได้เป็น

$$\ln \left(\frac{T_h - T_{b1}}{T_h - T_{b2}} \right) = \left(\frac{\phi_h - 1}{\phi_h} \right) \left(\frac{mC_{p,h}}{WC_p} \right) \Delta t \quad (2.9)$$

2.5.4 กรณีตัวกลางหล่อเย็นมีอุณหภูมิไม่คงที่

ตัวกลางหล่อเย็นปริมาณ W มีอัตราการไหล m ไหลผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม ในเวลา Δt อุณหภูมิขาเข้า T_{b1} และอุณหภูมิขาออก T_{b2} แสดงตั้งสมการ

$$\ln \left(\frac{T_{b1} - T_{co}}{T_{b2} - T_{co}} \right) = \left(\frac{\phi_{co} - 1}{\phi_{co}} \right) \left(\frac{mC_{p,co}}{WC_p} \right) \Delta t \quad (2.10)$$

ซึ่ง

$$\phi_{co} = \exp \left(\frac{UA}{mC_{p,co}} \right)$$

T_{co} = อุณหภูมิขาเข้าของตัวกลางหล่อเย็น (เคลวิน)

และ $C_{p,co}$ = ความจุความร้อนจำเพาะของตัวกลางหล่อเย็น (จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน)

2.6 หอทำน้ำหล่อเย็น (Cooling tower) [20-22]

หอทำน้ำหล่อเย็นเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้วิธีการระเหยของน้ำ (Evaporation) ในการระบายความร้อนของน้ำที่ใช้หล่อเย็นอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต เช่น การหล่อเย็นของผสมในถังผสมในกระบวนการผลิต การหล่อเย็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ฯลฯ ในกระบวนการหล่อเย็น จึงมีการสูญเสียน้ำไปส่วนหนึ่งแต่น้ำส่วนใหญ่ยังคงถูกนำกลับมาใช้ได้

2.6.1 หลักการทำงาน

เมื่อหอทำน้ำหล่อเย็นรับน้ำที่มีอุณหภูมิสูงที่ใช้ระบายความร้อนออกจากอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต หอทำน้ำหล่อเย็นจะฉีคน้ำนั้นให้กระจายออกเป็นละอองเล็กๆ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (Baffle or Fill material) และสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำ ทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัสระหว่างน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ละอองน้ำบางส่วนจะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำไปในอากาศ ซึ่งมีสภาพไม่อิ่มตัว เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอของละอองน้ำจำเป็นต้องใช้ความร้อน จึงดึงความร้อนจากปริมาณน้ำที่เหลือ อาจกล่าวได้ว่ากระบวนการถ่ายเทความร้อนในหอทำน้ำหล่อเย็น แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การถ่ายเทความร้อนสัมผัส (Sensible heat) จากน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า
2. การถ่ายเทความร้อนแฝง (Latent heat) จากการระเหยตัวของน้ำไปยังอากาศที่ไม่อิ่มตัว

ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของหอทำน้ำหล่อเย็น จะแสดงในรูปของเรนจ์ (Range) และแอปโพรช (Approach)

เรนจ์ คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้าและออกจากหอทำน้ำหล่อเย็น แสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสัมผัส

แอปโพรช คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอทำน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า แสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนแฝง

ขนาดของเรนจ์และแอปโพรชเป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกขนาดของหอทำน้ำหล่อเย็น ถ้าขนาดของเรนจ์และแอปโพรชเหมาะสมกับสภาพการทำงานของระบบหอทำน้ำหล่อเย็น จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน (Operating cost)

ประเภทของหอทำน้ำหล่อเย็น ที่แบ่งออกตามวิธีการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านเข้าไปในหอทำน้ำหล่อเย็น

1. หอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ (Natural draft)
2. หอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล (Mechanical draft)

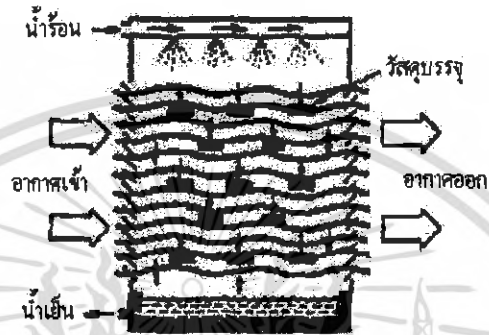
ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

- หอทำน้ำหล่อเย็นแบบเป่าอากาศเข้า (Forced draft)
- หอทำน้ำหล่อเย็นแบบดูดอากาศออก (Induced draft)

2.6.2 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ

หอทำน้ำหล่อเย็นประเภทนี้เป็นหอทำน้ำหล่อเย็นแบบง่ายและใช้พลังงานน้อยที่สุด ที่ใช้การฉีคน้ำลงมาจากด้านบน โครงสร้างตัวหอทำน้ำหล่อเย็นโปร่งทำให้อากาศพัดผ่านได้ ซึ่ง

อากาศจะผ่านแผงกระจายละอองน้ำจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในแนวนอนดังรูปที่ 2.7 ด้านยาวของหอทำน้ำหล่อเย็นจะอยู่ในแนวที่อากาศพัดผ่าน ส่วนด้านกว้างจะไม่กว้างมากนักเพื่อจะได้ลดความเสียหายต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ ปกติในการออกแบบจะให้อากาศผ่านด้วยอัตรา 1.32 เมตรต่อวินาที ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างหอทำน้ำหล่อเย็นแบบนี้สูงเพราะมีขนาดใหญ่ และต้องใช้สถานที่ติดตั้งมาก และไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้



รูปที่ 2.7 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ [21]

2.6.3 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล

หอทำน้ำหล่อเย็นประเภทนี้ใช้พัดลมช่วยทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านแผงกระจายน้ำด้วยความเร็วสูง ทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนได้ดีและควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้ง่ายทำให้ขนาดของหอทำน้ำหล่อเย็นเล็กลง จึงช่วยประหยัดต้นทุนในการสร้าง โครงสร้างของหอทำน้ำหล่อเย็น

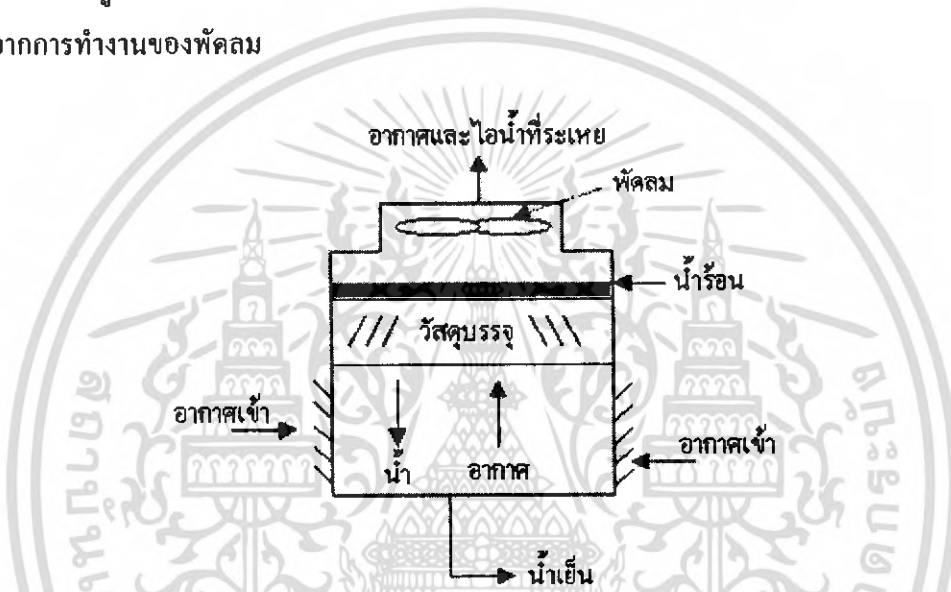
หอทำน้ำหล่อเย็นแบบนี้ มักจะมีพัดลมมากกว่าหนึ่งตัวเพื่อช่วยในการควบคุมการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงของปีจะแตกต่างจากอุณหภูมิที่กำหนดไว้ในการออกแบบหรืออาจจะเป็นพัดลมประเภทปรับความเร็วรอบได้ (Variable speed fan)

ประเภทของหอทำน้ำหล่อเย็นแบบอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกลได้แก่

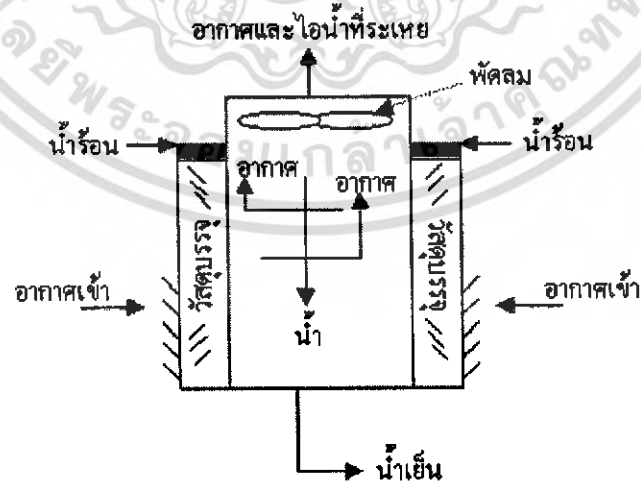
ก. หอทำน้ำหล่อเย็นแบบเป่าอากาศเข้า จะเป่าอากาศเข้าไปสัมผัสกับน้ำที่ไหลลงมาจากด้านบนของหอทำน้ำหล่อเย็นตามธรรมชาติ ถ้าเป่าอากาศเข้าทางด้านข้างทิศทางการไหลของน้ำและอากาศจะเป็นแบบไหลตัดกัน แต่ถ้าเป่าอากาศเข้าทางด้านล่างของหอทำน้ำหล่อเย็นจะเป็นแบบไหลสวนทาง

ข. หอทำน้ำหล่อเย็นแบบดูดอากาศออก จะใช้พัดลมดูดอากาศออกจากหอทำน้ำหล่อเย็น ถ้าติดตั้งพัดลมที่ดูดอากาศบริเวณด้านบนของหอทำน้ำหล่อเย็น อากาศจะไหลผ่านทางเข้าด้านข้างผ่านแผงกระจายน้ำ และไหลออกไปทางด้านบนสวนทางกับน้ำที่ไหลจาก

ด้านบนลงสู่ด้านล่างทำหน้าที่หล่อเย็นเรียกว่า หอทำน้ำหล่อเย็นแบบไหลสวนทาง ดังรูปที่ 2.8 ทั้งนี้ อากาศจะเข้าด้านข้างทางด้านเดียว หรือเข้าทางด้านข้างทั้งสองด้าน (Double flow) หรืออาจเข้า โดยรอบด้านข้างก็ได้ กรณีติดตั้งพัดลมดูดอากาศบริเวณด้านข้างของหอทำน้ำหล่อเย็นและอากาศ ถูกดูดผ่านเข้าไปทางด้านข้างเช่นเดียวกัน ส่วนน้ำไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง หอทำน้ำหล่อเย็น แบบนี้เรียกว่า หอทำน้ำหล่อเย็นแบบไหลตัดกัน ดังรูปที่ 2.9 เนื่องจากอากาศถูกดูดเข้า อัตราการไหลจึงสม่ำเสมอ ทำให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่จึงง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิ น้ำ ขาออก และอากาศที่ถูกดูดออกจากหอทำน้ำหล่อเย็นจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ทำให้อากาศที่ร้อน และความชื้นสูงไม่มีโอกาสย้อนกลับเข้าไปในระบบ ข้อเสียของหอทำน้ำหล่อเย็นแบบนี้คือเสียงดังที่ เกิดจากการทำงานของพัดลม



รูปที่ 2.8 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบไหลสวนทาง [22]



รูปที่ 2.9 หอทำน้ำหล่อเย็นแบบไหลตัดกัน [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ประสิทธิภาพของหอทำน้ำหล่อเย็น [20]

ประสิทธิภาพของหอทำน้ำหล่อเย็นพิจารณาจากอัตราการถ่ายเทความร้อนซึ่งขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. อัตราการไหลเข้าของน้ำและอากาศ ถ้าอัตราการไหลของน้ำต่ออัตราการไหลของอากาศมีค่าสูง อัตราการถ่ายเทความร้อนจะต่ำ
2. การแตกตัวของละอองน้ำที่ทำให้พื้นที่ผิวของละอองน้ำในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น
3. อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศและอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำหล่อเย็น ถ้าความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศและอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำหล่อเย็นต่างกันมากจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น
4. ความชื้นของอากาศ ถ้าปริมาณความชื้นในอากาศสูงจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง
5. ลักษณะของวัสดุบรรจุที่ใช้ ถ้าวัสดุบรรจุมีพื้นที่ผิวมาก ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศจะเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

ประสิทธิภาพของหอทำน้ำหล่อเย็น สามารถแสดงได้ 2 ลักษณะ คือ

1. Water efficiency (E_w) เป็นการหาประสิทธิภาพของปริมาณน้ำที่ระเหยต่อปริมาณน้ำเดิม หอทำน้ำหล่อเย็นที่ดีจะต้องมี water efficiency อยู่ในช่วง 65-70 เปอร์เซ็นต์ [20] เพื่อให้ปริมาณน้ำหมุนเวียนเพียงพอ โดยหาได้จาก

$$E_w = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยไปเนื่องจากการลดอุณหภูมิของน้ำหมุนเวียน} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำเดิม}} \quad (2.11)$$

ซึ่ง ปริมาณน้ำเดิม = ปริมาณน้ำที่ระเหย + ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระบายทิ้งและลม

2. Thermal efficiency (E_t) เป็นการหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าของหอทำน้ำหล่อเย็นกับอุณหภูมิขาออกที่ทำได้ของหอทำน้ำหล่อเย็นต่อความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าของหอทำน้ำหล่อเย็นกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าหอทำน้ำหล่อเย็น หอทำน้ำหล่อเย็นที่ดีจะต้องมี thermal efficiency อยู่ในช่วง 85-90 เปอร์เซ็นต์ [20]

$$E_t = \frac{(t_{in} - t_{out})}{(t_{in} - t_w)} \times 100 \quad (2.12)$$

ซึ่ง

E_r = ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหอทำน้ำหล่อเย็น (เปอร์เซ็นต์)

t_{in} = อุณหภูมิน้ำขาเข้าหอทำน้ำหล่อเย็น (องศาเซลเซียส)

t_{out} = อุณหภูมิน้ำขาออกหอทำน้ำหล่อเย็น (องศาเซลเซียส)

t_w = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าหอทำน้ำหล่อเย็น (องศาเซลเซียส)



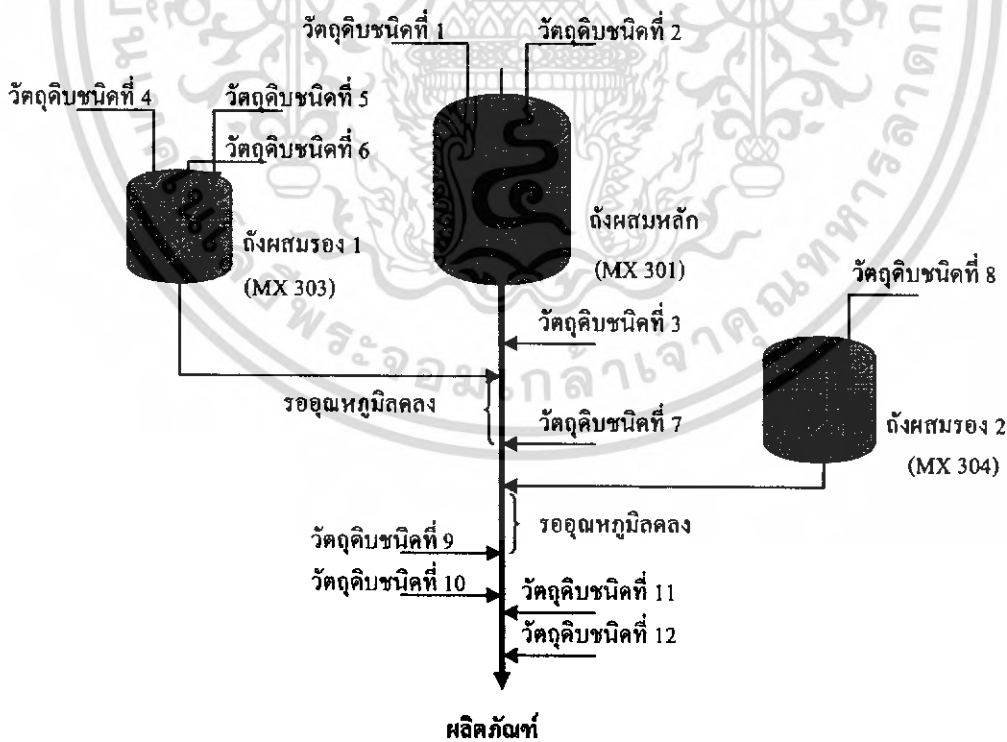
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวและผลการดำเนินโครงการ

