

การลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Reduction of viscosity variation in tapioca starch preparation



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

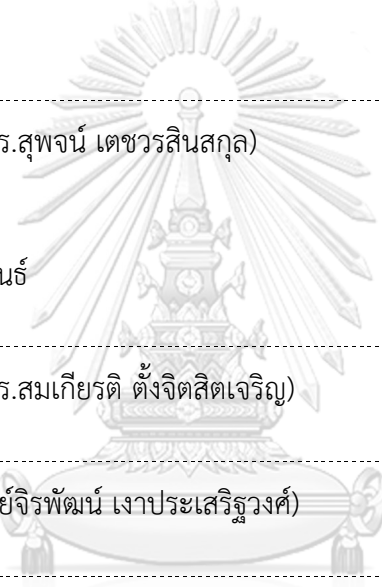
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้ง มันสำปะหลัง
โดย	น.ส.อริตา บุญพร้อม
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์จรัสพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์จรัสพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)	



CHULALONGKORN UNIVERSITY

อธิตา บุญพร้อม : การลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมัน
 สำปะหลัง. (Reduction of viscosity variation in tapioca starch preparation) อ.
 ที่ปรึกษาหลัก : รศ.จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์

ในกระบวนการผลิตกระดาษ ขั้นตอนการเคลือบผิวของกระดาษเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพื่อให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และทำให้ภาพที่ถูกพิมพ์ลงมามีความคมชัด โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการเคลือบผิวหน้ากระดาษคือ น้ำแป้งมันสำปะหลัง โดยจะต้องทำการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังให้อยู่ในค่าควบคุมในขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังก่อนที่จะถูกเคลือบลงบนผิวหน้ากระดาษของเครื่องจักร จากปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่าค่าความหนืดของแป้งมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.46 และมีค่าความหนืดของน้ำแป้งอยู่นอกเหนือค่าควบคุมเท่ากับ 41.43% พร้อมทั้งส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตกระดาษ จากคุณภาพความแข็งแรงต่ำกว่าค่าควบคุมถึง 230 ตันต่อปี โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการศึกษาตัวแปรนำเข้า (Factor) ที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลัง เพื่อลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง และลดของเสียในกระบวนการผลิตกระดาษ โดยในการทดลองได้ทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง คือ ปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) และความเข้มข้นของน้ำแป้ง (%Solid Content) โดยผลการศึกษสามารถลดความแปรปรวนของความหนืดโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.38 และมีค่าความหนืดของน้ำแป้งอยู่ในค่าควบคุม พร้อมทั้งไม่ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตกระดาษด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
 ปีการศึกษา 2563

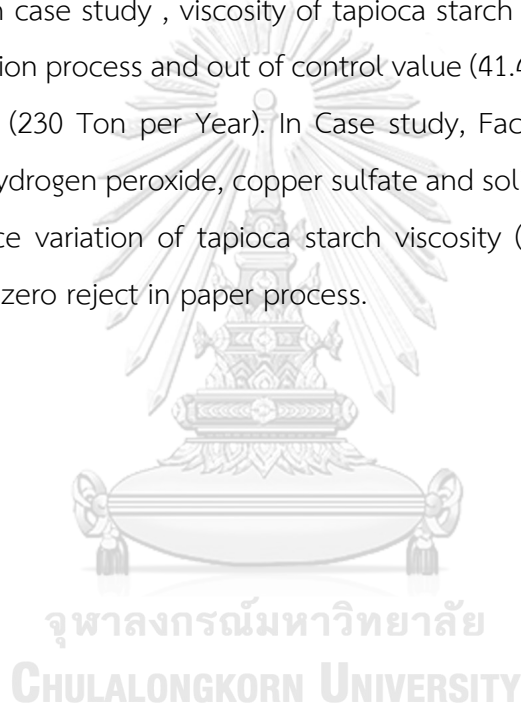
ลายมือชื่อนิสิต
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6270309921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Defective reduction Design of experiment Tapioca Starch Viscosity

Atita Boonprompt : Reduction of viscosity variation in tapioca starch preparation. Advisor: Assoc. Prof. JEERAPAT NGAOPRASERTWONG

On paper making process coating process is important for increase paper strength and printing quality. Main raw material for paper coating process is tapioca starch. The tapioca starch is prepared in starch preparation process before paper coating process. In case study , viscosity of tapioca starch is high variation ($SD=3.46$) in starch preparation process and out of control value (41.43%) effect to many reject paper in process (230 Ton per Year). In Case study, Factors effect to viscosity in experiment are hydrogen peroxide, copper sulfate and solid of tapioca starch. These results can reduce variation of tapioca starch viscosity ($SD=1.38$) and viscosity in control including zero reject in paper process.



Field of Study: Industrial Engineering

Academic Year: 2020

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรศ.จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งเป็นผู้ผลักดัน ชี้แนะความรู้ คำแนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัย อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ และ ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาช่วยแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสในการทำงานวิจัย รวมทั้งให้การสนับสนุนในการเก็บรวบรวมข้อมูล และขอขอบคุณคณะทำงานที่ให้ความร่วมมือและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี รวมทั้งขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

อธิตา บุญพร้อม



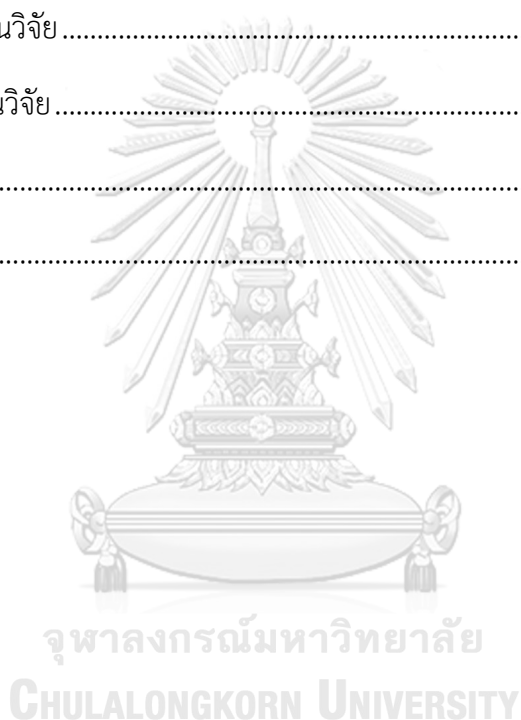
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา	2
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	7
1.3 สภาพปัญหาที่พบในปัจจุบัน	8
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	11
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	12
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
2.1 ทฤษฎีกระบวนการผลิตกระดาษ.....	14
2.2 การใช้แป้งในกระบวนการผลิตกระดาษ	16
2.3 กระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาษ (surface sizing)	17
2.4 โครงสร้างและองค์ประกอบของแป้งที่ใช้ในขั้นตอนการฉาบผิวหน้ากระดาษ (surface sizing)	19
2.5 การเกิดปฏิกิริยาเคมีของแป้งสำหรับใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาษ	20
2.6 ชนิด และวิธีการในการเกิดปฏิกิริยาของแป้งสำหรับใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาษ	22

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 การนิยามปัญหา	34
3.1 จัดตั้งคณะทำงาน	34
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต	34
3.3 การกำหนดปัญหา.....	40
3.4 กำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด	41
3.5 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram).....	42
3.6 สรุปนิยามปัญหา.....	44
บทที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหา	45
4.1 ปัจจัยจากวัตถุดิบ (M – Material).....	45
4.2 ปัจจัยจากเครื่องจักร (M – Machine).....	52
4.3 ปัจจัยจากวิธีการ (M – Method).....	70
4.4 ปัจจัยจากคน (M – Man).....	79
4.5 ปัจจัยจากสภาพแวดล้อม (E - Environment).....	87
4.6 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	87
บทที่ 5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	91
5.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้า.....	91
5.2 ตัวแปรตอบสนอง.....	91
5.3 การวิเคราะห์ค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด จาก Respond Optimizer.....	92
5.4 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	93
บทที่ 6 การควบคุมกระบวนการผลิต.....	94
6.1 การทดสอบยืนยันผล.....	94
6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	94

6.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของน้ำแข็งภายใน.....	99
6.4 สรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต	100
7.1 บทสรุปขั้นตอนการนิยามปัญหา	101
7.2 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	102
7.3 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	102
7.4 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต	102
7.5 บทสรุปของงานวิจัย	103
7.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....	105
บรรณานุกรม	106
ประวัติผู้เขียน	108



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ข้อมูลทางสถิติของความหนืดน้ำแป้งมันสำปะหลังในแต่ละเกรดจากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563.....	9
ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ และความเข้มข้นของแป้ง (%Solid)	26
ตารางที่ 3 แสดงค่าความหนืดต่าง ๆ ของแป้งแต่ละชนิด	28
ตารางที่ 4 ค่าความหนืดที่สูงที่สุด (peak viscosity) ความหนืดของแป้ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น ค่าพีเอช และ อุณหภูมิ	30
ตารางที่ 5 มาตรฐานการควบคุมคุณภาพแป้งมันสำปะหลังของโรงงานกรณีศึกษาที่รับเข้ามาเป็นวัตถุดิบก่อนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังสำหรับเคลือบผิวหน้ากระดาษ.....	45
ตารางที่ 6 ตารางแสดง % ความเข้มข้นของน้ำแป้งทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลอง.....	54
ตารางที่ 7 ตารางแสดง % ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลอง	57
ตารางที่ 8 ตารางแสดง % ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลอง	60
ตารางที่ 9 ตารางแสดงอุณหภูมิ (°C) ของน้ำแป้งที่ถูกให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อน (Steam).....	63
ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าความหนืดน้ำแป้งที่วัดจากเครื่องมือวัดแบบต่อเนื่อง และค่าความหนืดแป้งที่วัดจากเครื่องมือวัดความหนืดของห้องปฏิบัติการทดลอง	66
ตารางที่ 11 ตารางแสดงค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งที่วัดจากเครื่องมือวัดแบบต่อเนื่อง และค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งที่วัดจากเครื่องมือวัดความหนืดของห้องปฏิบัติการทดลอง	69
ตารางที่ 12 ตารางแสดงข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีต่างๆ ปริมาณความเข้มข้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มแป้งเก็บข้อมูลในช่วงเดือนตุลาคม – ธันวาคม 2563.....	73
ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลการวัดของพนักงานเทียบกับช่วงของค่าความหนืดมาตรฐาน	81
ตารางที่ 14 แสดงข้อมูลการวัดของพนักงานเทียบกับช่วงของค่าความเข้มข้นมาตรฐาน	85

ตารางที่ 15 ตารางแสดงผลลัพธ์การค่าของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความหนืดอยู่ใน
 ค่ากลาง.....93

ตารางที่ 16 ตารางแสดงค่าการควบคุมของปัจจัยนำเข้าของน้ำแป้งเพื่อยืนยันผลลัพธ์ในกระบวนการ
 ผลิตจริง.....94



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 กระบวนการผลิตกระดาษในโรงงานกรณีศึกษา	2
รูปที่ 2 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตกระดาษในโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่การเตรียมเยื่อจนไปถึงการ กรอแบ่งกระดาษ.....	3
รูปที่ 3 การฉาบผิวหน้ากระดาษด้วยแป้งมันสำปะหลังที่ต้มสุกแล้วบนเครื่องจักร	4
รูปที่ 4 กระบวนการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาษ.....	5
รูปที่ 5 รายละเอียดกระบวนการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาษ.....	6
รูปที่ 6 กราฟวงกลม (Pie Chart) ของสัดส่วนของเกรดกระดาษต่อปี.....	7
รูปที่ 7 กราฟพารेटแสดงสัดส่วนของผลผลิตกระดาษทั้งปี	9
รูปที่ 8 กราฟฮิสโตแกรมของความหนืดน้ำแป้งมันสำปะหลังในแต่ละเกรดจากการเก็บข้อมูลตั้งแต่ เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563.....	10
รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในเกรด II125 จากการเก็บข้อมูล ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563.....	11
รูปที่ 10 ขั้นตอนการผลิตกระดาษแต่ละส่วนของการผลิต	16
รูปที่ 11 ขั้นตอนการผลิตกระดาษที่มีการเคลือบและฉาบผิวหน้าบนกระดาษ	17
รูปที่ 12 ประเภทของชุดฉาบผิวแบบแอ่งน้ำ (flooded size press).....	18
รูปที่ 13 ประเภทของชุดฉาบผิวแบบเคลือบฟิล์ม (metered size press)	18
รูปที่ 14 โครงสร้างของแป้ง และโครงสร้างของเส้นใย	20
รูปที่ 15 โครงสร้างภายในของแป้งส่วนประกอบของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin).....	20
รูปที่ 16 ลักษณะรูปร่างของแป้งเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ และเวลา.....	21
รูปที่ 17 รูปแสดงค่าความหนืดของแป้งชนิดต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลา.....	23

รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการบวมใหญ่ของแป้ง และตัวแปรที่ส่งผล	24
รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ และอุณหภูมิ.....	25
รูปที่ 20 รูปแสดงอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการทำเม็ดแป้งให้มีขนาดบวมใหญ่ (granule swelling).....	27
รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของความหนืดของแป้งชนิดต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลา และอุณหภูมิ	28
รูปที่ 22 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแป้งโดยใช้สารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO ₄)	29
รูปที่ 23 รูปแสดงขนาดอนุภาคของแป้งมันสำปะหลัง (ไมครอน) ในตัวแปรต่าง ๆที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิความร้อนที่ให้กับแป้งที่ 75 °C และ 95 °C	31
รูปที่ 24 รูปแสดงอุณหภูมิ เวลา และขนาดอนุภาคของแป้งมันสำปะหลังที่ส่งผลต่อความหนืดของแป้งที่ค่าต่าง ๆ (peak viscosity-PV (cP).....	32
รูปที่ 25 รูปแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณแป้งที่อยู่ในแป้งมันสำปะหลัง (% starch content) ในแต่ละฤดูกาล และชนิดของแป้งต่าง ๆ	33
รูปที่ 26 รูปแสดงค่าขนาดอนุภาคของแป้งมันสำปะหลัง (Granule Size Distribution) ในแต่ละฤดูกาล และชนิดของแป้งต่าง ๆ	33
รูปที่ 27 กระบวนการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาศ.....	34
รูปที่ 28 รายละเอียดขั้นตอนของการเตรียมน้ำแป้ง จนถึงขั้นตอนการฉาบผิวหน้ากระดาศ	39
รูปที่ 29 กราฟข้อมูลความหนืดของแป้งมันสำปะหลังหลังผ่านขั้นตอนการเตรียมแป้งเพื่อเข้าสู่กระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาศข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563	40
รูปที่ 30 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการและ %ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดแป้ง ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563.....	41
รูปที่ 31 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังต้มสุกไม่สม่ำเสมอ และไม่อยู่ในค่าควบคุม	43
รูปที่ 32 ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง.....	46