3.1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว

ขั้นตอนของกระบวนการผลิตเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบตามสูตรของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นผสมวัตถุดิบต่างๆ ลงในเครื่องผสมแบบกะจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติ เช่น ค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด-เบส ตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ แล้วจึงบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น บรรจุขวด บรรจุซอง และนำไปใส่กล่องเพื่อรอจำหน่ายต่อไป รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการผสมวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว จากข้อมูลการผลิตพบว่าใช้เวลานานในการเพิ่มและลดอุณหภูมิของของผสมในถังผสมหลักระหว่างการผสมวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว อุณหภูมิของการผสมมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบบางชนิดต้องผสมที่อุณหภูมิที่กำหนด เช่น ที่อุณหภูมิสูงหรือที่อุณหภูมิต่ำ การเติมน้ำหอมจะต้องรอให้อุณหภูมิต่ำลง ถ้าผสมที่อุณหภูมิสูงอาจเสียคุณสมบัติได้ ทำให้รอบเวลาในการผสมวัตถุดิบนาน ซึ่งมีผลต่อผลผลิตต่อหน่วยเวลา รอบเวลาของการผสมวัตถุดิบ หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการผสมตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปน้ำร้อนประมาณ 2-3 ตันจะถูกเติมลงในถังผสมหลัก 6 ตัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและสูตรของผลิตภัณฑ์ หากอุณหภูมิของน้ำร้อนยังไม่ถึงค่าที่กำหนดไว้ จะไม่สามารถเติมวัตถุดิบชนิดที่ 1 และ 2 ลงในถังผสมหลักได้ ทำให้ต้องรออุณหภูมิและเกิดการสูญเสียเวลา (Idle time) และเช่นเดียวกันเมื่อต้องการลดอุณหภูมิของของผสมลงเพื่อเติมวัตถุดิบบางชนิดที่ไม่สามารถเติมที่อุณหภูมิสูงได้ ก็จะต้องเสียเวลารอคอยให้อุณหภูมิลดลง หากสามารถลดเวลาที่ต้องสูญเสียจากการรอคอยอุณหภูมิให้ได้ตามค่าที่กำหนด ก็เท่ากับสามารถเพิ่มโอกาสในการผลิตผลิตภัณฑ์ การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำหรือของผสม (Heating หรือ Hot process) และการลดอุณหภูมิของของผสม (Cooling หรือ Cold process) เป็นผลจากประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและหอทำน้ำหล่อเย็นในกระบวนการผสมวัตถุดิบ ดังนั้นถ้าในกระบวนการผสมวัตถุดิบมีการถ่ายเทความร้อนก็จะสามารถลดเวลาในการผสมวัตถุดิบลงได้

กระบวนการถ่ายเทความร้อนในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ

กระบวนการถ่ายเทความร้อนในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของบริษัท แบ่งเป็นระบบการให้ความร้อนหรือการเพิ่มอุณหภูมิและระบบการลดอุณหภูมิ

ระบบการให้ความร้อนมี 2 ระบบ

ก. ระบบการให้ความร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ระบบนี้เป็นการให้ความร้อนแก่น้ำที่จะเติมลงในถังผสมหลักและถังผสมรองด้วยไอน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ในการให้ความร้อนต้องทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังผสมใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ ไม่มากเกินไป ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงเกินไปจะเสียเวลารอให้อุณหภูมิลดได้ตามที่ต้องการ

ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำ อัตราการไหลและอุณหภูมิของไอน้ำ พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การเกิดตะกรันที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

ข. ระบบการให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม

ระบบการให้ความร้อนแบบนี้ใช้น้ำร้อนที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแก่ของผสมในถังผสมผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม ระบบนี้มีข้อจำกัดในการเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากน้ำมีจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส จึงให้ความร้อนได้ไม่สูงเท่ากับการให้ความร้อนด้วยการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยตรงกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ไหลเข้าเปลือกหุ้ม พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของถังผสม การเกิดตะกรันที่เปลือกหุ้มของถังผสม

ระบบการลดอุณหภูมิมี 2 ระบบ

ก. ระบบการลดอุณหภูมิด้วยน้ำหล่อเย็นจากหอทำน้ำหล่อเย็นผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม

ระบบนี้ลดอุณหภูมิของของผสมในถังผสมด้วยน้ำหล่อเย็นจากหอทำน้ำหล่อเย็นผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม หลังจากมีการหล่อเย็นอุณหภูมิของตัวกลางที่ใช้หล่อเย็นจะสูงขึ้นประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบนี้ขึ้นกับทั้งประสิทธิภาพในการทำน้ำหล่อเย็นของหอทำน้ำหล่อเย็น และการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นกับของผสมในถังผสมผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม ซึ่งปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ การแตกตัวของละอองน้ำ พื้นที่ผิวของแผงกระจายละอองน้ำ ปริมาณความชื้นในอากาศ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ เวลาในการทำน้ำหล่อเย็น เวลาในการลดอุณหภูมิของของผสมในถังผสม อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ไหลเข้าเปลือกหุ้มของถังผสม พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของถังผสม การเกิดตะกอนที่เปลือกหุ้มของถังผสม เป็นต้น

ข. ระบบการลดอุณหภูมิด้วยน้ำหล่อเย็นจากหอทำน้ำหล่อเย็นผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งขึ้นเพื่อช่วยให้การลดอุณหภูมิรวดเร็วขึ้นกว่าการลดอุณหภูมิผ่านเปลือกหุ้มของถังผสมอย่างเดียว ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่ติดตั้งนี้เป็นหน่วยสนับสนุนเฉพาะถังผสมหลักที่ 1 และถังผสมหลักที่ 3 ซึ่งมักใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการลดอุณหภูมินาน และมีแนวโน้มว่าอาจมีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่ถังผสมหลักอื่นๆ ด้วย

กระบวนการผลิตที่เป็นกรณีศึกษา คือ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ที่มีกระบวนการถ่ายเทความร้อนทั้งกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิหรือให้ความร้อนแก่ระบบ ที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส และกระบวนการลดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส

ในงานนี้การหาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิต ที่ทำให้สามารถลดรอบเวลาการผลิตและสามารถเพิ่มผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลาเพื่อสนองตอบความต้องการด้านการแข่งขันของบริษัท ทำโดย

1. หาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของของผสมโดยพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. หาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในการลดอุณหภูมิของของผสมโดยพิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นกับของผสมผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม

3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว

3.2.1 วิเคราะห์ปัญหา

เนื่องจากปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนมากกว่าผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีม และกระบวนการผลิตส่วนใหญ่คล้ายกับกระบวนการผลิตชนิดครีมแตกต่างกันที่วัตถุดิบที่ใช้ผสม ดังนั้นจึงเลือกกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนเป็นกระบวนการต้นแบบ

ดังกล่าวแล้วว่าในการผสมวัตถุดิบในถังผสมหลัก น้ำหรือของผสมต้องมีอุณหภูมิตามค่าที่กำหนด หากเติมน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วอุณหภูมิในถังผสมหลักยังต่ำไปไม่ได้ค่าที่กำหนด จะต้องให้ความร้อนแก่ของผสมในถังผสมหลักผ่านเปลือกหุ้มเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด จึงเสียเวลาหรืออุณหภูมิ ในทางตรงข้ามถ้าอุณหภูมิของของผสมในถังผสมหลักมีค่าสูงเกินค่าที่กำหนด จะต้องลดอุณหภูมิของของผสมด้วยน้ำหล่อเย็นผ่านเปลือกหุ้ม ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำหรือของผสม และเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของของผสมในกระบวนการผลิตจึงเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิต หรือ ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประสิทธิภาพของหอทำน้ำหล่อเย็นที่ใช้ และประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนหรือน้ำหล่อเย็นกับของผสมในถังผสมผ่านเปลือกหุ้มนั่นเอง จึงวิเคราะห์ข้อมูลเวลารวมที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

3.2.1.1. กรณีเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมเพิ่มถึงค่าที่กำหนด พบว่าส่วนมากน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการผสมมีอุณหภูมิไม่ถึงค่าที่กำหนด แสดงว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำซึ่งอาจเกิดจากแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนมีตะกรัน

3.2.1.2. กรณีเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมในถังผสมหลักลดลงถึงค่าที่กำหนด พบว่าต้องเสียเวลามากในการรอให้อุณหภูมิของของผสมลดลง สันนิษฐานว่าอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นจากหอทำน้ำหล่อเย็นที่ผ่านเปลือกหุ้มของถังผสมหลักไม่เหมาะสม คือ

- อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจากหอทำน้ำหล่อเย็นที่ผ่านเปลือกหุ้มของถังผสมหลักสูงไป เนื่องจากพัดลมดูดอากาศของหอทำน้ำหล่อเย็นชำรุด
- อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นผ่านเปลือกหุ้มของถังผสมหลักต่ำไป

3.2.2 การแก้ไขปัญหามาตรฐานและผลการแก้ไข

3.2.2.1 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการให้ความร้อน

พบว่าแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นมีตะกรัน จึงเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์และแปรผลได้อย่างถูกต้องต้องเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่ใช้รออุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.1-3.2 แสดงเวลาที่ใช้รอการเพิ่มอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินและของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนและหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

จากตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้รออุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินที่สามารถลดได้ = $10.37 - 1.88 = 8.49$ นาที/การผสม 1 ถัง

จากตารางที่ 3.2 เวลาที่ใช้รออุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าที่สามารถลดได้ = $15 - 5.92 = 9.08$ นาที/การผสม 1 ถัง

ดังนั้นเวลาเฉลี่ยในการรอการเพิ่มอุณหภูมิของผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวทั้งสองชนิดที่สามารถลดได้ = 8.79 นาที/การผสม 1 ถัง คำนวณเป็นค่าเสียโอกาสที่จะได้รับจากการผลิตเพิ่ม = 3,492,000 บาท/ปี ดังแสดงในภาคผนวก ข

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง = 127,450 บาท ดังแสดงในภาคผนวก ค



ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้รอการเพิ่มอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนและหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

ก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน						
เวลาที่ใช้รออุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)						เวลารวม (นาที)
0	16	10	60*	0	55*	26
14	0	6	15	14	12	61
14	0	17	16	0	11	58
0	41*	24	33	0	10	67
0	18	20	14	16	0	68
เวลารวมที่ใช้รออุณหภูมิ (นาที)						280
เวลาเฉลี่ย = $280/27 = 10.37$ นาที/การผสม 1 ถัง						

หลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน						
เวลาที่ใช้รออุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)						เวลารวม (นาที)
29*	9	0	0	0	24*	9
0	7	11	0	0	0	18
0	0	21*	0	0	28*	0
0	0	7	0	0	14*	7
0	0	6	0	0	7	13
เวลารวมที่ใช้รออุณหภูมิ (นาที)						47
เวลาเฉลี่ย = $47/25 = 1.88$ นาที/การผสม 1 ถัง						

หมายเหตุ 1. อุณหภูมิเป้าหมาย 72 องศาเซลเซียส

2. * จาก Normal probability plot ตัดข้อมูลออกเนื่องจากทำให้ข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 3.2 เวลาที่ใช้รอการเพิ่มอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนและหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

ก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน						
เวลาที่ใช้รออุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)						เวลารวม (นาที)
14	36	15	20	16	11	112
21	14	34	0	19	17	105
20	46*	17	18	0	14	69
27	11	11	0	27	0	76
14	0	15	15	89*	14	58
เวลารวมที่ใช้รออุณหภูมิ (นาที)						420
เวลาเฉลี่ย = $420/28 = 15$ นาที/การผสม 1 ถัง						

หลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน						
เวลาที่ใช้รออุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)						เวลารวม (นาที)
0*	24	0	12*	0	0	24
30*	31	0	0	0	0	31
0	25	0	0	0	5	30
26*	15*	18	0	0	22	40
0	0	0	0	0	23	23
เวลารวมที่ใช้รออุณหภูมิ (นาที)						148
เวลาเฉลี่ย = $148/25 = 5.92$ นาที/การผสม 1 ถัง						

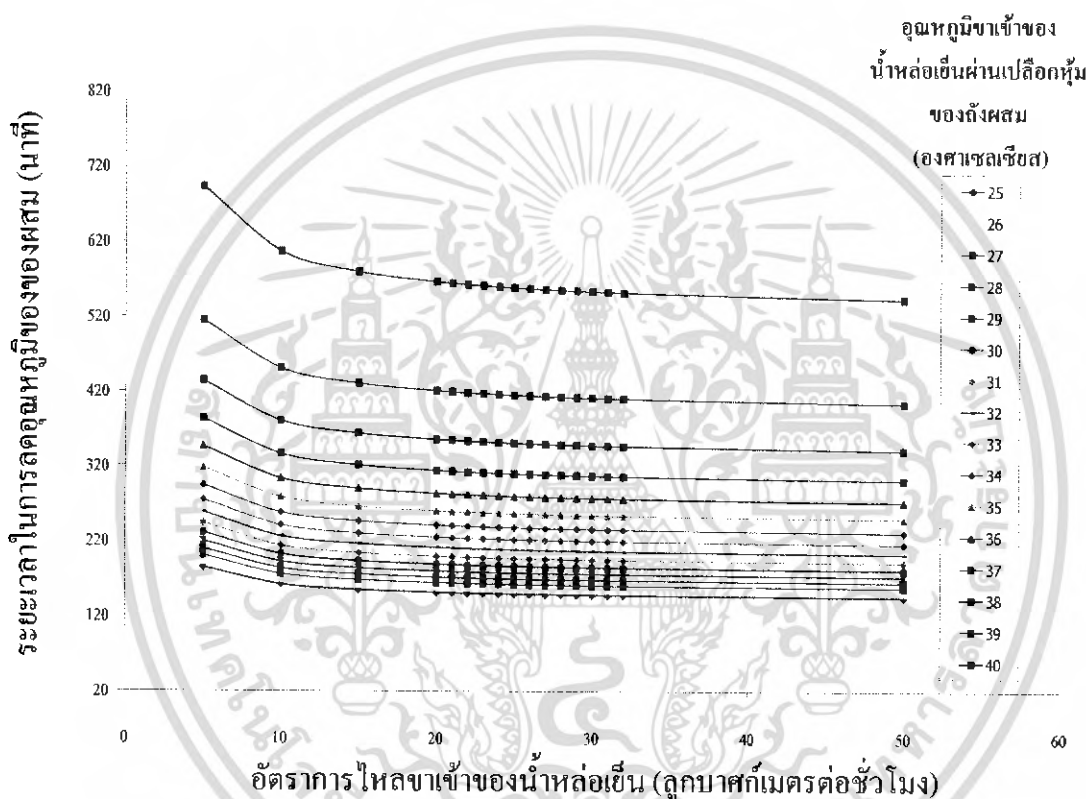
หมายเหตุ 1. อุณหภูมิเป้าหมาย 72 องศาเซลเซียส

2. * จาก Normal probability plot ดัชนีข้อมูลออกเนื่องจากทำให้ข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

3.2.2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการลดอุณหภูมิ

คำนวณอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นจากหอทำน้ำหล่อเย็นที่ใช้หล่อเย็นของผสมในถังผสมหลักผ่านทางเปลือกหุ้ม ที่ทำให้อุณหภูมิของของผสมในถังผสมหลักลดลงถึงค่ากำหนดเร็วที่สุดโดยใช้การประมาณเวลาสำหรับการหล่อเย็นผ่านเปลือกหุ้มของถังผสม คังสมการ 2.10

รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลขาเข้าของน้ำหล่อเย็นกับระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของของผสมในถังผสมหลักที่อุณหภูมิขาเข้าของน้ำหล่อเย็นต่างๆ ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลขาเข้าของน้ำหล่อเย็นกับระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของของผสมที่อุณหภูมิขาเข้าของน้ำหล่อเย็นต่างๆ

จากรูปที่ 3.2 อุณหภูมิขาเข้าของน้ำหล่อเย็นมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของของผสมมากกว่าอัตราการไหลขาเข้าของน้ำหล่อเย็น กล่าวได้ว่าอัตราการไหลขาเข้าของน้ำหล่อเย็นที่สูงกว่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แทบไม่มีผลต่อระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของของผสม ดังนั้นจึงอาจควบคุมอัตราการไหลขาเข้าของน้ำหล่อเย็นไม่ให้สูงเกิน 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เพื่อลดพลังงานที่ใช้ในการหล่อเย็น