รูปที่ 33 ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง โดยจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวของแป้งช่วงเดือนเดือน 7 , 8 ,9 ,10 มีค่าความหนืดของแป้งต่ำกว่าเดือนอื่น ๆซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ47

รูปที่ 34 ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง (%Starch Content)48

รูปที่ 35 ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง โดยจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยในแต่ละ lot มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ48

รูปที่ 36 ค่าเฉลี่ยของค่าความละเอียดของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง (% Fineness).....49

รูปที่ 37 ค่าเฉลี่ยของค่าความละเอียดของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง โดยจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยในแต่ละ lot มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ50

รูปที่ 38 ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ในแต่ละ lot51

รูปที่ 39 ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) ในแต่ละ lot52

รูปที่ 40 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียมน้ำแป้งด้วยอุปกรณ์ซึ่งน้ำหนักแป้ง (Load Cell) มีค่าเท่ากับ 25% ที่ระดับความชื้น 95%55

รูปที่ 41 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียมน้ำแป้ง มีค่าเท่ากับ 6.25% ที่ระดับความชื้น 95%58

รูปที่ 42 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียมน้ำแป้ง มีค่าเท่ากับ 6.66% ที่ระดับความชื้น 95%61

รูปที่ 43 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิที่วัดจากเกจวัดอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 115 °C ที่ระดับความชื้น 95%.....64

รูปที่ 44 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดความหนืดแบบต่อเนื่อง (Viscosity Online) และ เครื่องวัดความหนืดในห้องปฏิบัติการทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความชื้น 95%.....67

รูปที่ 45 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดค่าความเข้มข้นแบบต่อเนื่อง (Solid Online) และ เครื่องวัดความเข้มข้นในห้องปฏิบัติการทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความชื้น 95%70

รูปที่ 46 กราฟข้อมูลความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังหลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้งเพื่อเข้าสู่กระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาษข้อมูลตั้งแต่เดือนเดือนตุลาคม – ธันวาคม 2563	73
รูปที่ 47 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการและ % ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแป้งข้อมูลตั้งแต่เดือนตุลาคม – ธันวาคม 2563	74
รูปที่ 48 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลซึ่งเป็นรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution).....	75
รูปที่ 49 แสดงปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกับค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลัง.....	76
รูปที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำแป้ง	77
รูปที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำแป้ง	77
รูปที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และ ความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำแป้ง	78
รูปที่ 53 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของพนักงานในส่วนของด้าน Repeatability และ Reproducibility ในการวัดความหนืดของน้ำแป้ง.....	83
รูปที่ 54 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของพนักงานในส่วนของด้าน Repeatability และ Reproducibility ในการวัดความเข้มข้นของน้ำแป้ง	86
รูปที่ 55 ผลลัพธ์การค่าของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความหนืดอยู่ในค่ากลางของการควบคุม.....	93
รูปที่ 56 กราฟข้อมูลความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังหลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้งเพื่อเข้าสู่กระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาษข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ 2564.....	95
รูปที่ 57 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการและ %ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแป้งข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ 2564	95
รูปที่ 58 กราฟข้อมูลความหนืดของน้ำแป้งก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ.....	96
รูปที่ 59 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการ และ %ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแป้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	96

รูปที่ 60 กราฟข้อมูลปัจจัยนำเข้าของปริมาณความเข้มข้นของน้ำแข็ง (% Solid Content)97

รูปที่ 61 กราฟข้อมูลปัจจัยนำเข้าของปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H₂O₂) หน่วย liter/min ก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ97

รูปที่ 62 กราฟข้อมูลปัจจัยนำเข้าของปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) หน่วย liter/batch ก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ98

รูปที่ 63 กราฟข้อมูลของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแข็งก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการโดยของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแข็งก่อนการปรับปรุงเป็น 41.43% และของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแข็งหลังการปรับปรุงเป็น 0%98

รูปที่ 64 รูปแสดงลักษณะการแตกตัวของน้ำแข็งมันสำปะหลังที่ต้มไม่สุก และน้ำแข็งที่ต้มสุกร่วมนำไปเคลือบบนผิวหน้ากระดาษ99

รูปที่ 65 รูปแสดงลักษณะการแตกตัวของน้ำแข็งมันสำปะหลังในแต่ละปัจจัยนำเข้าเพื่อยืนยันผล99

รูปที่ 66 กราฟข้อมูลความหนืดของน้ำแข็งก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ103

รูปที่ 67 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการ และ %ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแข็งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ104

บทที่ 1 บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันธุรกิจด้านบรรจุภัณฑ์ในภูมิภาคอาเซียนได้มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง อัตราการบริโภคบรรจุภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการใช้ชีวิต และลักษณะทางประชากร โดยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วของธุรกิจอีคอมเมิร์ซ และแนวคิดในการใช้บรรจุภัณฑ์เกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม และการบริโภคอย่างยั่งยืน ทั้งมีการพัฒนานวัตกรรมด้านบรรจุภัณฑ์การออกแบบ และโซลูชันด้านบรรจุภัณฑ์อย่างไม่หยุดยั้ง เพื่อตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของผู้บริโภค โดยในตลาดการแข่งขัน แต่ละบริษัทจะต้องการการควบคุมคุณภาพของสินค้าให้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด พร้อมทั้งต้องควบคุมต้นทุนการผลิต และควบคุมกระบวนการผลิตไม่ให้เกิดของเสียออกไปสู่ลูกค้า ส่งผลให้ลูกค้าเกิดความไม่มั่นใจในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยโรงงานกรณีศึกษาเห็นความสำคัญในการควบคุมคุณภาพ และปรับปรุงกระบวนการผลิต พร้อมทั้งหาวิธีการในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในประเทศ และสามารถขยายธุรกิจบรรจุภัณฑ์ไปยังภูมิภาคอาเซียนเพิ่มขึ้นด้วย

งานวิจัยนี้ได้ใช้แนวคิดในการหาสาเหตุของปัญหา แนวทางแก้ไข และกำหนดมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพ มาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการ และลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลา (Fishbone diagram) โดยควบคุมตัวแปรขาเข้า (Input Factor) เพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

1.1 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

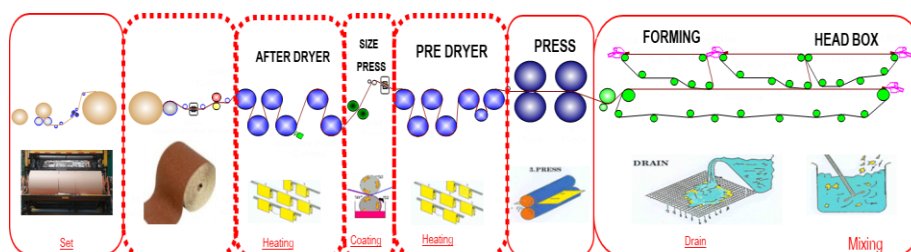
1.1.1. ข้อมูลทั่วไปของบริษัท

โรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตกระดาษคราฟท์สำหรับทำฝิวกล่องน้ำตาล และขาว ตั้งอยู่ บ้านเลขที่ : 70 หมู่ 4 ถนนหนองสังข์ – วังตะเคียน ต.บ่อทอง อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี 25110 มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 175,000 ตันต่อปี ผลิตกระดาษน้ำหนักอยู่ที่ 125 – 185 gsm

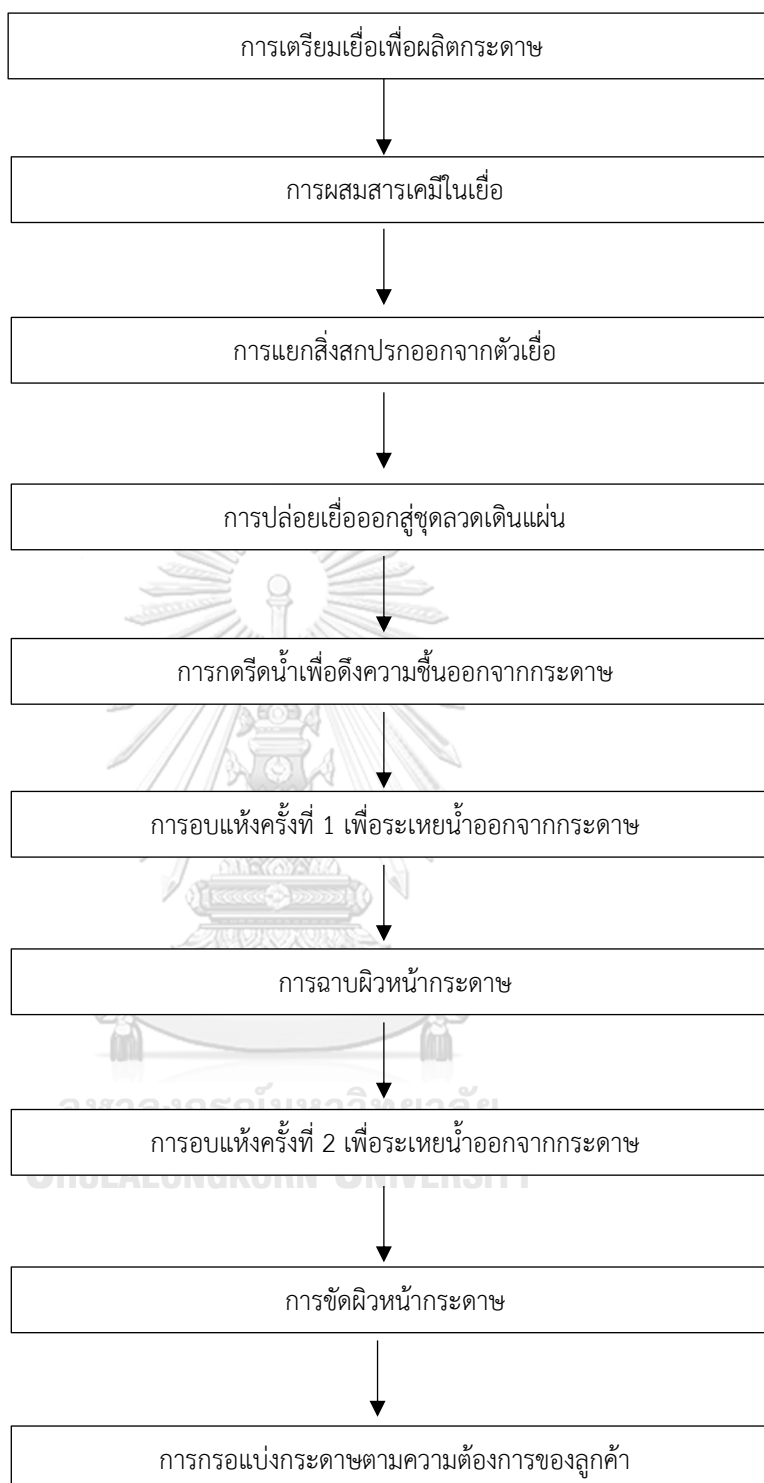
1.1.2. กระบวนการผลิตกระดาษของโรงงาน

กระบวนการผลิตกระดาษแบ่งเป็น 2 กระบวนการดังนี้

1. กระบวนการเตรียมเยื่อ และสารเคมี จะทำหน้าที่เตรียมเยื่อโดยรับวัตถุดิบเข้ามาและผสมเยื่อตามสัดส่วนแต่ละเกรดกระดาษ และทำให้เยื่อมีความสะอาดมีคุณภาพตามที่หน่วยงานถัดไปต้องการ
2. กระบวนการผลิตกระดาษ หลังจากเตรียมเยื่อในถังแล้วจะทำการส่งเยื่อขึ้นไปบนลวดเพื่อทำเป็นแผ่นกระดาษ หลังจากนั้นจะผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการกดรีดน้ำเพื่อนำความชื้นออกจากกระดาษ แล้วผ่านเข้าสู่ชุดอบแห้งครั้งที่ 1 เพื่อระเหยน้ำออกจากกระดาษโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ (steam) แล้วผ่านไปยังชุดอบผิวหน้ากระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และเพิ่มคุณภาพในการพิมพ์ของกระดาษ หลังจากนั้นผ่านเข้าสู่ชุดอบแห้งครั้งที่ 2 เพื่อระเหยน้ำออกจากกระดาษโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ (steam) และเข้าสู่ชุดขัดผิวกระดาษ (calender) เพื่อให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบตามคุณภาพที่ลูกค้าต้องการ จนในขั้นตอนสุดท้ายเข้าสู่กระบวนการกรอแบ่งกระดาษตามขนาดที่ลูกค้าต้องการ
3. ขั้นตอนการแปรรูป (converting) กระบวนการกรอแบ่งเพื่อแบ่งม้วนใหญ่ (jumbo reel) ไปสู่ม้วนขนาดเล็ก (jumbo roll) ตามขนาด และความยาวตามความต้องการของลูกค้า



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตกระดาษในโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ 2 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตกระดาษในโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่การเตรียมเยื่อจนไปถึงการกระจายกระดาษ