เมื่อเพิ่มขนาดพัดลมหอทำน้ำหล่อเย็น ทำให้หอทำน้ำหล่อเย็นสามารถลดอุณหภูมิได้มากขึ้นคือลดได้จากเดิมที่ 32 เป็น 28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจึงมีค่าเหมาะสมไม่เกินค่าที่กำหนดในกระบวนการผลิต

การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์และแปรผลสำหรับเวลาในการรออุณหภูมิของผสมลดตามค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.3-3.4 แสดงเวลาที่ใช้รอการลดอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนและผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนและหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น

จากตารางที่ 3.3 เวลาในการรออุณหภูมิของผสมลดตามค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนที่สามารถลดได้ = $39.20 - 6.90 = 32.30$ นาที/การผสม 1 ถึง

จากตารางที่ 3.4 เวลาในการรออุณหภูมิของผสมลดตามค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าที่สามารถลดได้ = $21.36 - 1.22 = 20.14$ นาที/การผสม 1 ถึง

ดังนั้นเวลาเฉลี่ยในการรออุณหภูมิของผสมลดตามค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวทั้งสองชนิดที่สามารถลดได้ = 26.22 นาที/การผสม 1 ถึงคำนวณเป็นค่าเสียโอกาสที่จะได้รับจากการผลิตเพิ่ม = 10,422,000 บาท/ปี ดังแสดงในภาคผนวก ข

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง = 43,150 บาท ดังแสดงในภาคผนวก ค

ตารางที่ 3.3 เวลาที่ใช้รอการลดอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนและหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น

ก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น							
เวลาที่ใช้รออุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)							เวลารวม (นาที)
54	56	30	39	10	22	63	274
59	54	49	39	59	52	0	312
43*	86	26	43	0	39	22	216
32	56	33	52	36	8		217
เวลารวมที่ใช้รออุณหภูมิ (นาที)							1,019
เวลาเฉลี่ย = $1,019/26 = 39.2$ นาที/การผสม 1 ถัง							

หลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น							
เวลาที่ใช้รออุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)							เวลารวม (นาที)
0	0*	0	0	0	11	12	23
14	9	13	16	0	0	17	69
0	0	16	6	0	11	0	33
1	16	6	16	16	0		55
เวลารวมที่ใช้รออุณหภูมิ (นาที)							180
เวลาเฉลี่ย = $180/26 = 6.9$ นาที/การผสม 1 ถัง							

หมายเหตุ 1. อุณหภูมิเป้าหมาย 40 องศาเซลเซียส

2. * จาก Normal probability plot ดัดข้อมูลออกเนื่องจากทำให้ข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 3.4 เวลาที่ใช้รอการลดอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนและหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น

ก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น							
เวลาที่ใช้รออุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)							เวลารวม (นาที)
25	16	28	23	9	16	7	124
30	0*	65	6	27	30	2*	158
12	4	12	8	44	11	33	124
2	37	24	14	25	26		128
เวลารวมที่ใช้รออุณหภูมิ (นาที)							534
เวลาเฉลี่ย = $534/25 = 21.36$ นาที/การผสม 1 ถัง							

หลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น							
เวลาที่ใช้รออุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย (นาที/การผสม 1 ถัง)							เวลารวม (นาที)
0	0	0	9	0	0	2	11
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	5	3	0	0	0	8
0	0	2	12	0	0		14
เวลารวมที่ใช้รออุณหภูมิ (นาที)							33
เวลาเฉลี่ย = $33/27 = 1.22$ นาที/การผสม 1 ถัง							

หมายเหตุ 1. อุณหภูมิเป้าหมาย 40 องศาเซลเซียส

2. * จาก Normal probability plot ดัดข้อมูลออกเนื่องจากทำให้ข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิน และผลิตภัณฑ์บำรุงผิวซีตรา สรุปได้ดังนี้

4.1.1. กระบวนการให้ความร้อน

สามารถลดเวลาการผสมวัตถุดิบได้ 8.79 นาที/การผสม 1 ถัง

ต้นทุนค่าเสียโอกาสที่จะได้รับจากการผลิตเพิ่มประมาณ 3,492,000 บาท/ปี

ต้นทุนในการปรับปรุงเท่ากับ 127,450 บาท

4.1.2. กระบวนการลดอุณหภูมิ

สามารถลดเวลาการผสมวัตถุดิบได้ 26.22 นาที/การผสม 1 ถัง

ต้นทุนค่าเสียโอกาสที่จะได้รับจากการผลิตเพิ่มประมาณ 10,422,000 บาท/ปี

ต้นทุนในการปรับปรุงเท่ากับ 43,150 บาท

การลดลงของรอบเวลาการผสมวัตถุดิบจะทำให้รอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวลดลง บริษัทมีโอกาสมเพิ่มผลผลิตได้

คำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสที่จะได้รับจากการผลิตเพิ่มเท่ากับ 13,914,000 บาท/ปี

ต้นทุนในการปรับปรุงทั้งหมดเท่ากับ 170,600 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 22.4 วัน แสดงในภาคผนวก ค

4.2 ข้อเสนอแนะ

ควรตรวจสอบความจุของหอทำน้ำหล่อเย็นว่าเพียงพอในกรณีต้องใช้หล่อเย็นถึงผสมมากกว่า 1 ถัง

เอกสารอ้างอิง

- [1] มนตรี พิรุณเกษตร. การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์.
กรุงเทพฯ:วิทย์พัฒน์. 2542.
- [2] Chapman, A.J., **Heat Transfer**, 4th ed., Macmillan Publishing Company, New York, 1989.
- [3] Incropera F.P. and D.P. De Witt, **Introduction to Heat Transfer**, 2nd ed., John Wiley
& Sons, New York, 1985
- [4] Kreith, F. and M.S. Bohn, **Principles of Heat Transfer**, 5th ed., PWS Publishing
Company, New York, 1997
- [5] Ozisik, M.N., **Heat Transfer: A Basic Approach**, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1991
- [6] White, F.M., **Heat and Mass Transfers**, Addison-Wesley Publishing Company,
New York, International Edition, 1991
- [7] ชนากม สุนทรชัยนาคแสง. การถ่ายเทความร้อน. สำนักพิมพ์ท้อป. กรุงเทพฯ. 2547.
- [8] Holman, J.P., **Heat Transfer**, 9th ed., McGraw-Hill, New York, 2002.
- [9] 65 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล (ชุดที่ 3). กรุงเทพฯ เอ็มแอนด์อี. 2534.
- [10] 66 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล (ชุดที่ 4). กรุงเทพฯ เอ็มแอนด์อี. 2535.
- [11] “ปฏิบัติการ CHE 303-4 Double Pipe Heat Exchanger.” [Online]. Available:
<http://www.eg.mahidol.ac.th/dept/egche/PDF/che1/ChE303-4%20Double%20Pipe%20Heat%20Exchanger.pdf>
- [12] Perry, Robert H., Green, Don W., Maloney, James O., **Perry’s Chemical Engineers’
Handbook**, 9th ed., McGraw-Hill, New York, 1984.
- [13] Middle East Technical University “Shell and Tube heat exchanger” [Online]. Available:
<http://www.me.metu.edu.tr/me421/Img00001.JPG>
- [14] www2.dede.go.th/training/dataenergy/DocEnergy/energy%20saving%20technology13.htm
- [15] คู่มือแนะนำโครงการนำร่องการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานและอาคารธุรกิจ.
กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน.
- [16] AlfaLaval “Spiral heat exchanger” [Online]. Available:
<http://www.alfalaval.com/ecoreJava/WebObjects/ecoreJava.woa/wa/showNode?siteNodeID=5439&contentID=28184&languageID=1>
- [17] http://202.44.14.44/aboutus/tawewat/MTE332/heatL.ESSON01_to_03.ppt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [18] Edward L. Paul, Suzanne M. Kresta and Victor A. Atiemo-Obeng, **Handbook of Industrial Mixing**, John Wiley & Sons, New Jersey, 2004
- [19] Chisholm, D., **Heat Exchanger Technology**, Elsevier Applied Science, 1988
- [20] 55 เรื่องนำรู้เทคนิคเครื่องกล (ชุดที่ 6). กรุงเทพฯ เอ็มแอนดีอี. 2543.
- [21] Arvanitakis “Natural Draft Cooling Towers” [Online]. Available:
http://www.arvanitakis.com/en/c/natural_draft_cooling_towers.htm
- [22] [www.geo4va.vt.edu/ A2/A2.htm](http://www.geo4va.vt.edu/A2/A2.htm)
- [23] Robert H. Carver, **Doing Data Analysis with Minitab 14**, Duxbury Press, Canada, 2004
- [24] Hossein Arsham “Statistical Data Analysis: Prove It with Data” [Online]. Available:
<http://obelia.jde.aca.mmu.ac.uk/resdesgn/arsham/opre330.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

**การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล
ด้วยโปรแกรม MINITAB [23-24]**

การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลใช้โปรแกรม MINITAB ตรวจสอบความพอเพียงของจำนวนข้อมูลที่เป็นตัวแทนสำหรับการวิเคราะห์และแปรผลอย่างถูกต้อง ซึ่งอาจต้องตัดข้อมูลบางค่าที่ผิดปกติออกเพราะอาจทำให้วิเคราะห์และแปรผลผิด ขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ทำ Normal probability plot ของข้อมูล ความน่าเชื่อถือของข้อมูลพิจารณาจากค่า P-Value
P-Value \geq 0.05 ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมีการกระจายอย่างปกติโดยกราฟจะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง
P-Value $<$ 0.05 ข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือเนื่องจากมีข้อมูลบางค่าที่ผิดปกติ
2. ถ้า P-Value $<$ 0.05 จะต้องพิจารณาคัดค่าที่ผิดปกติออก
 - 2.1 ถ้ารู้สาเหตุของค่าที่ผิดปกตินั้น หรือ
 - 2.2 ใช้เครื่องมือทางสถิติ ในกรณีนี้ใช้แผนภูมิควบคุม ซึ่งค่าที่อยู่นอกช่วงควบคุมจะถูกตัดออก
3. นำข้อมูลที่เหลือทำข้อ 1 และ 2 ซ้ำ จนข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ คือ P-Value \geq 0.05

ก.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาในการรออุณหภูมิของของผสมเพิ่มเติมถึงค่าเป้าหมาย

ในกระบวนการเพิ่มอุณหภูมินั้น อุณหภูมิของของผสมตั้งต้นมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ต้องรอเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของของผสมให้ถึงค่าเป้าหมาย ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักเป็นตัวแทนในการทดสอบ

ก.1.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพิ่มเติมถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีน: ก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

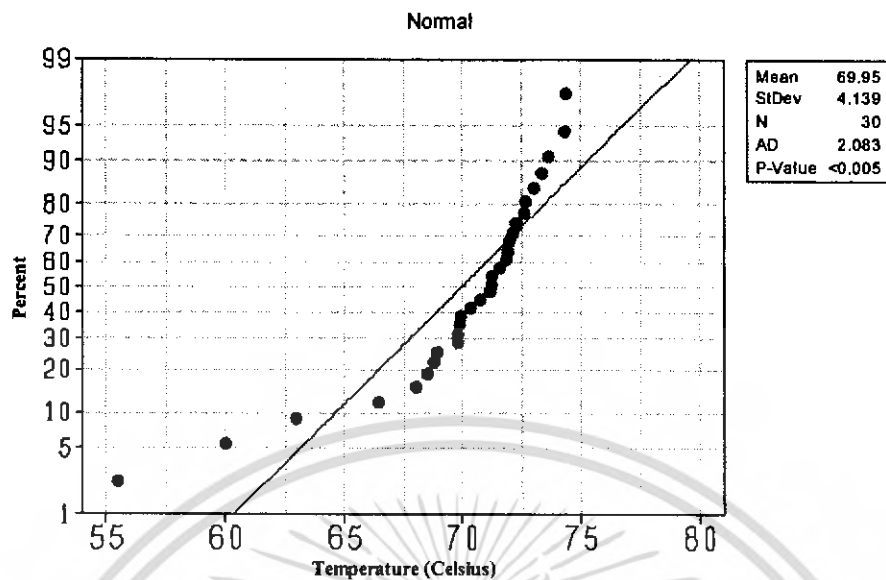
ตารางที่ ก.1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิของของผสมในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพิ่มเติมถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีน ก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

อุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลัก (องศาเซลเซียส)	เวลาในการรออุณหภูมิของผสมเพิ่มเติมถึงค่าเป้าหมาย (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลัก (องศาเซลเซียส)	เวลาในการรออุณหภูมิของผสมเพิ่มเติมถึงค่าเป้าหมาย (นาที)
72.64	0	59.98 *	60 *
71.82	14	70.73	15
72.11	14	69.87	16
72.26	0	66.45	33
72.99	0	71.24	14
69.77	16	74.33	0
74.39	0	71.91	14
72.00	0	73.62	0
62.92 *	41 *	73.36	0
68.50	18	70.31	16
71.58	10	55.46 *	55 *
71.22	6	68.76	12
67.98	17	69.90	11
68.91	24	71.15	10
69.76	20	72.59	0

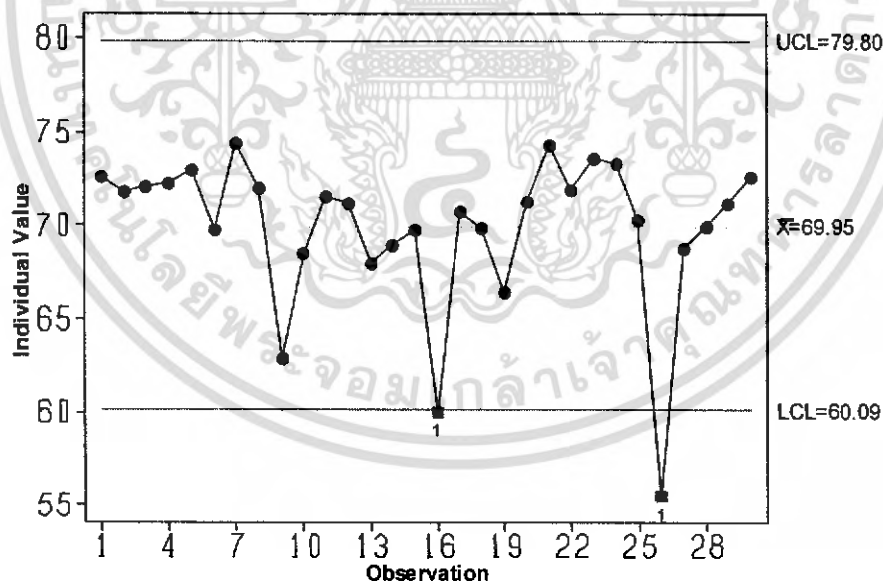
หมายเหตุ 1. ข้อมูลการผลิตจำนวน 30 กระหว่างวันที่ 29 ม.ค.-2 เม.ย. 2548

2. * ตัดออกเนื่องจากทำให้กลุ่มข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

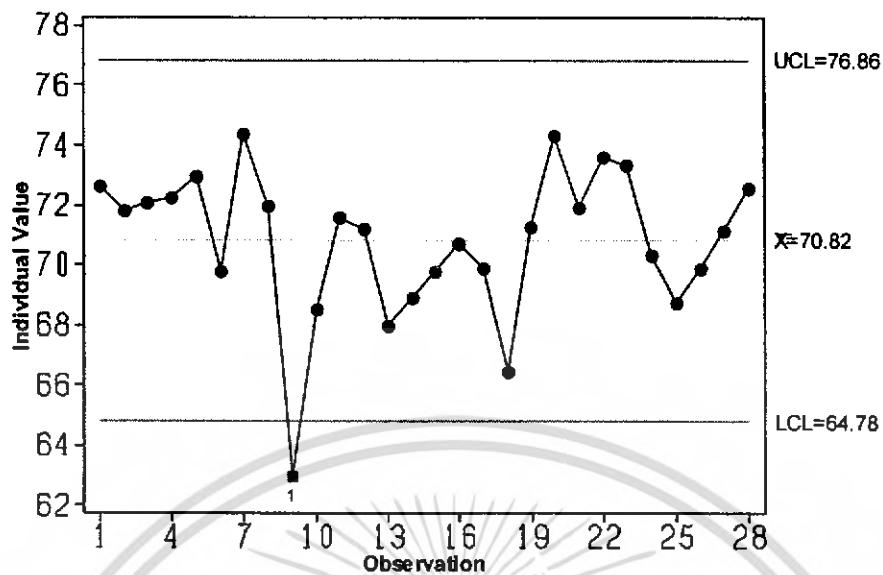


รูปที่ ก.1 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด

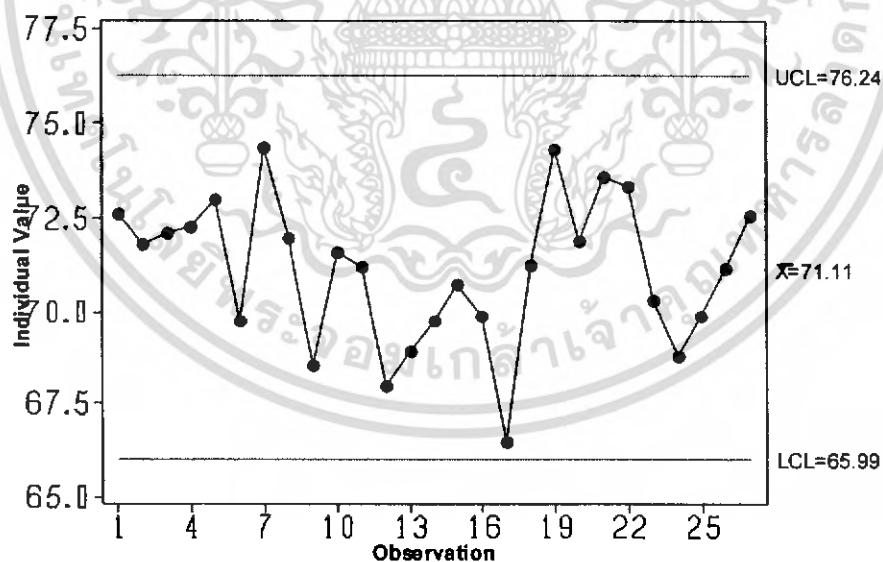


รูปที่ ก.2 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

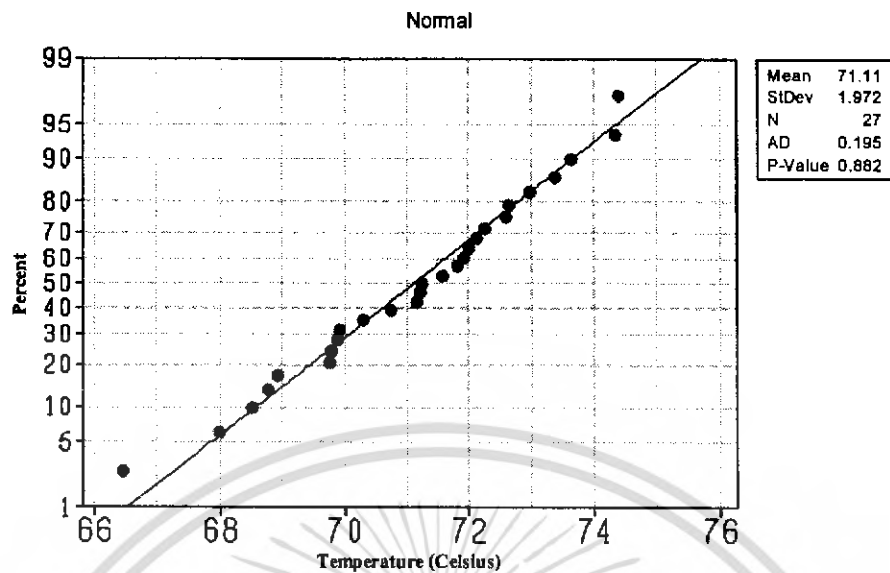


รูปที่ ก.3 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสนินก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีควมน่าเชื่อถือ ซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1



รูปที่ ก.4 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสนินก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีควมน่าเชื่อถือ ซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

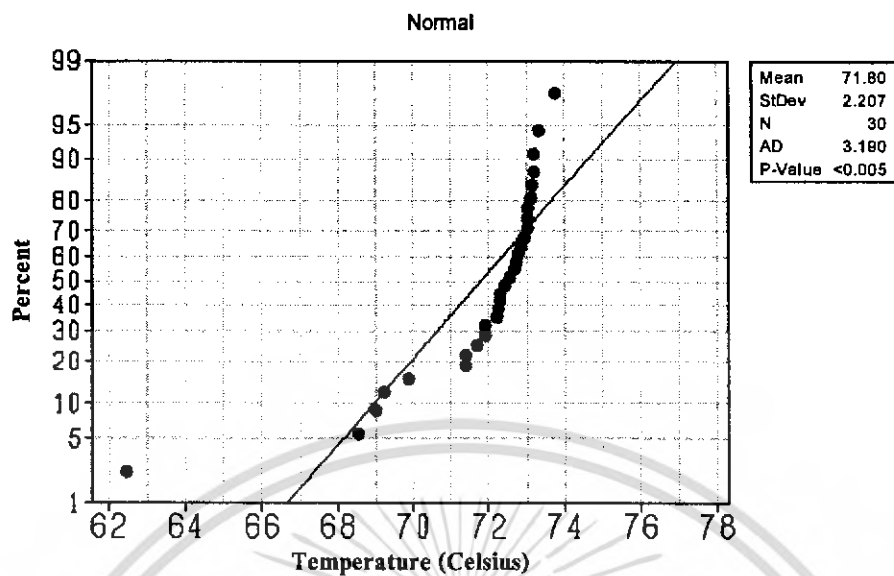
ก.1.2 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมในขั้นตอนการผสม
วัตถุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บารุงผิววาสลีน: หลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยน
ความร้อน

ตารางที่ ก.2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิ
ของของผสมในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บารุงผิว
วาสลีน หลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

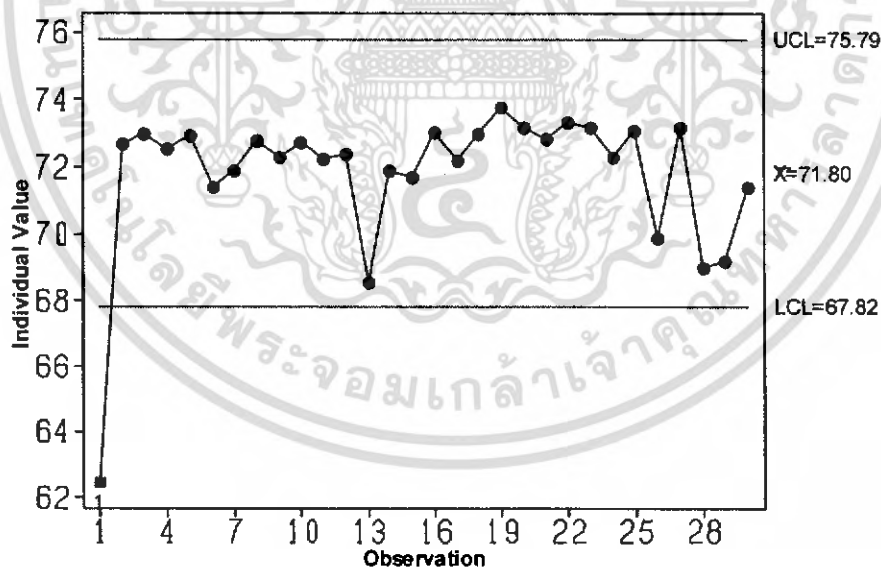
อุณหภูมิน้ำร้อนที่ เติมลงถึงผสมหลัก (องศาเซลเซียส)	เวลาในการรอ อุณหภูมิเพิ่มถึงค่า เป้าหมาย (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนที่ เติมลงถึงผสมหลัก (องศาเซลเซียส)	เวลาในการรอ อุณหภูมิเพิ่มถึงค่า เป้าหมาย (นาที)
62.45 *	29 *	73.03	0
72.68	0	72.19	0
73.01	0	73.01	0
72.56	0	73.76	0
72.95	0	73.2	0
71.4	9	72.83	0
71.91	7	73.31	0
72.77	0	73.17	0
72.28	0	72.28	0
72.72	0	73.1	0
72.26	0	69.89 *	24 *
72.42	11	73.19	0
68.54 *	21 *	69.01 *	28 *
71.92	7	69.21 *	14 *
71.69	6	71.39	7

หมายเหตุ 1. ข้อมูลการผลิตจำนวน 30 กะ ระหว่างวันที่ 11 ก.ค.-31 ต.ค. 2548

2. * ตัดออกเนื่องจากทำให้กลุ่มข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

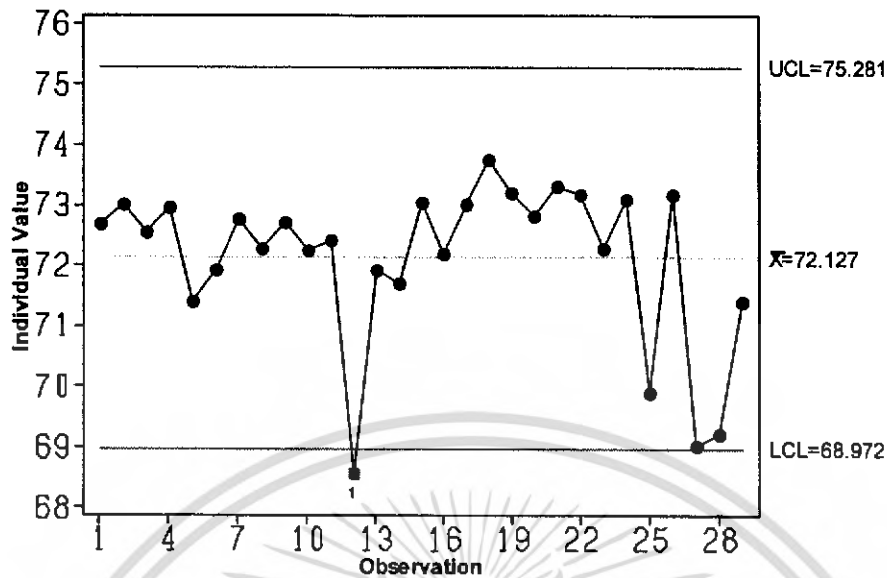


รูปที่ ก.6 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้นหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด

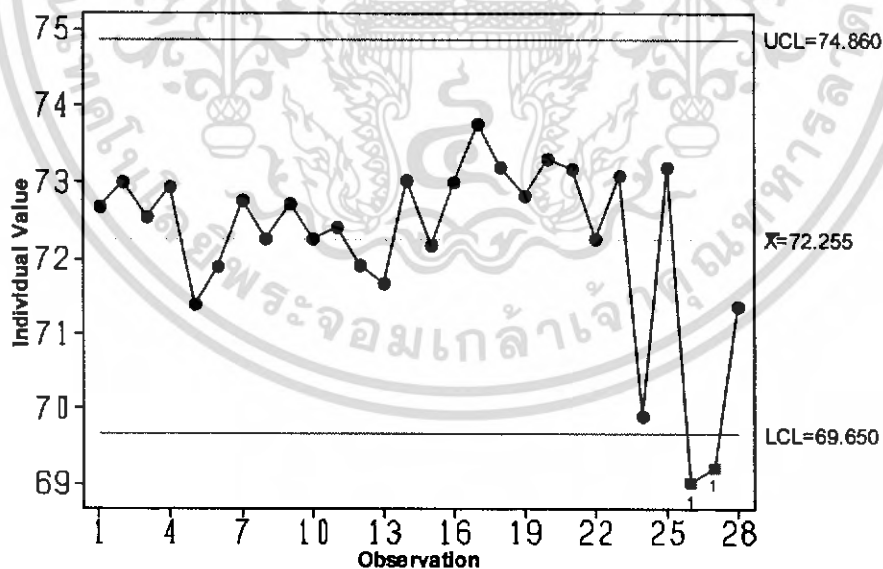


รูปที่ ก.7 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้นหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

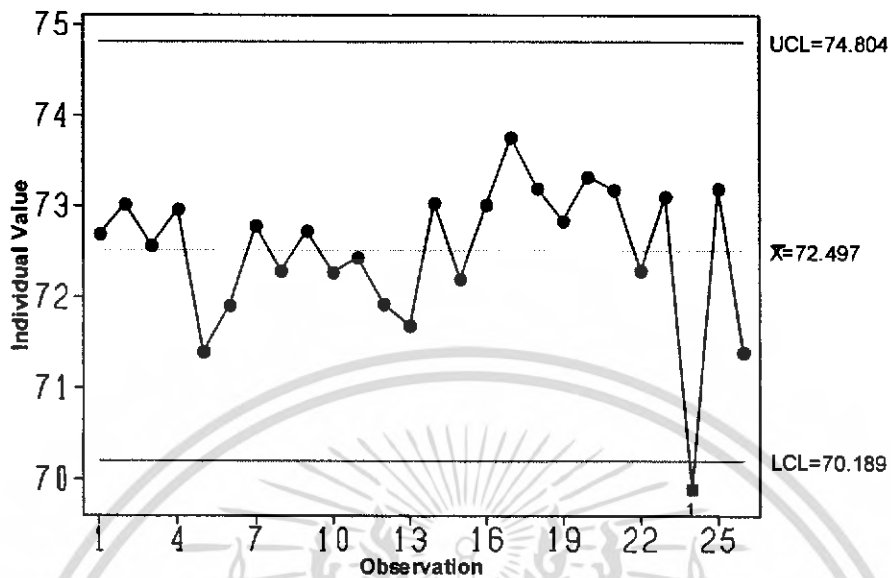


รูปที่ ก.8 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสนินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีที่น่าเชื่อถือ ซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1

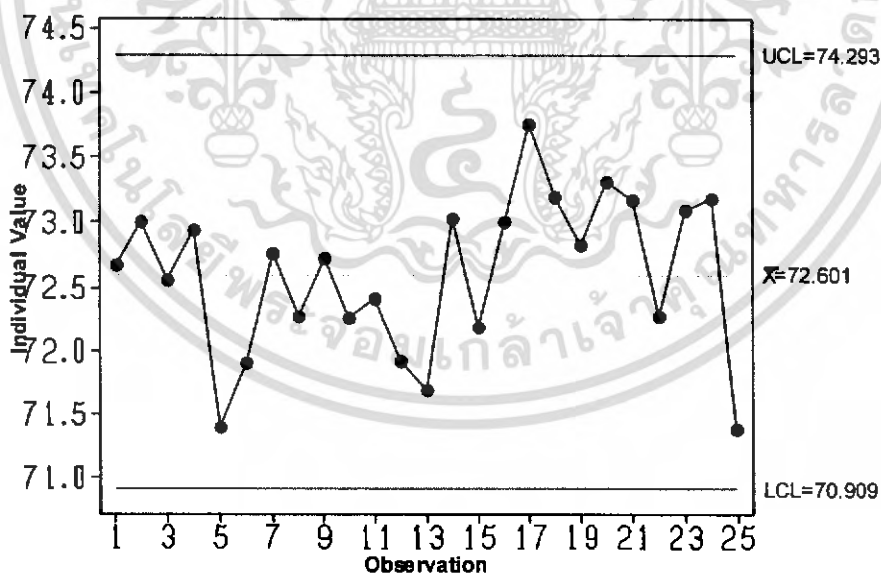


รูปที่ ก.9 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสนินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีที่น่าเชื่อถือ ซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

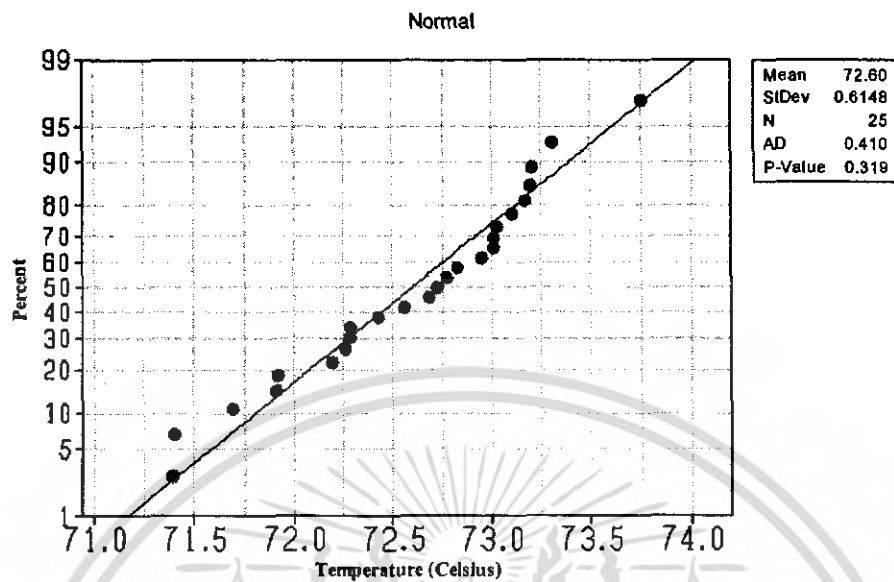


รูปที่ ก.10 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสนินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีควมน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 3



รูปที่ ก.11 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสนินหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีควมน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.12 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ
P-Value = 0.319