1.1.3. ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างที่ศึกษา

1.1.3.1 น้ำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษ



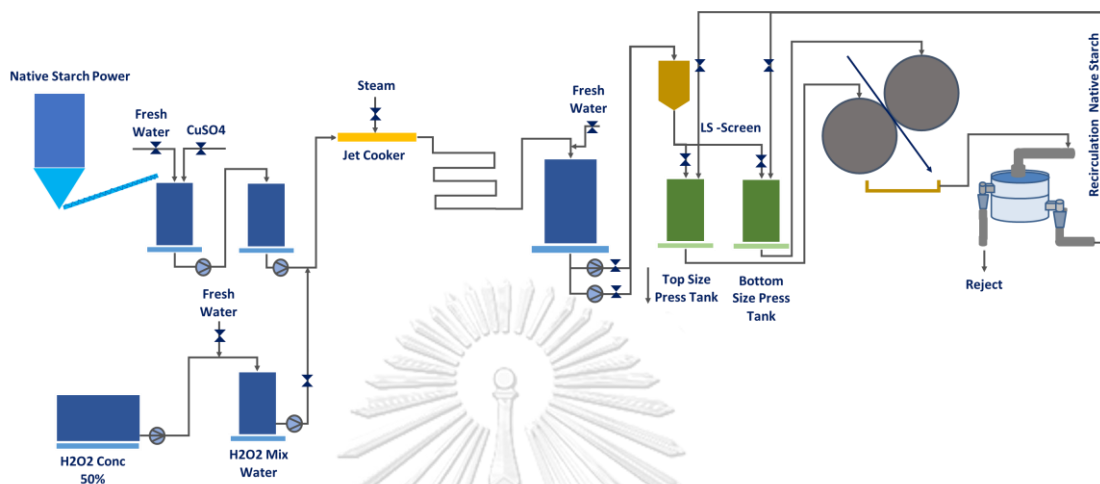
รูปที่ 3 การฉาบผิวหน้ากระดาษด้วยแป้งมันสำปะหลังที่ต้มสุกแล้วบนเครื่องจักร

1.1.3.2 กระบวนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษ

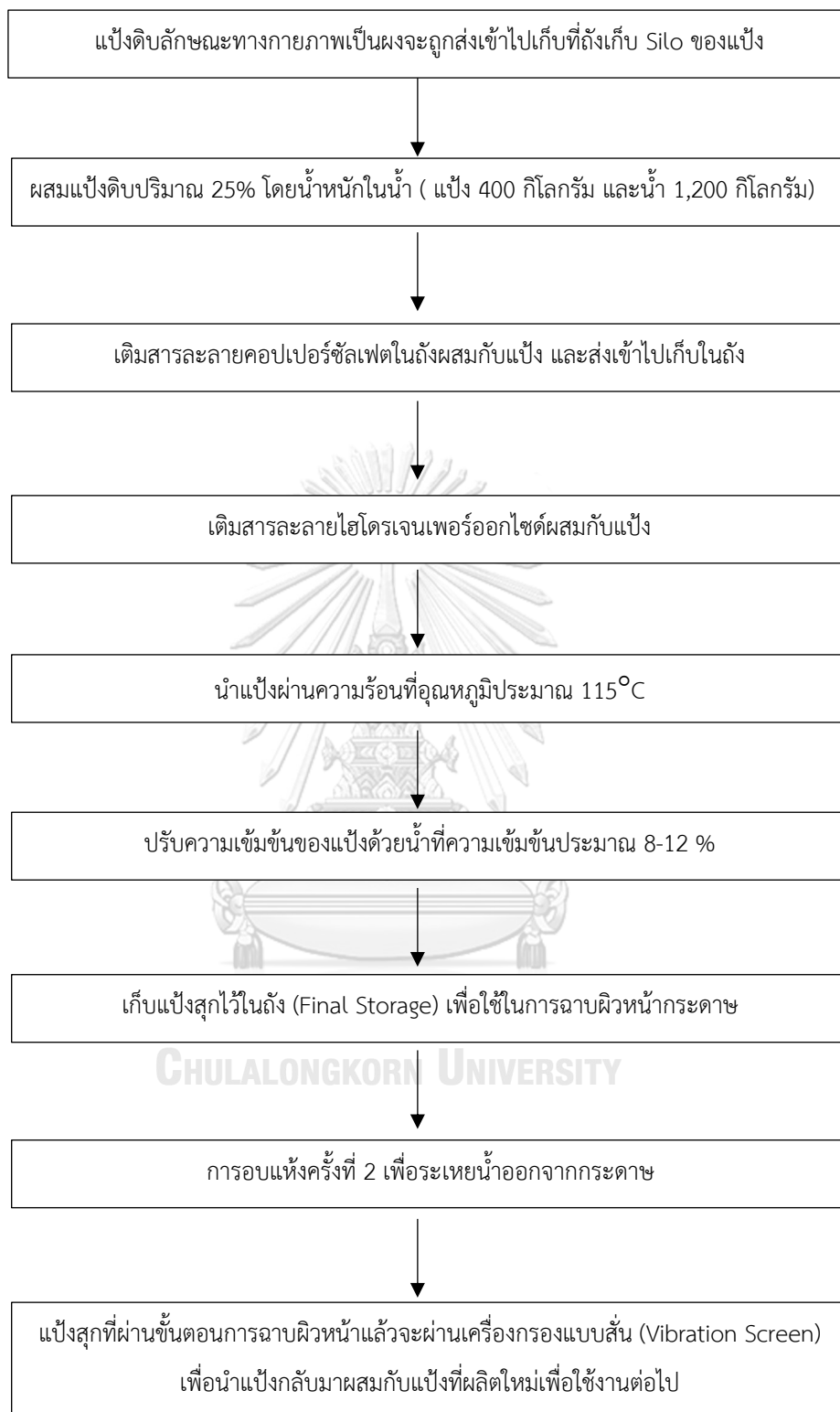
กระบวนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง มีขั้นตอนการผลิตแสดงดังรูปที่ 1.4 โดยอธิบายได้ดังนี้

1. แป้งดิบลักษณะทางกายภาพเป็นผงจะถูกส่งเข้าไปเก็บที่ถังเก็บ Silo ของแป้ง
2. แป้งดิบปริมาณ 25% โดยน้ำหนักในน้ำ (แป้ง 400 กิโลกรัม และน้ำ 1,200 กิโลกรัม)
3. เติมน้ำละลายคอปเปอร์ซัลเฟตในถังผสมกับแป้ง และส่งเข้าไปเก็บในถัง
4. เติมน้ำละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ผสมกับแป้ง
5. หลังจากนั้นนำแป้งผ่านความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 115°C เพื่อให้แป้งสุก (gelatinization)
6. หลังจากนั้นทำการปรับความเข้มข้นของแป้งด้วยน้ำที่ความเข้มข้นประมาณ 8-12 %
7. แล้วถูกเก็บไว้ในถัง (Final Storage) เพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้ากระดาษบนเครื่องจักร (Pond Size Press)

8. โดยหลังจากแป้งสุกที่ผ่านขั้นตอนการฉาบผิวหน้าแล้วแป้งที่เหลือจะถูกนำกลับมาผสมกับแป้งสุกที่ผลิตใหม่โดยผ่านการกรองสิ่งสกปรกด้วยเครื่องกรองแบบสั่น (Vibration Screen)



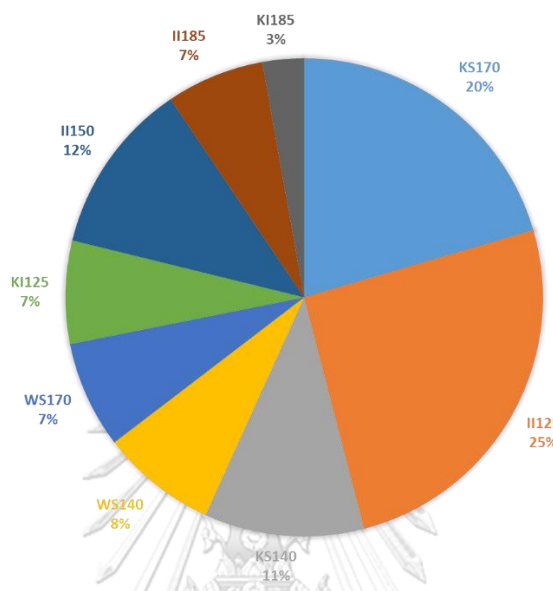
รูปที่ 4 กระบวนการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาษ



รูปที่ 5 รายละเอียดกระบวนการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาษ

1.1.3.3 สัดส่วนปริมาณกระดาษในการผลิต

ในการผลิตกระดาษสัดส่วนของเกรดกระดาษที่ทำการผลิตมากที่สุดต่อปี คือเกรด II125 โดยคิดเป็นร้อยละ 25 จากผลผลิตกระดาษทั้งหมด



รูปที่ 6 กราฟวงกลม (Pie Chart) ของสัดส่วนของเกรดกระดาษต่อปี

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันธุรกิจเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์กระดาษมีการเจริญเติบโตอย่างมาก หากมองภาพรวมธุรกิจบรรจุภัณฑ์ทุกประเภทในภูมิภาคอาเซียน จะเห็นว่ามีความเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะธุรกิจอีคอมเมิร์ซในอาเซียนกำลังเติบโตอย่างมากเฉลี่ย 26% ต่อปี และกลายเป็นเมกะเทรนด์ที่ส่งผลต่อเศรษฐกิจ รวมถึงธุรกิจเดลิเวอรี่ จากปัจจัยหนุนการเพิ่มขึ้นของประชากรวัยหนุ่มสาวที่มีรายได้ระดับปานกลางในไทย เวียดนาม อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์

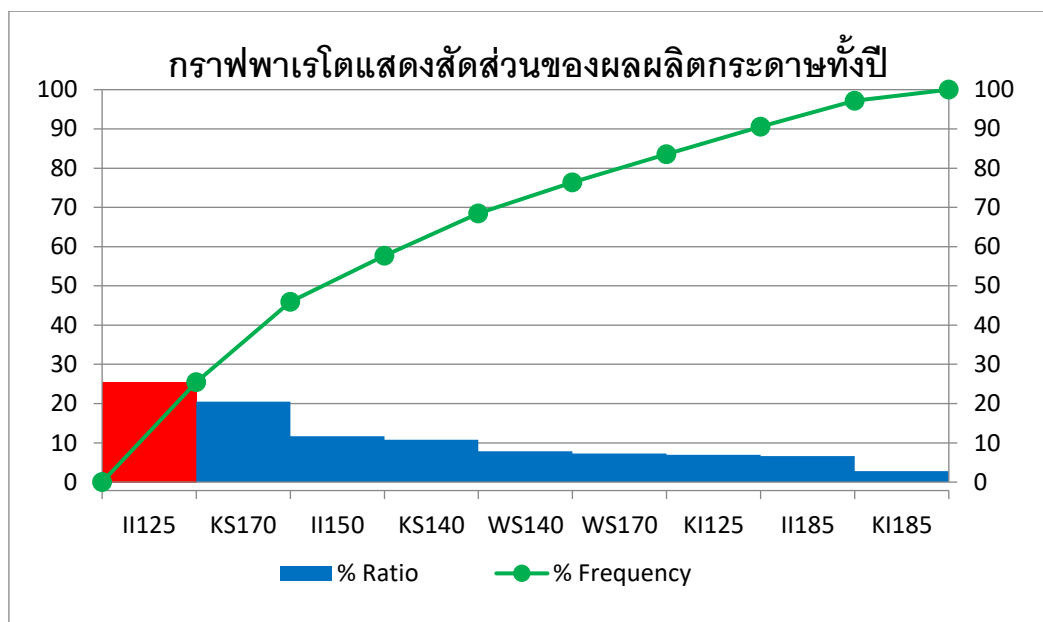
ปัจจุบัน “กระดาษบรรจุภัณฑ์” (Packaging Paper) และ “ถุงกระดาษรีไซเคิล” สำหรับสินค้าอุปโภคบริโภค และถุงอุตสาหกรรม กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก จากพฤติกรรมบริโภคที่มีความต้องการที่หลากหลายและเติบโตเร็ว เช่น ธุรกิจกลุ่มสินค้าอุปโภคบริโภคที่หมุนเวียนอย่างรวดเร็ว (Fast-Moving Consumer Goods หรือ “FMCG”) ธุรกิจค้าปลีกและธุรกิจอีคอมเมิร์ซ

ในกระบวนการผลิตกระดาษต้องใช้แรงงาน และพลังงานจำนวนมากในการผลิต ทั้งไฟฟ้า พลังความร้อนจากไอน้ำ และน้ำจากแม่น้ำในกระบวนการผลิต และอีกทั้งยังต้องผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์ให้มีคุณภาพตามความต้องการของลูกค้า เพื่อไม่ให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต โดยในกระบวนการผลิตต้องทำการควบคุมตั้งแต่ขั้นตอนของการเตรียมเยื่อและการผลิตกระดาษ เพื่อให้ได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้า

ปัจจุบันในโรงงานกรณีศึกษา ในขั้นตอนกระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาษต้องมีการควบคุมค่าความเข้มข้นของน้ำแป้ง และค่าความหนืดของน้ำแป้งเพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้ากระดาษ ซึ่งถ้า น้ำแป้งไม่ได้คุณภาพก็จะส่งผลกระทบต่อค่าความหนืดไม่ได้ตามที่ต้องการ (out of spec) และเกิดความแปรปรวนของค่าความหนืด (High Variation) ทำให้เมื่อฉาบผิวหน้าของกระดาษส่งผลให้ความแข็งแรงของกระดาษไม่คงที่ ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต ผู้ศึกษาจึงได้ดำเนินงานวิจัยนี้เพื่อลดความแปรปรวนของการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแป้งโดยใช้แนวทางการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลา (Fishbone diagram) โดยควบคุมตัวแปรขาเข้า (Input Factor)

1.3 สภาพปัญหาที่พบในปัจจุบัน

จากสภาพปัจจุบันพบว่าในขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้งพบว่าค่าความหนืด ในแต่ละเกรดกระดาษมีค่าความแตกต่างของความหนืดสูง ซึ่งพบว่าเกรดในกระดาษที่มีกำลังการผลิตมากที่สุดในเกรด II125 ตามข้อมูลจากกราฟพาวเรโตนีและมีความหนืดของน้ำแป้งแตกต่างกันตามแต่ละเกรดกระดาษและช่วงเวลาจากตารางข้อมูล และกราฟฮิสโตแกรม จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563