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

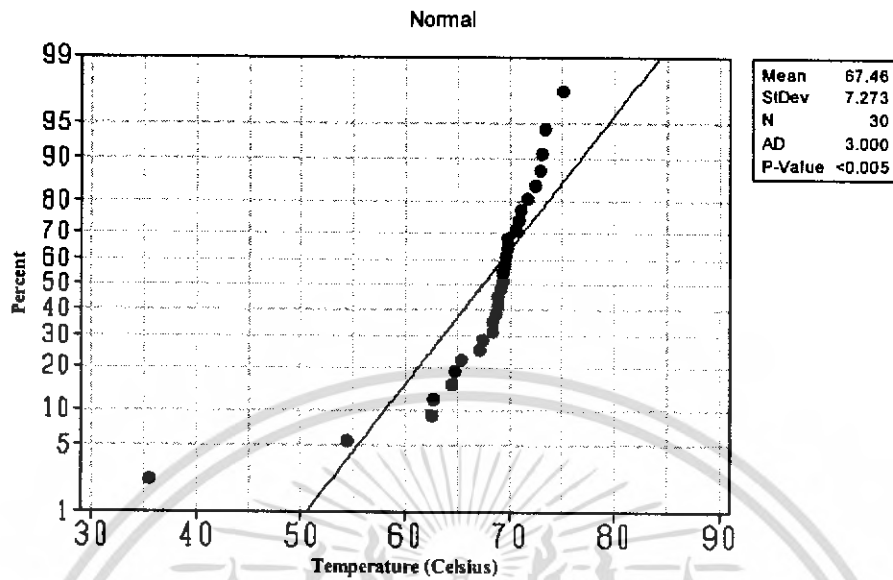
ก.1.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมในขั้นตอนการผสม
วัตถุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีม: ก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยน
ความร้อน

ตารางที่ ก.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิ
ของของผสมในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บำรุงผิว
ชนิดครีม ก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

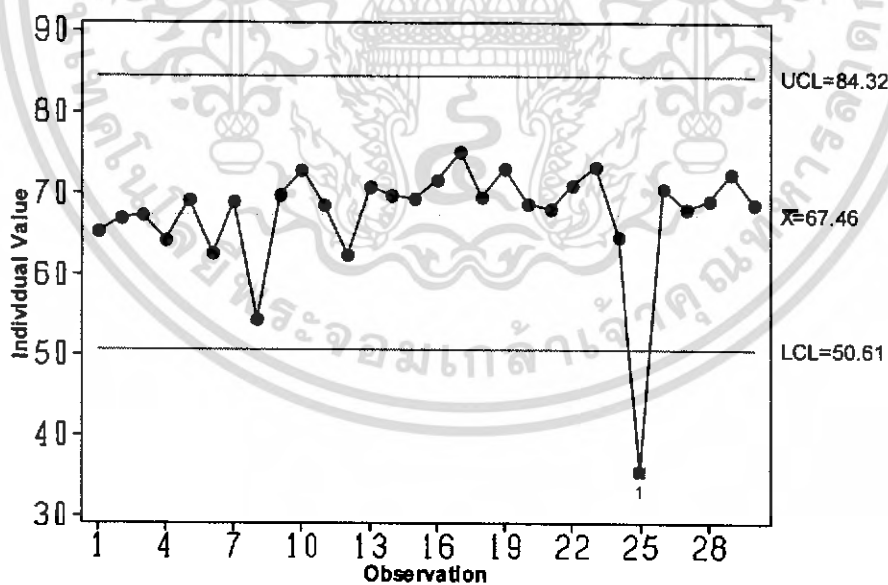
อุณหภูมิน้ำร้อนที่ เติมลงถึงผสมหลัก (องศาเซลเซียส)	เวลาในการรอ อุณหภูมิของผสมเพิ่ม ถึงค่าเป้าหมาย (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนที่ เติมลงถึงผสมหลัก (องศาเซลเซียส)	เวลาในการรอ อุณหภูมิของผสมเพิ่ม ถึงค่าเป้าหมาย (นาที)
65.4	14	71.7	20
67.0	21	75.1	0
67.4	20	69.6	18
64.4	27	73.1	0
69.2	14	68.8	15
62.6	36	68.3	16
69.1	14	71.0	19
54.4 *	46 *	73.3	0
69.8	11	64.7	27
72.9	0	35.4 *	89 *
68.7	15	70.6	11
62.5	34	68.3	17
70.8	17	69.2	14
69.8	11	72.5	0
69.5	15	68.8	14

หมายเหตุ 1. ข้อมูลการผลิตจำนวน 30 กระ ระหว่างวันที่ 23 เม.ย. – 5 ก.ค. 48

2. * ตัดออกเนื่องจากทำให้กลุ่มข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

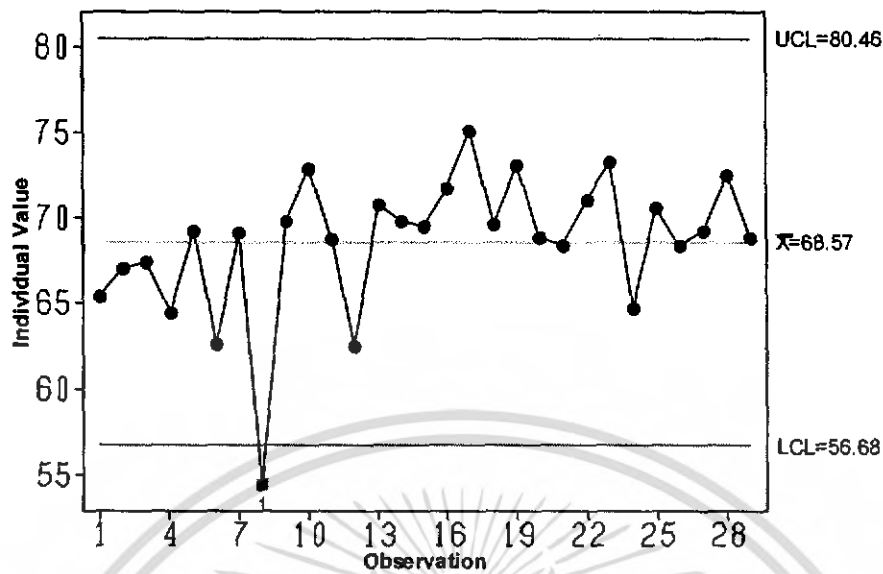


รูปที่ ก.13 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด

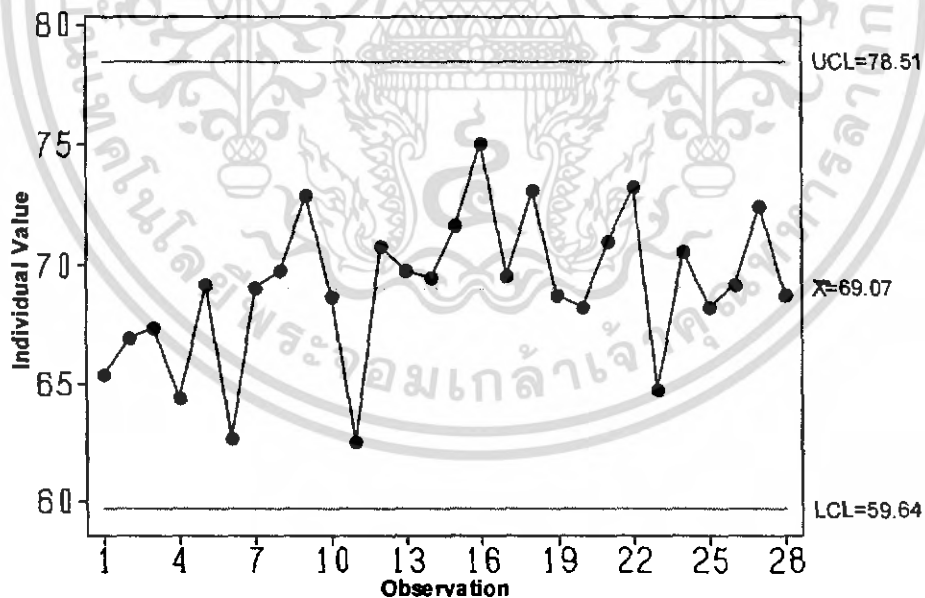


รูปที่ ก.14 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

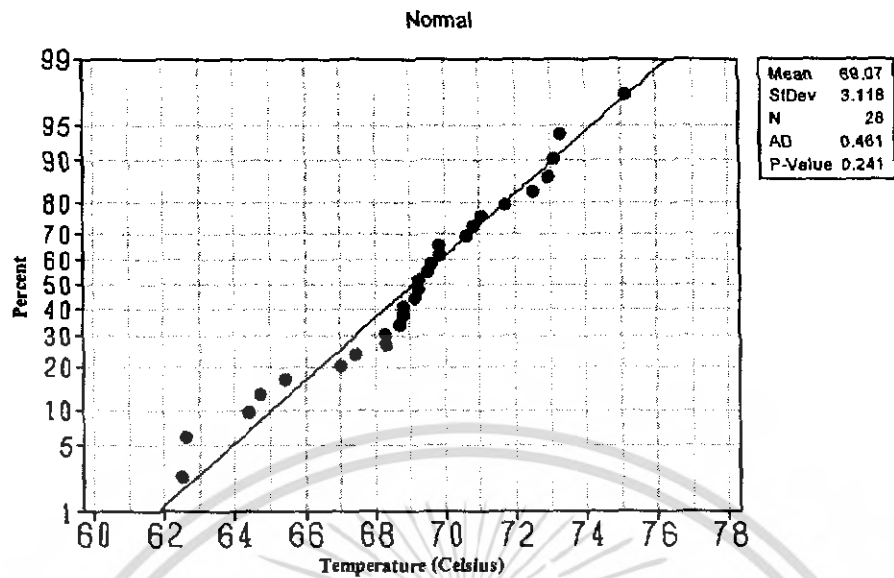


รูปที่ ก.15 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีที่น่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1



รูปที่ ก.16 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีที่น่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.17 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์
บำรุงผิวจืดร่ำก่อนเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ
P-Value = 0.241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.4 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมในขั้นตอนการผสม วัสดุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บ่ารุงผิวชีวิตรา: หลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยน ความร้อน

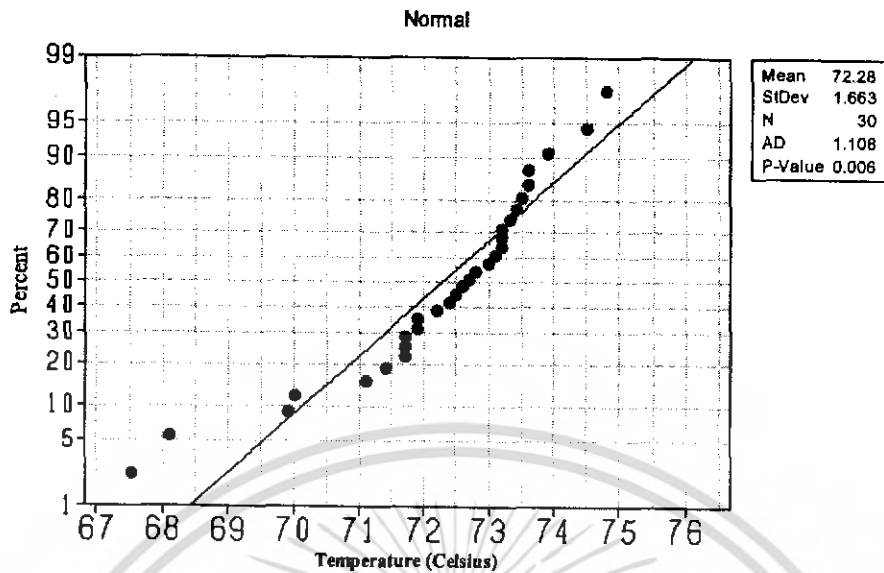
ตารางที่ ก.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เติมลงถึงผสมหลักกับเวลาในการรออุณหภูมิ ของของผสมในขั้นตอนการผสมวัสดุดิบเพิ่มถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บ่ารุงผิว ชีวิตรา หลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

อุณหภูมิน้ำร้อนที่ เติมลงถึงผสมหลัก (องศาเซลเซียส)	เวลาในการรอ อุณหภูมิของผสมเพิ่ม ถึงค่าเป้าหมาย (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนที่ เติมลงถึงผสมหลัก (องศาเซลเซียส)	เวลาในการรอ อุณหภูมิของผสมเพิ่ม ถึงค่าเป้าหมาย (นาที)
74.8 *	0 *	70 *	12 *
68.1 *	30 *	73.2	0
73.6	0	73.9	0
67.5 *	26 *	73.6	0
73.2	0	73.2	0
71.1	24	74.5	0
71.9	31	72.8	0
71.9	25	72.6	0
69.9 *	15 *	73	0
73.4	0	73.1	0
72.5	0	73.5	0
72.2	0	73.3	0
72.4	0	71.7	5
71.4	18	71.7	22
72.7	0	71.7	23

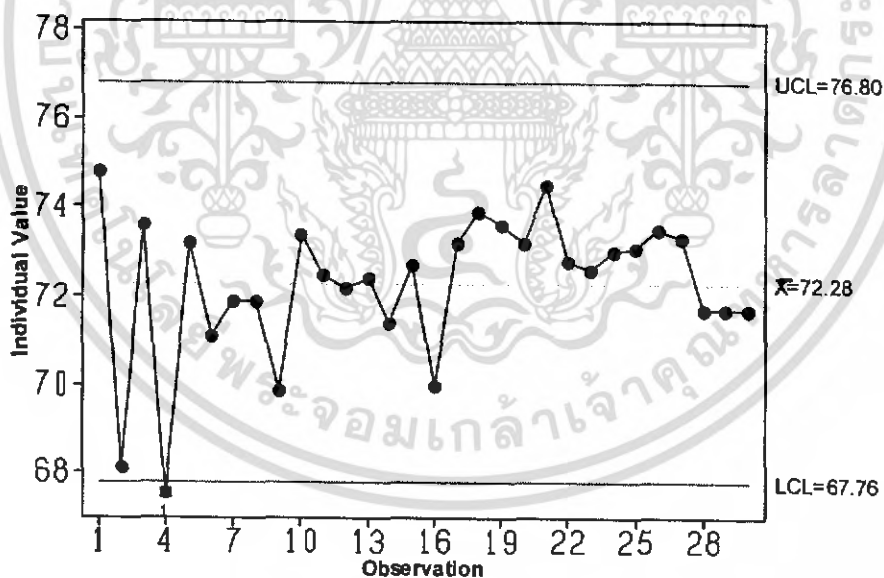
หมายเหตุ 1. ข้อมูลการผลิตจำนวน 30 กระ ระหว่างวันที่ 1 ต.ค. - 27 พ.ย. 48

2. * ตัดออกเนื่องจากทำให้กลุ่มข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

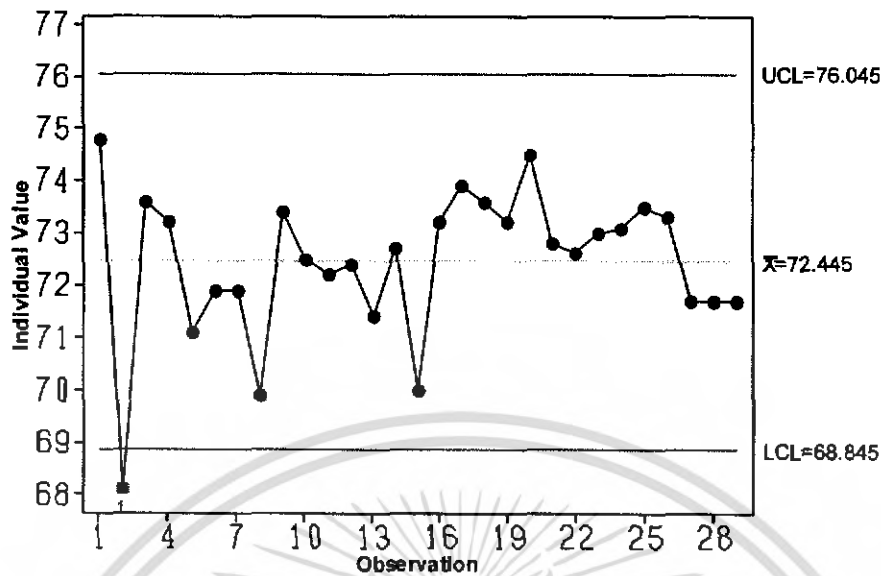


รูปที่ ก.18 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด

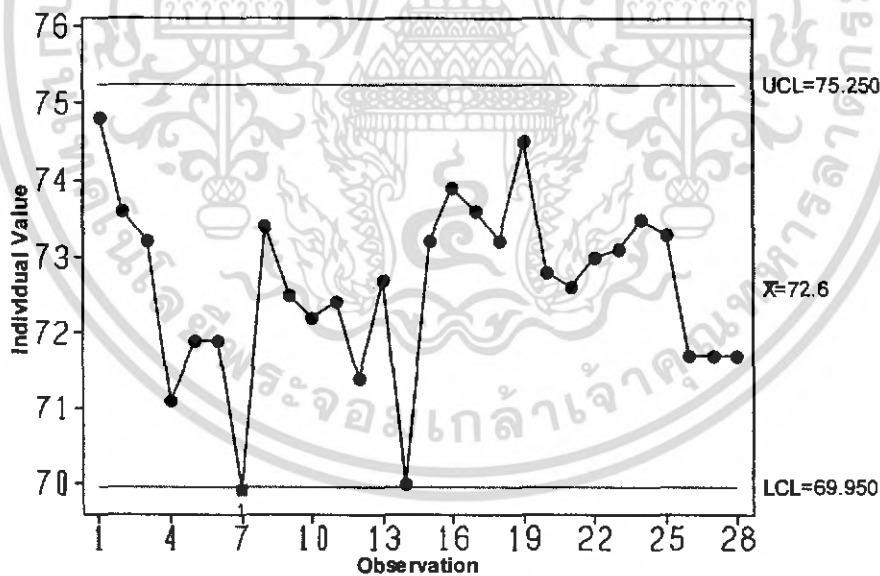


รูปที่ ก.19 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

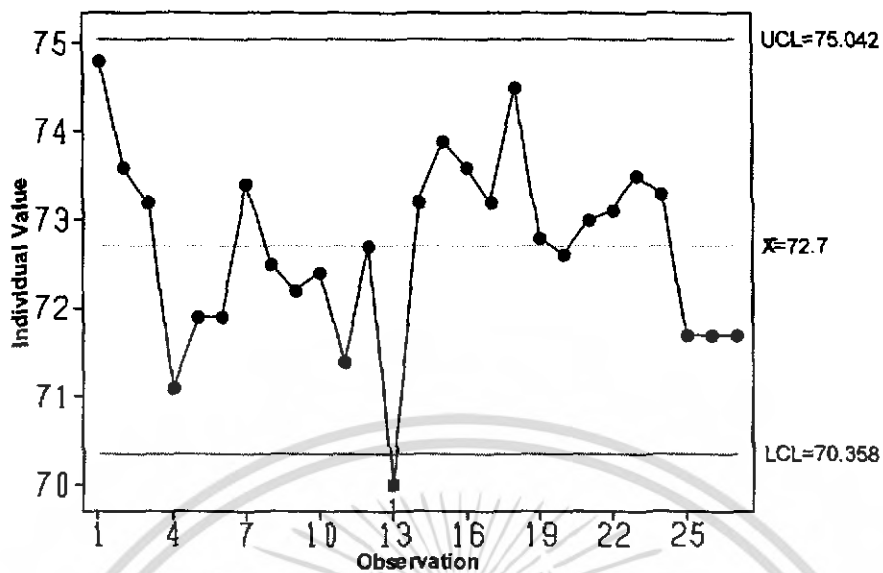


รูปที่ ก.20 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีที่น่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1

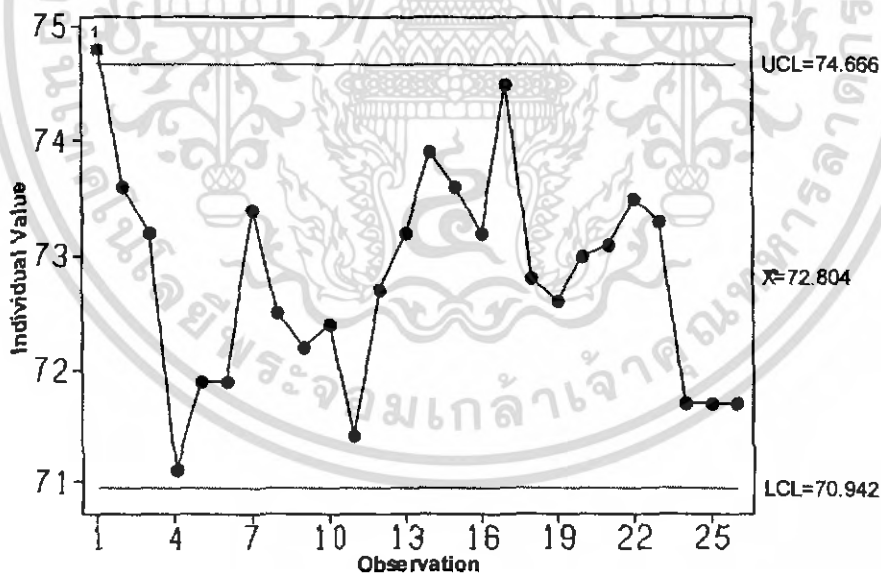


รูปที่ ก.21 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีที่น่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

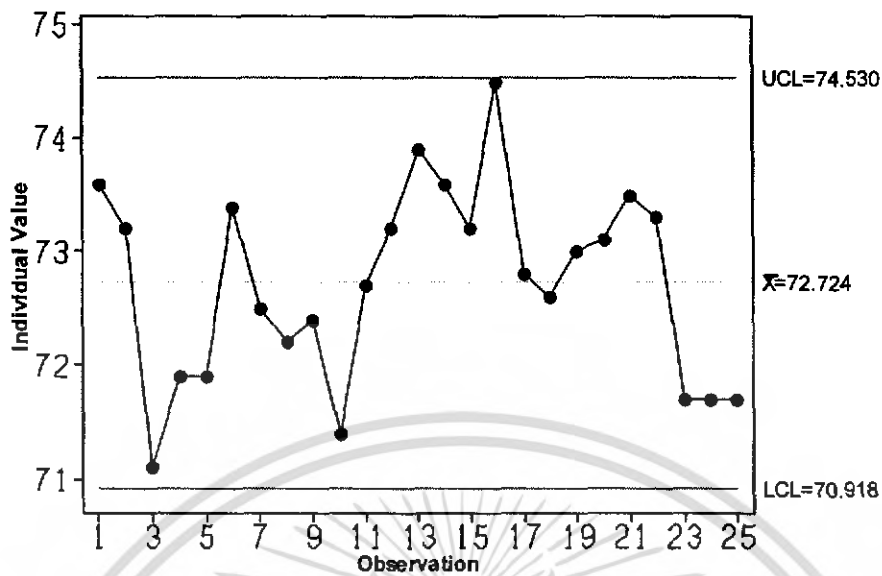


รูปที่ ก.22 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่คัดค่าที่ไม่มีคุณภาพซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 3

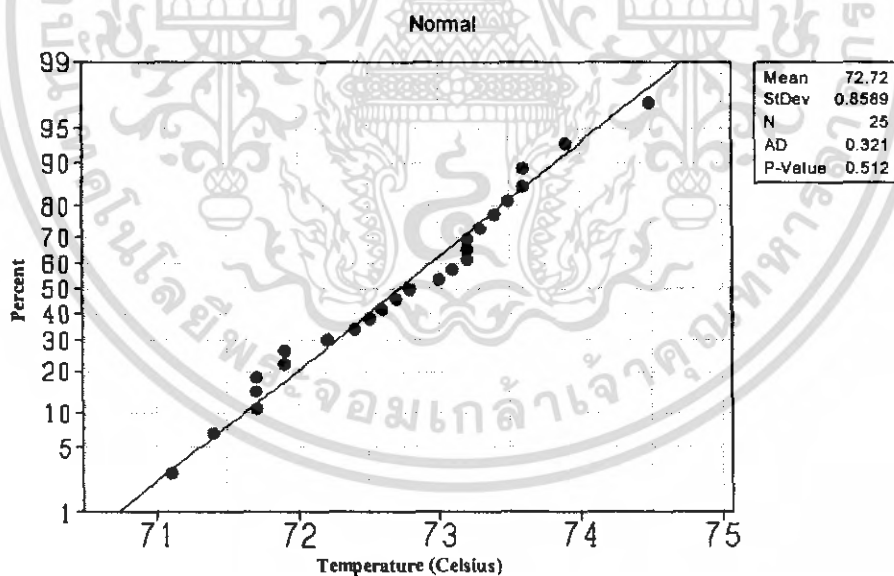


รูปที่ ก.23 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่คัดค่าที่ไม่มีคุณภาพซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.24 Individual control chart ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มีแนวโน้มเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 5



รูปที่ ก.25 Normal probability plot ของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เติมลงถังผสมหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าหลังเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาในการรออุณหภูมิของผสมลดตาม ค่าเป้าหมาย

เวลาทั้งหมดในกระบวนการลดอุณหภูมิของของผสม คือ ผลรวมของเวลาที่รออุณหภูมิของ
ของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายกับเวลาที่ใช้ทำกิจกรรมอื่นของการผสมวัตถุดิบระหว่างรออุณหภูมิ
ของของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมาย

ถ้าเวลาที่ใช้ทำกิจกรรมอื่นนาน เวลาที่รออุณหภูมิของของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายจะน้อย
ในทางตรงข้ามถ้าเวลาที่ใช้ทำกิจกรรมอื่นน้อย เวลาที่รออุณหภูมิของของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมาย
จะนาน กล่าวได้ว่าเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายมีการกระจายของข้อมูลมาก
เพราะถูกกระทบจากเวลาที่ใช้ทำกิจกรรมอื่นของการผสมวัตถุดิบระหว่างรออุณหภูมิของของผสม
ลดลงถึงค่าเป้าหมาย ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิของผสมเป็นตัวแทนในการ
ทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

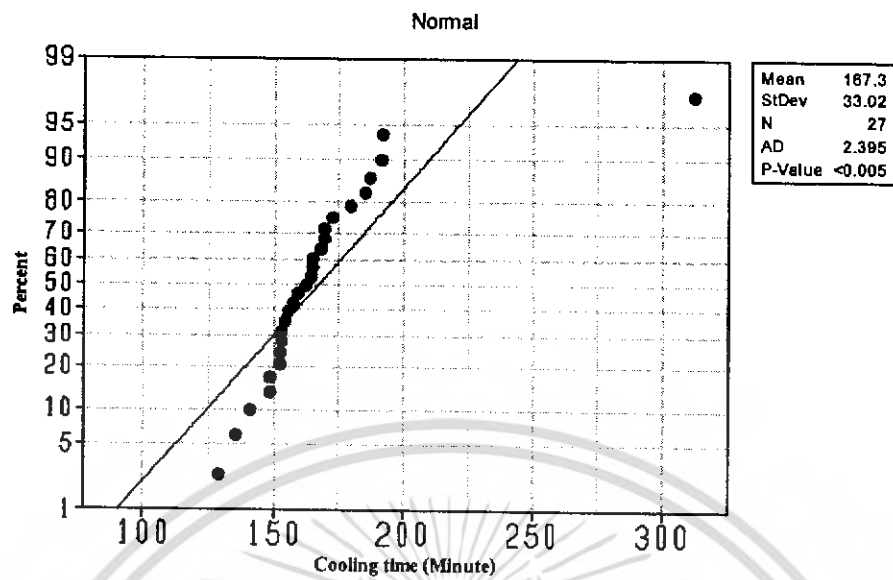
ก.2.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมในขั้นตอนการผสม วัตถุดิบลดลงถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีน: ก่อนปรับปรุงหรือนำ น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ ก.5 ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ลดอุณหภูมิของผสมในถังผสมหลักกับเวลาในการลดอุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลิ้น ก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น

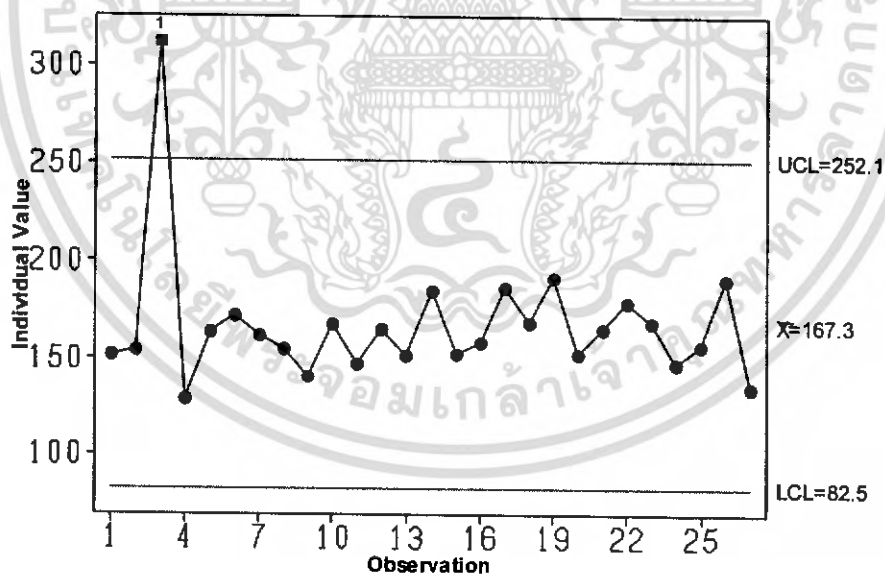
เวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิ (นาที)	เวลาในการลดอุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมาย (นาที)	เวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิ (นาที)	เวลาในการลดอุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมาย (นาที)
152	54	153	43
154	59	159	52
312 *	43 *	187	10
129	32	169	59
164	56	192	0
172	54	153	36
162	86	165	22
155	56	179	52
141	30	169	39
168	49	148	8
148	26	157	63
165	33	191	0
152	39	135	22
185	39		

หมายเหตุ 1. ข้อมูลการผลิตจำนวน 27 กระ ระหว่างวันที่ 4 ก.พ. - 23 เม.ย. 2548

2. * ตัดออกเนื่องจากทำให้กลุ่มข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

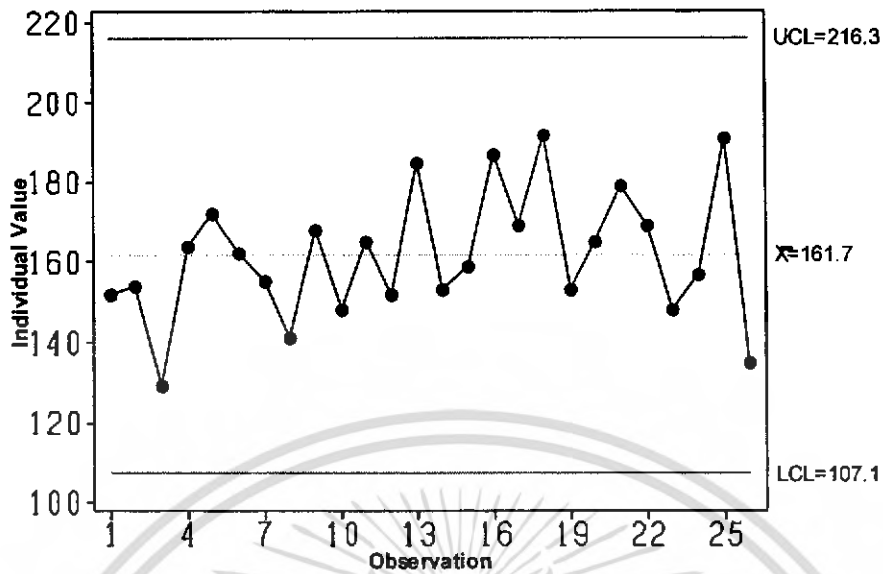


รูปที่ ก.26 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด

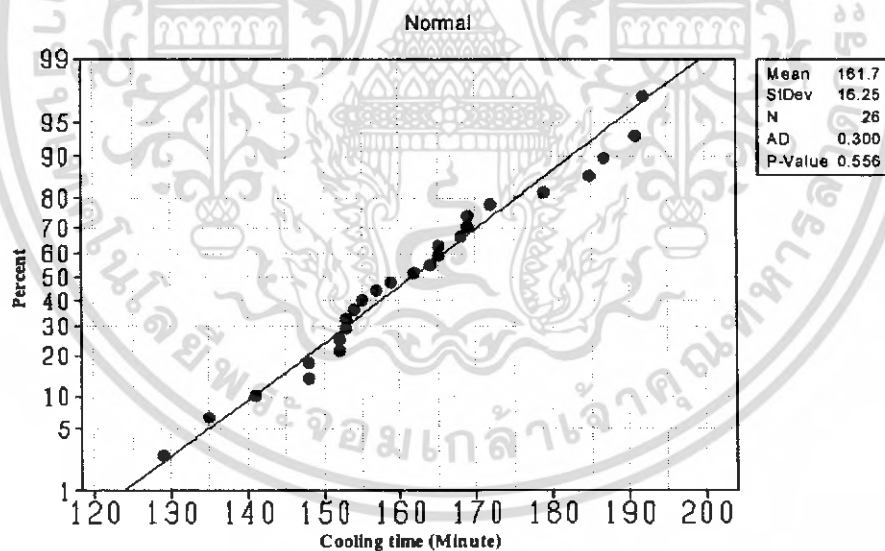


รูปที่ ก.27 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.28 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มี
ความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1



รูปที่ ก.29 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ
P-Value = 0.556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

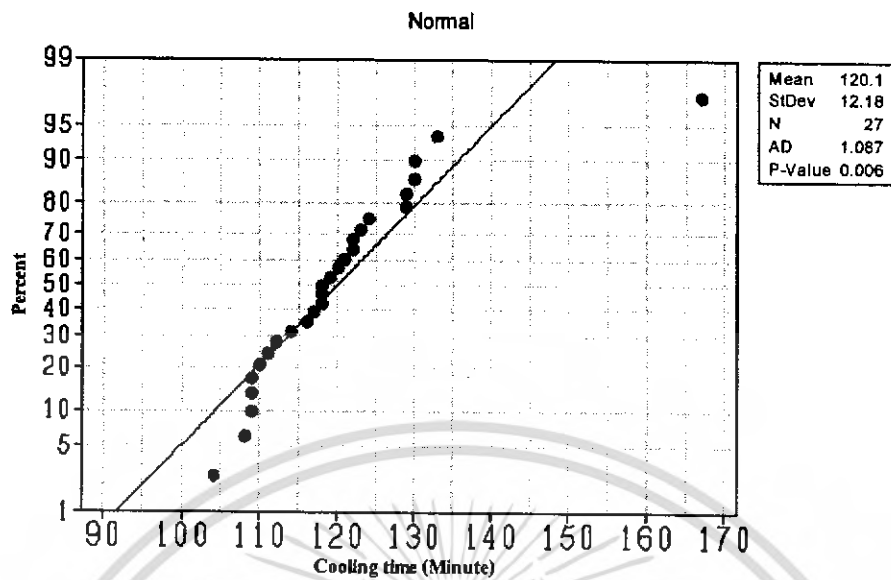
**ก.2.2 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่รออุณหภูมิของผสมในขั้นตอนการผสม
วัตถุดิบลดลงถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บารุงผิววาสลีน:
หลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น**

**ตารางที่ ก.6 ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ลดอุณหภูมิของผสมในถังผสมหลักกับเวลาใน
การรออุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของ
ผลิตภัณฑ์บารุงผิววาสลีน หลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น**

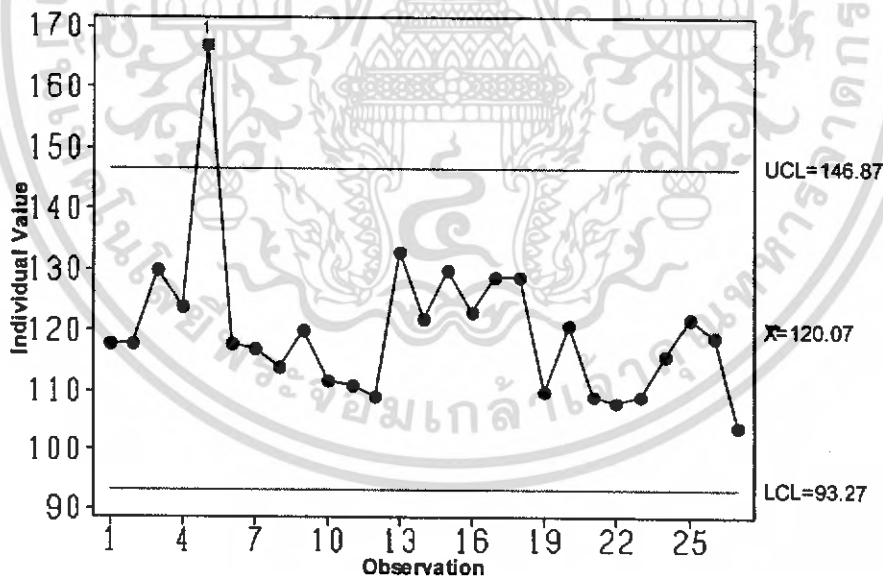
เวลาทั้งหมดใน การลดอุณหภูมิ (นาที)	เวลาในการรออุณหภูมิ ของผสมลดลงถึง ค่าเป้าหมาย (นาที)	เวลาทั้งหมดใน การลดอุณหภูมิ (นาที)	เวลาในการรออุณหภูมิ ของผสมลดลงถึง ค่าเป้าหมาย (นาที)
118	0	130	6
118	14	123	16
130	0	129	0
124	1	129	0
167 *	0 *	110	0
118	9	121	16
117	0	109	11
114	16	108	0
120	0	109	11
112	13	116	0
111	16	122	12
109	6	119	17
133	0	104	0
122	16		

หมายเหตุ 1. ข้อมูลการผลิตจำนวน 27 กะ ระหว่างวันที่ 17 พ.ย. - 17 ธ.ค. 48

2. * ตัดออกเนื่องจากทำให้กลุ่มข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

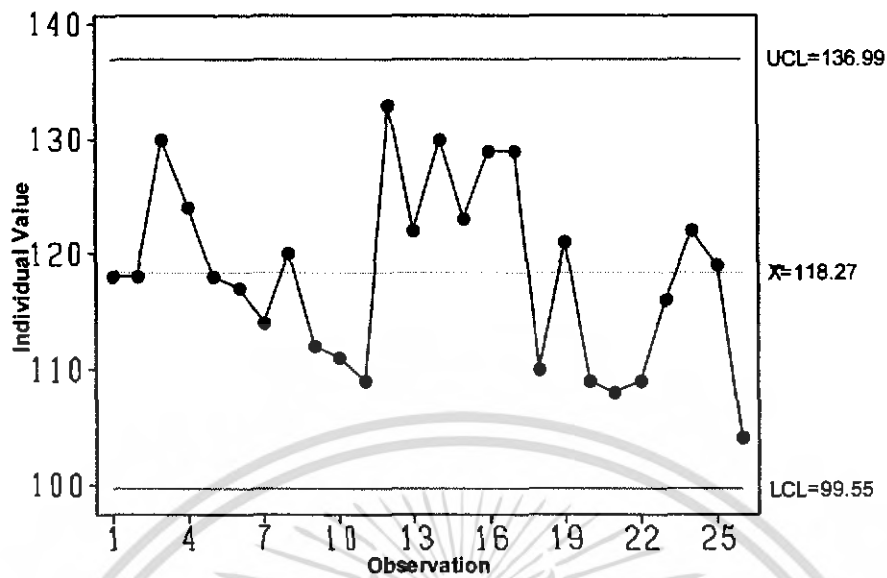


รูปที่ ก.30 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด

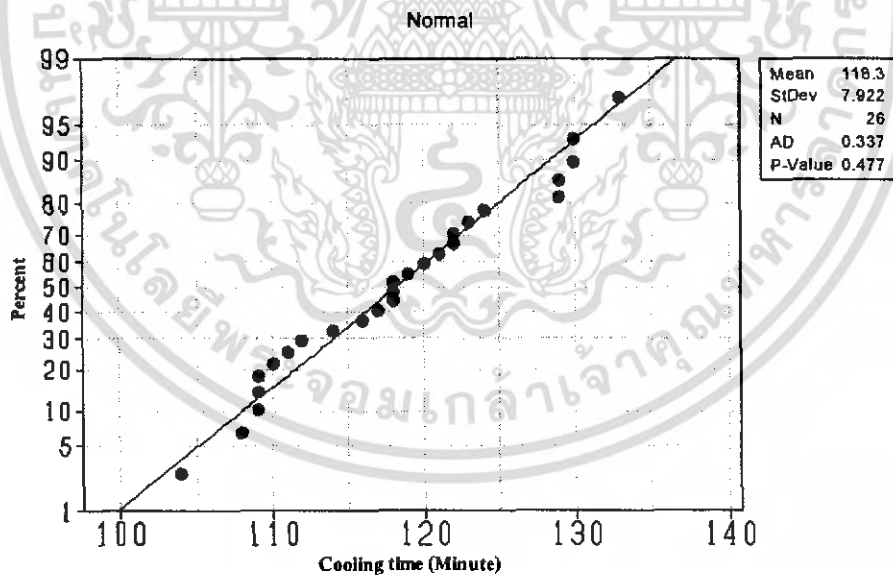


รูปที่ ก.31 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีนหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.32 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มี
ความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1



รูปที่ ก.33 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลินหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ
P-Value = 0.477

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

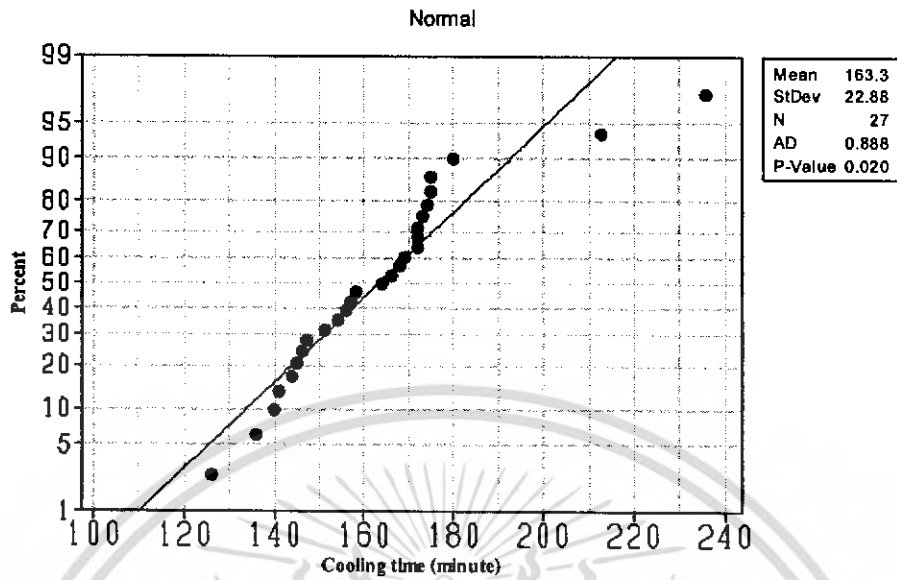
ก.2.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่รออุณหภูมิของของผสมในขั้นตอนการผสม
วัตถุดิบลดลงถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บารุงผิวชีวิตรา: ก่อนปรับปรุงหรือนำ
น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ ก.7 ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิของผสมในถังผสมหลักกับเวลาใน
การรออุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์
บารุงผิวชีวิตรา ก่อนปรับปรุงหรือนำน้ำหล่อเย็น

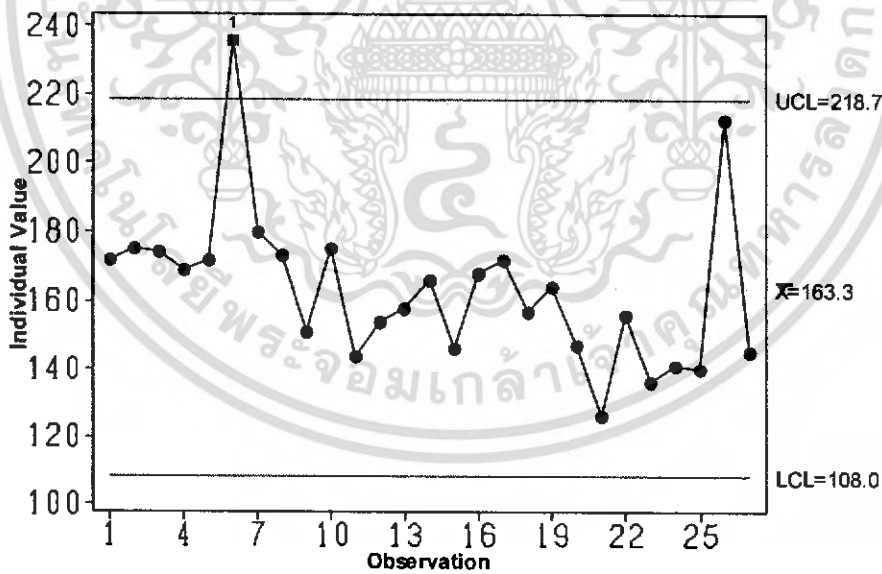
เวลาทั้งหมดใน การลดอุณหภูมิ (นาที)	เวลาในการรออุณหภูมิ ของผสมลดลงถึง ค่าเป้าหมาย (นาที)	เวลาทั้งหมดใน การลดอุณหภูมิ (นาที)	เวลาในการรออุณหภูมิ ของผสมลดลงถึง ค่าเป้าหมาย (นาที)
172	25	146	8
175	30	168	14
174	12	172	9
169	2	157	27
172	16	164	44
236 *	0 *	147	25
180	4	126	16
173	37	156	30
151	28	136	11
175	65	141	26
144	12	140	7
154	24	213 *	2 *
158	23	145	33
166	6		

หมายเหตุ 1. ข้อมูลการผลิตจำนวน 27 กะ ระหว่างวันที่ 23 เม.ย.-5 ก.ค. 48

2. * ตัดออกเนื่องจากทำให้กลุ่มข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ

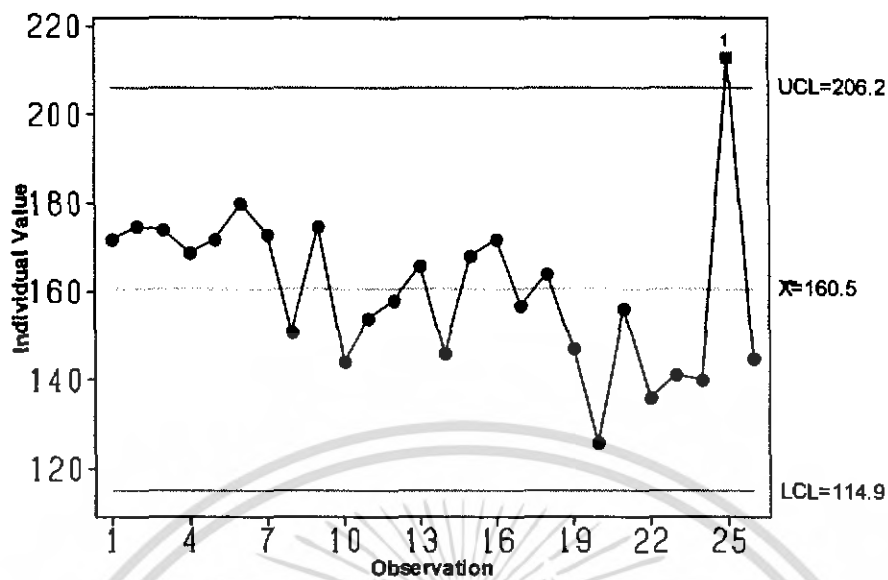


รูปที่ ก.34 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด

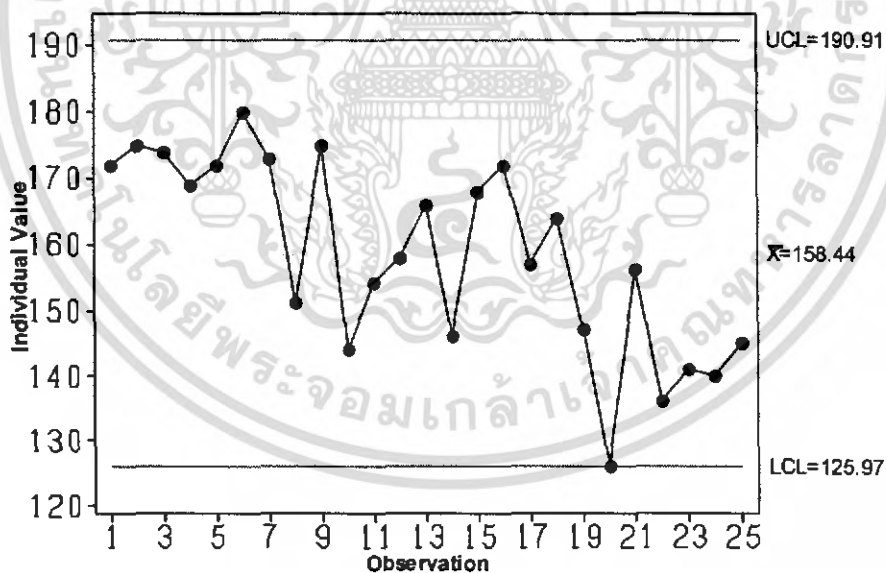


รูปที่ ก.35 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

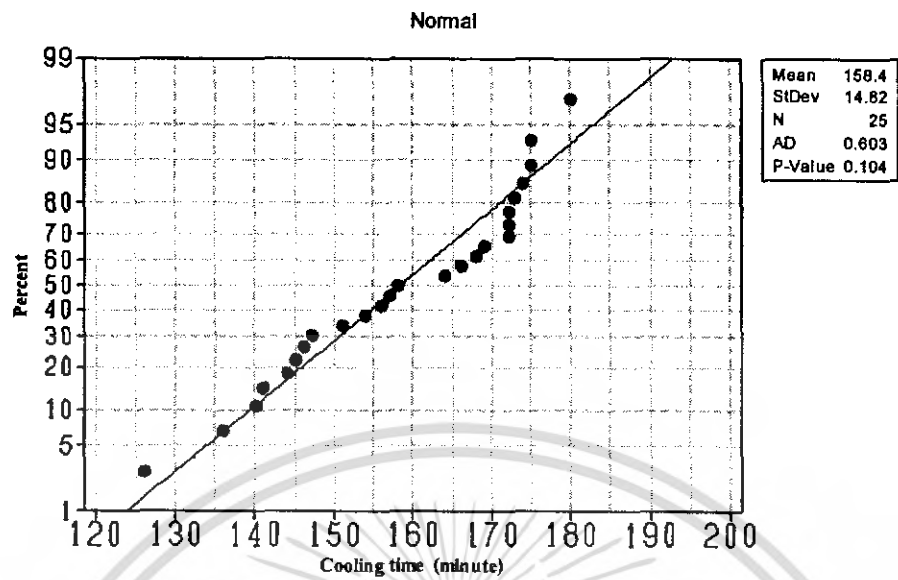


รูปที่ ก.36 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มี
ความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 1



รูปที่ ก.37 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีมก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลที่ตัดค่าที่ไม่มี
ความน่าเชื่อถือซึ่งอยู่นอกขอบเขตการควบคุมครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.38 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์น้ำปรุงผิวจัดร่าก่อนปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ P-Value = 0.104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

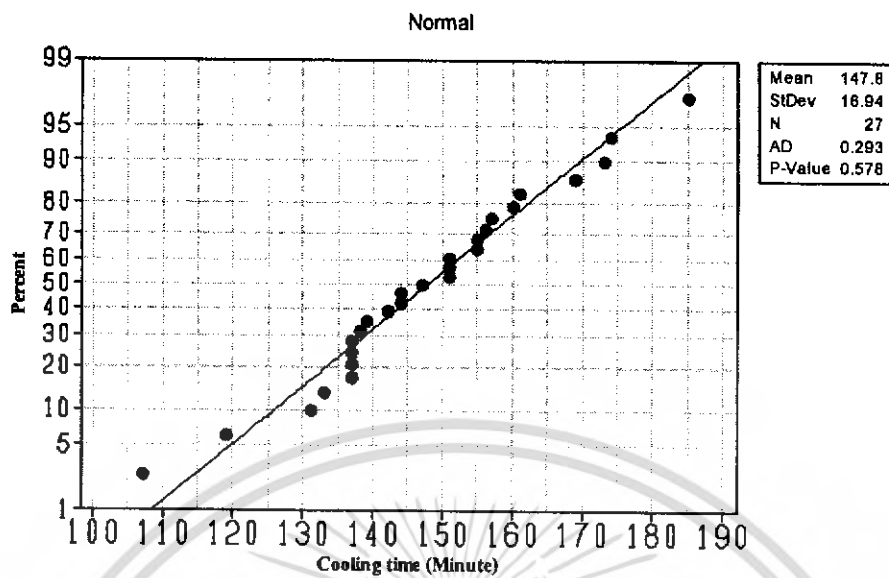
ก.2.4 การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาที่รออุณหภูมิของผสมในขั้นตอนการผสม
วัตถุดิบลดลงถึงค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวสตรี: หลังปรับปรุงหอทำ
น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ ก.8 ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิของผสมในถังผสมหลักกับเวลาใน
การรออุณหภูมิของผสมลดลงถึงค่าเป้าหมายในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์
บำรุงผิวสตรี หลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น

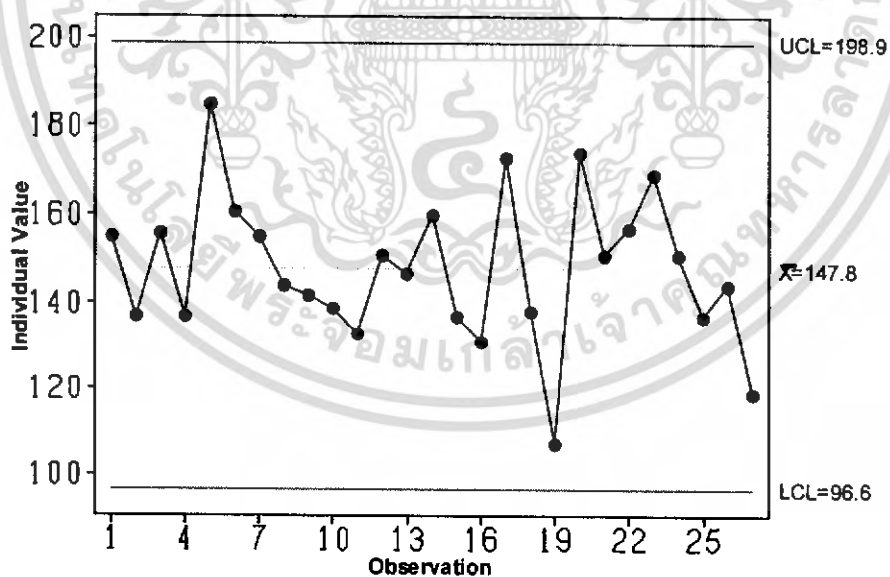
เวลาทั้งหมดใน การลดอุณหภูมิ (นาที)	เวลาในการรออุณหภูมิ ของผสมลดลงถึง ค่าเป้าหมาย (นาที)	เวลาทั้งหมดใน การลดอุณหภูมิ (นาที)	เวลาในการรออุณหภูมิ ของผสมลดลงถึง ค่าเป้าหมาย (นาที)
155	0	137	3
137	0	131	12
156	0	173	0
137	0	138	0
185	0	107	0
161	0	174	0
155	0	151	0
144	0	157	0
142	0	169	0
139	0	151	0
133	5	137	2
151	2	144	0
147	9	119	0
160	0		

หมายเหตุ ข้อมูลการผลิตจำนวน 27 กะ ระหว่างวันที่ 29 ต.ค. - 17 ธ.ค. 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.39 Normal probability plot ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมดมีความน่าเชื่อถือ
P-Value = 0.578



รูปที่ ก.40 Individual control chart ของเวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่าหลังปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น: ข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity cost)

ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวในเดือนมกราคม – เมษายน 2548

- การผสมวัตถุดิบ 1 ถังผสม ได้ผลิตภัณฑ์ 6 ตัน
- มีการผลิตเฉลี่ย 152.4 ตัน/เดือน
- ใช้เวลาในการผลิตเฉลี่ย 460 นาที/การผสม 1 ถัง
- ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวราคาขายประมาณ 100,000 บาท/ตัน

ข.1 ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากเวลาการผลิตที่ลดลงหลังจากเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

เวลาที่สามารถลดได้ในการผสมวัตถุดิบผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีน

$$= 8.49 \text{ นาที/การผสม 1 ถัง}$$

และเวลาที่สามารถลดได้ในการผสมวัตถุดิบผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดครีม

$$= 9.08 \text{ นาที/การผสม 1 ถัง}$$

ดังนั้น เวลาที่สามารถลดได้โดยเฉลี่ยในการผสมวัตถุดิบผลิตภัณฑ์บำรุงผิวทั้งสองชนิด

$$= (8.49 + 9.08)/2$$

$$= 8.79 \text{ นาที/การผสม 1 ถัง}$$

ถ้าปกติผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว 25.4 ถังผสม/เดือน ดังนั้นหากนำเวลาที่สามารถลดได้มาผลิตจะผลิตได้

$$= (8.79 \times 25.4 \times 12)/460$$

$$= 5.82 \text{ ถังผสม/ปี}$$

เทียบเป็นปริมาณการผลิต

$$= 5.82 \text{ ถังผสม/ปี} \times 6 \text{ ตัน/ถังผสม}$$

$$= 34.92 \text{ ตัน/ปี}$$

คิดเป็นมูลค่าต้นทุนค่าเสียโอกาส

$$= 34.92 \text{ ตัน/ปี} \times 100,000 \text{ บาท/ตัน}$$

$$= 3,492,000 \text{ บาท/ปี}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ.2 ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากเวลาการผลิตที่ลดลงหลังจากปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น

เวลาที่สามารถลดได้ในการผสมวัตถุดิบผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีน

$$= 32.30 \text{ นาที/การผสม 1 ถัง}$$

และเวลาที่สามารถลดได้ในการผสมวัตถุดิบผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดร่ำ

$$= 20.14 \text{ นาที/การผสม 1 ถัง}$$

ดังนั้น เวลาที่สามารถลดได้โดยเฉลี่ยในการผสมวัตถุดิบผลิตภัณฑ์บำรุงผิวทั้งสองชนิด

$$= (32.30 + 20.14)/2$$

$$= 26.22 \text{ นาที/การผสม 1 ถัง}$$

ถ้าปกติผลิตผลิตภัณฑ์บำรุงผิว 25.4 ถังผสม/เดือน ดังนั้นหากนำเวลาที่สามารถลดได้มาผลิตจะผลิตได้

$$= (26.22 \times 25.4 \times 12)/460$$

$$= 17.37 \text{ ถังผสม/ปี}$$

เทียบเป็นปริมาณการผลิต

$$= 17.37 \text{ ถังผสม/ปี} \times 6 \text{ ถัง/ถังผสม}$$

$$= 104.22 \text{ ถัง/ปี}$$

คิดเป็นมูลค่าต้นทุนค่าเสียโอกาส

$$= 104.22 \text{ ถัง/ปี} \times 100,000 \text{ บาท/ถัง}$$

$$= 10,422,000 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้น ต้นทุนค่าเสียโอกาสทั้งหมดจากการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนทั้งสองกระบวนการ

$$= 3,492,000 + 10,422,000$$

$$= 13,914,000 \text{ บาท/ปี}$$

ภาคผนวก ก.

ต้นทุนในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการถ่ายเทความร้อน

ก.1 ต้นทุนในการเปลี่ยนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

ข้อมูลราคา

แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน = 2,700 บาทต่อแผ่น

ปะเก็น = 1,345 บาทต่อเส้น

แผ่นปิดหัว = 3,062 บาทต่อแผ่น

แผ่นปิดท้าย = 3,037 บาทต่อแผ่น

จำนวนที่เปลี่ยน

แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน = 30 แผ่น

ปะเก็น = 30 เส้น

แผ่นปิดหัว = 1 แผ่น

แผ่นปิดท้าย = 1 แผ่น

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = $(30 \times 2,700) + (30 \times 1,345) + (1 \times 3,062) + (1 \times 3,037)$
= 127,450 บาท

ก.2 ต้นทุนในการปรับปรุงหอทำน้ำหล่อเย็น

ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนขนาดพัดลม = 43,150 บาท

ก.3 ต้นทุนในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของทั้งสองกระบวนการ

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงทั้งหมด = 127,450 + 43,150 บาท

= 170,600 บาท

ก.4 ระยะเวลาคืนทุน

จากข้อมูลในภาคผนวก ข

ต้นทุนค่าเสียโอกาสทั้งหมดจากการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนทั้งสอง

กระบวนการ = 13,914,000 บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าคิดกำไรสุทธิเฉลี่ยของบริษัท	20%
ตั้งนั้นระยะเวลาคืนทุน	
=	$\frac{170,600 \text{ บาท} \times 365 \text{ วัน/ปี}}{(0.2) \times 13,914,000 \text{ บาท/ปี}}$
=	22.4 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลการประมาณเวลาสำหรับการหล่อเย็นผ่านเปลือกหุ้ม
ของถังผสม

ตัวอย่างการคำนวณเวลาสำหรับการหล่อเย็นผ่านทางเปลือกหุ้มของถังผสม
กรณีตัวกลางหล่อเย็นมีอุณหภูมิไม่คงที่

คำนวณเวลาสำหรับการหล่อเย็นโดยใช้สมการที่ 2.10

$$\ln\left(\frac{T_{b1} - T_{co}}{T_{b2} - T_{co}}\right) = \left(\frac{\phi_{co} - 1}{\phi_{co}}\right) \left(\frac{mC_{p,co}}{WC_p}\right) \Delta t$$

เมื่อ

อุณหภูมิของเหลวในถังผสมก่อนหล่อเย็น (T_{b1})	= 72	องศาเซลเซียส
	= 345	เคลวิน
อุณหภูมิของเหลวในถังผสมหลังหล่อเย็น (T_{b2})	= 40.5	องศาเซลเซียส
	= 313.5	เคลวิน
อุณหภูมิขาเข้าของตัวกลางหล่อเย็น (T_{co})	= 25	องศาเซลเซียส
	= 298	เคลวิน
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)	= 220	วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน [12]
มวลของของเหลวในถังผสม (W)	= 6,000	กิโลกรัม
พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของถังผสม (A)	= 15	ตารางเมตร
ความหนาแน่นของน้ำหล่อเย็น	= 999	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น (m)	= 20	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
	= 5.55	กิโลกรัมต่อวินาที
ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำหล่อเย็น ($C_{p,co}$)	= 4,190	จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน
สมมติค่าความจุความร้อนจำเพาะของของเหลว ในถังผสม (C_p) ด้วยค่าของน้ำ	= 4,190	จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\begin{aligned}\phi_{cv} &= \exp\left(\frac{UA}{mC_{p,cv}}\right) \\ &= \exp\left(\frac{220 \times 15}{5.55 \times 4,190}\right) \\ &= 1.15\end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}\Delta t &= \ln\left(\frac{345 - 298}{313.5 - 298}\right) \left(\frac{1.15}{1.15 - 1}\right) \left(\frac{6,000 \times 4,190}{5.55 \times 4,190}\right) \\ &= 9,064 \text{ วินาที} \\ &= 151 \text{ นาที}\end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของผสมในถังผสมผ่านเปลือกหุ้มที่คำนวณจากสมการประมาณเวลา

อุณหภูมิขาเข้าของ น้ำหล่อเย็น (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของผสมในถังผสมที่อัตราการไหลต่างๆ (นาที)											
	5	10	15	20	21	22	23	24	25	26	27	
25	184.6	161.8	154.6	151.1	150.6	150.1	149.7	149.3	149.0	148.7	148.4	
26	192.1	168.4	160.9	157.2	156.7	156.2	155.8	155.4	155.1	154.7	154.4	
27	200.3	175.6	167.8	164.0	163.4	162.9	162.5	162.1	161.7	161.4	161.0	
28	209.4	183.5	175.4	171.4	170.8	170.3	169.8	169.4	169.0	168.7	168.3	
29	219.5	192.3	183.8	179.6	179.0	178.5	178.0	177.6	177.1	176.8	176.4	
30	230.7	202.2	193.2	188.8	188.2	187.6	187.1	186.6	186.2	185.8	185.4	
31	243.3	213.3	203.8	199.2	198.5	197.9	197.4	196.9	196.4	196.0	195.6	
32	257.7	225.9	215.8	210.9	210.2	209.6	209.0	208.5	208.0	207.6	207.2	
33	274.3	240.4	229.8	224.5	223.8	223.1	222.5	222.0	221.4	221.0	220.5	
34	293.8	257.5	246.1	240.5	239.7	239.0	238.3	237.7	237.2	236.7	236.2	
35	317.2	278.0	265.6	259.6	258.7	258.0	257.3	256.6	256.0	255.5	255.0	
36	346.0	303.3	289.8	283.2	282.3	281.4	280.7	279.9	279.3	278.7	278.1	
37	383.1	335.8	320.9	313.6	312.6	311.6	310.8	310.0	309.3	308.6	308.0	
38	434.3	380.6	363.7	355.5	354.3	353.2	352.3	351.4	350.6	349.8	349.1	
39	514.3	450.8	430.8	421.0	419.6	418.3	417.2	416.1	415.2	414.3	413.5	
40	692.0	606.5	579.6	566.4	564.5	562.8	561.3	559.9	558.6	557.4	556.3	

หมายเหตุ อัตราการไหล: ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของผสมในถังผสมผ่านเปลือกหุ้มที่คำนวณจากสมการประมาณเวลา (ต่อ)

อุณหภูมิจากเข้าของน้ำหล่อเย็น (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของผสมในถังผสมที่อัตราการไหลต่างๆ (นาที)					
	28	29	30	31	32	50
25	148.1	147.9	147.6	147.4	147.2	144.9
26	154.1	153.9	153.6	153.4	153.2	150.8
27	160.7	160.5	160.2	160.0	159.7	157.2
28	168.0	167.7	167.5	167.2	167.0	164.4
29	176.1	175.8	175.5	175.2	175.0	172.3
30	185.1	184.8	184.5	184.2	183.9	181.1
31	195.2	194.9	194.6	194.3	194.0	191.0
32	206.8	206.4	206.1	205.8	205.5	202.3
33	220.1	219.7	219.4	219.1	218.7	215.3
34	235.8	235.4	235.0	234.6	234.3	230.6
35	254.5	254.1	253.7	253.3	252.9	249.0
36	277.6	277.2	276.7	276.3	275.9	271.6
37	307.4	306.9	306.4	305.9	305.5	300.7
38	348.5	347.9	347.3	346.8	346.3	340.9
39	412.7	412.0	411.3	410.7	410.1	403.7
40	555.3	554.3	553.4	552.6	551.8	543.2

หมายเหตุ อัตราการไหล: อุณหภูมิเมตรต่อชั่วโมง