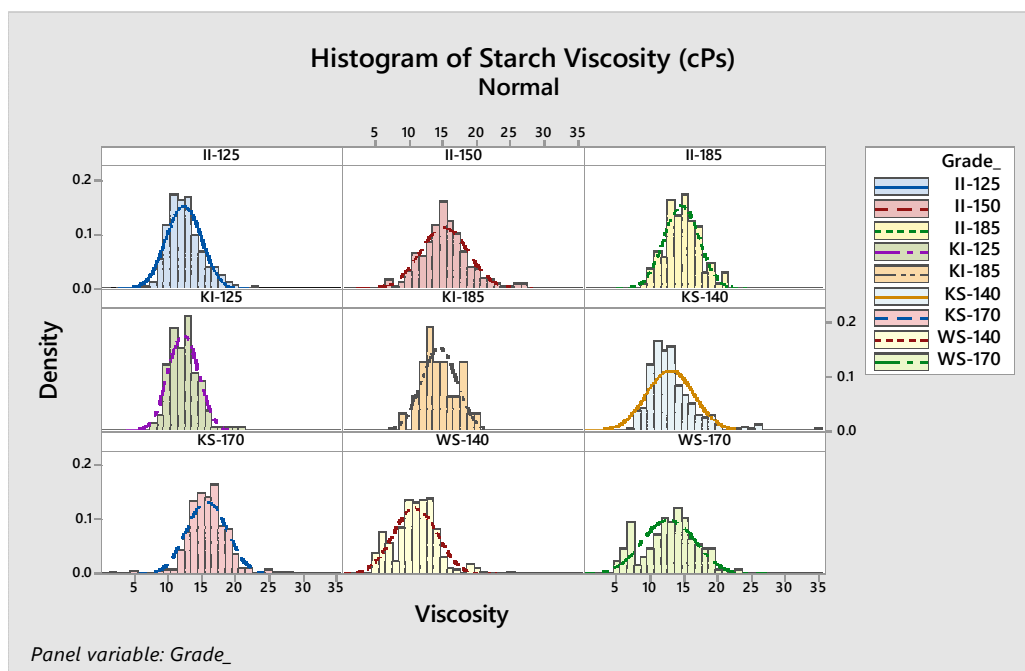


รูปที่ 7 กราฟพาราเรโตแสดงสัดส่วนของผลผลิตกระดาษทั้งปี

Grade	Minimum Viscosity (cPs)	Maximum Viscosity (cPs)	Mean of Viscosity (cPs)	SD of Viscosity (cPs)
II125	4.8	22.9	12.57	2.53
II150	6.5	26.8	15.26	3.50
II185	9	21.2	14.67	2.59
KI125	8.1	21.3	12.47	2.22
KI185	9.4	19.7	14.51	2.58
KS140	6.8	34.6	12.97	3.51
KS170	4.9	27.8	15.98	2.87
WS140	4.7	25.3	10.95	3.25
WS170	4.5	22.8	12.71	3.95

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางสถิติของความหนืดน้ำแป้งมันสำปะหลังในแต่ละเกรดจากการเก็บข้อมูลตั้งแต่

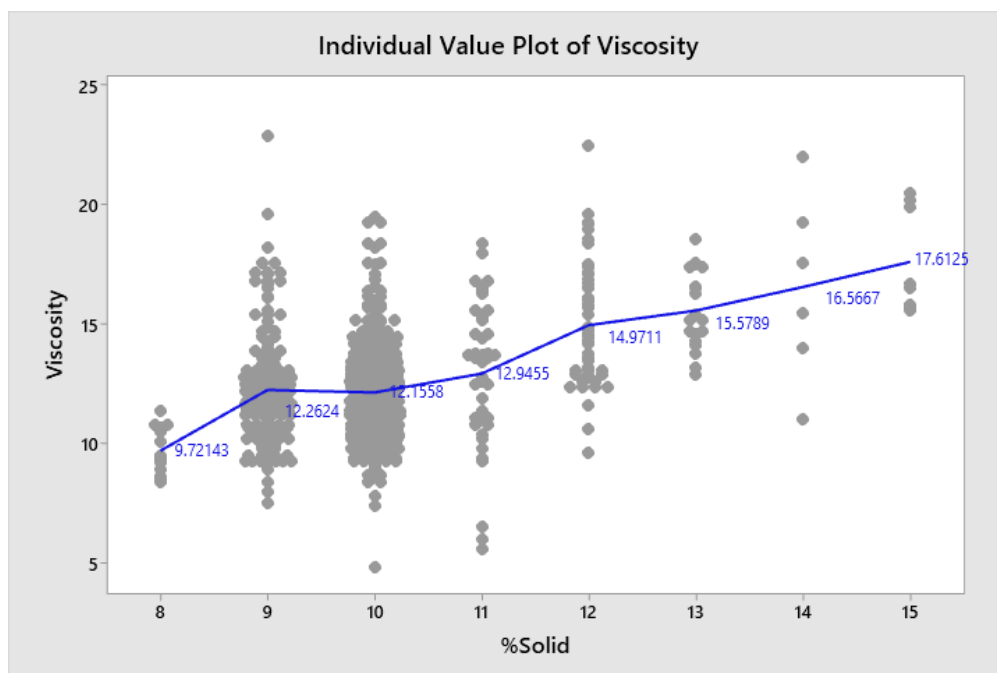
เดือนมกราคม 2563 - กรกฎาคม 2563



รูปที่ 8 กราฟฮิสโตแกรมของความหนืดน้ำแป้งมันสำปะหลังในแต่ละเกรดจากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563

นอกจากนั้นเมื่อคุณภาพของน้ำแป้งไม่สามารถควบคุมได้สม่ำเสมอ ส่งผลให้ความแข็งแรงของกระดาศ (ค่าแรงดันทะลุ : Burst Strength) ต่ำกว่าค่าควบคุมของคุณภาพกระดาศ ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าการศึกษาการลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังนั้น มีผลต่อคุณภาพความแข็งแรงของกระดาศ โดยถ้าค่าความหนืดของน้ำแป้งมีค่าสูงจะส่งผลให้แป้งสามารถอบบนผิวหน้ากระดาศได้ดีทำให้ความแข็งแรงของกระดาศสูงขึ้นส่งผลไม่ให้เกิดของเสีย (reject) ในกระบวนการผลิต และจากการเก็บข้อมูลพบว่า ความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลังต้มสุก (%Solid) มีผลต่อความหนืดของแป้ง โดยค่าความความเข้มข้นของแป้งที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อความหนืดที่สูงขึ้นแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเข้มข้นของน้ำแป้งดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในเกรด II125 จากการเก็บข้อมูล ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง

1.5 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย

โดยในงานวิจัยครั้งนี้จะดำเนินการศึกษาในเกรดกระดาษ II125 เนื่องจากมีสัดส่วนการผลิตต่อปี สูงที่สุด โดยจะมีประโยชน์ทั้งในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงสามารถลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้ง

ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการผลิต วิธีการและขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังต้มสุกในการผลิตกระดาษเกรด II125
2. ทำการศึกษาปัญหาและศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำแป้งมันสำปะหลังต้มสุก (%Solid) ในเกรดกระดาษ II125
3. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ในการปรับปรุงคุณภาพ และลดความแปรปรวนของค่าความหนืด (Viscosity) ในเกรดกระดาษ II125

4. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคทางสถิติและโปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์
5. ไม่พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรซึ่งเป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของเครื่องจักร

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายในการลดความแปรปรวนของค่าความหนืด (Viscosity) ในเกรดกระดาษ II125 โดยอ้างอิงแนวทางการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลา (Fishbone Diagram) มีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. การกำหนดหัวข้อปรับปรุง
2. การสำรวจสภาพปัจจุบันและตั้งเป้าหมาย
 - 2.1 เก็บรวบรวมข้อมูล สำรวจสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการต้มแป้งในชุดฉาบเคลือบผิวกระดาษ (Pond Size Press) เพื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต และฮิสโตแกรม
 - 2.2 กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ และเป้าหมาย
 - 2.3 ศึกษากระบวนการผลิตเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำแป้ง (Viscosity)
 - 2.4 สำรวจสภาพปัญหาโดยศึกษากระบวนการผลิต ขั้นตอนการทำงาน วิธีการควบคุมคุณภาพของค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังสุก
 - 2.5 เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของปัญหา เช่น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต้มแป้ง , ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการต้มแป้ง ต่าง ๆ
 - 2.6 วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gage Repeatability and Reproducibility)
3. การวางแผนดำเนินงาน
4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา/ การพิสูจน์สาเหตุและกำหนดมาตรการแก้ไข
 - 4.1 วิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลา (Fishbone Diagram)
 - 4.2 การค้นหาปัจจัยจากการวิเคราะห์ด้วยทางสถิติ (Graphical & Statistical analysis)
 - 4.3 วิเคราะห์การทดลองเพื่อเลือกปัจจัยที่มีนัยสำคัญ (ANOVA and Regression)
5. การปฏิบัติตามมาตรการและติดตามการแก้ไข
 - 5.1 การทดสอบปัจจัยจากการวิเคราะห์ด้วยการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

- 5.2 กำหนดตัวแปรของกระบวนการและพิจารณาถึงข้อจำกัดที่มีผลต่อการทดลอง
- 5.3 กำหนดขั้นตอนการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล
- 5.4 ทำการทดลองตามแผนงานที่กำหนดไว้
- 5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
6. การติดตามผลการปรับปรุงเทียบกับเป้าหมาย
 - 6.1 พิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรที่เลือกใช้
 - 6.2 กำหนดวิธีการวัด พิจารณากลุ่มตัวอย่างและความถี่ในการวัด
 - 6.3 เก็บรวบรวมข้อมูลหลังการปรับปรุง
 - 6.4 สรุปผลการปรับปรุงที่ได้โดยพิจารณาผลของค่าความแปรปรวนที่ลดลง (Standard Variation)
7. การจัดทำมาตรฐาน
8. ติดตามผลหลังทำมาตรฐาน
9. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนืดของน้ำแฉ่งมันสำปะหลังต้มสุกในเกรดกระดาศ II125
2. สามารถลดค่าความแปรปรวนของความหนืดของน้ำแฉ่งมันสำปะหลังต้มสุกในเกรดกระดาศ II125 ให้อยู่ในค่าควบคุม

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีกระบวนการผลิตกระดาษ

สำหรับขั้นตอนการผลิตกระดาษ มี 3 ขั้นตอนหลัก คือ

- 2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ (stock preparation)
- 2.1.2 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ (papermaking)
- 2.1.3 ขั้นตอนการแปรรูป (converting)

2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ (stock preparation)

ในขั้นตอนนี้จะนำวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการผลิต เช่น เยื่อกระดาษบริสุทธิ์ (Virgin pulp) , เยื่อกระดาษรีไซเคิล (Recycle pulp) โดยจะต้องนำน้ำเยื่อดังกล่าวมาผ่านขั้นตอนดังนี้

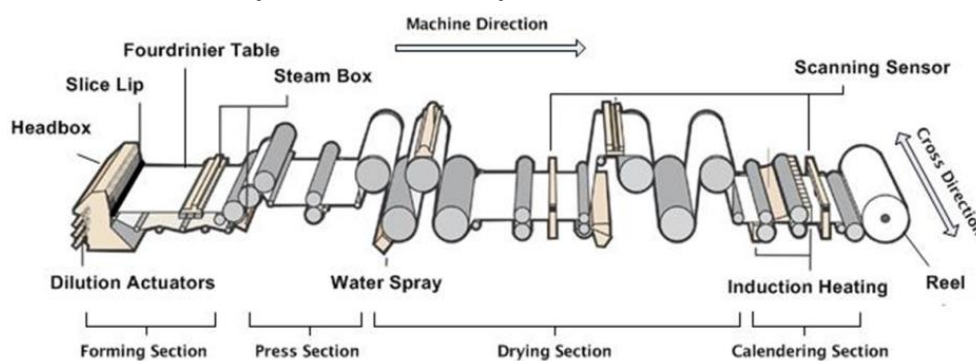
1. ขั้นตอนการตีเยื่อ ในการขั้นตอนนี้จะนำเยื่อที่เป็นลักษณะเป็นก้อน(bale) มาทำการตีเยื่อให้แตกกระจายที่หน่วยตีเยื่อ (hydrapulper)
2. ขั้นตอนการบดเยื่อ (Refining) จะเป็นขั้นตอนในการเพิ่มแขนขาให้กับตัวเส้นใยที่เรียกว่า fibrils โดยในขั้นตอนนี้จะถูกควบคุมด้วยค่าการบดเยื่อ (freeness)
3. ขั้นตอนการแยกสิ่งสกปรกออกจากเยื่อ (screening and cleaning) โดยใช้อุปกรณ์ในการแยก เช่น coarse screen , fine screen , centrifugal cleaner เพื่อแยกวัสดุหรือสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่ออกจากเส้นใย
4. ขั้นตอนการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใย (de-inking) จะทำการแยกหมึกออกโดยใส่สารเคมีและความร้อนเพื่อให้หมึกลอยออกจากเส้นใยในกรณีที่มีการใช้เยื่อที่ผ่านงานพิมพ์ต่าง ๆ มาแล้ว
5. การควบคุมความชื้นของน้ำเยื่อ (consistency regulator) ทำการผสมน้ำกับเส้นใย เพื่อให้ได้ความเข้มข้นในขั้นตอนการผลิตกระดาษต่อไป (papermaking)

2.1.2 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ (papermaking)

1. ขั้นตอนการจ่ายน้ำเยื่อ หลังจากขั้นตอนการเตรียมเยื่อแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการจ่ายเยื่อที่มีอุปกรณ์ที่เรียกว่า ถังจ่ายเยื่อ (headbox) จะทำหน้าที่จ่ายเยื่อเข้าไปสู่ตะแกรงลวดเดินแผ่นหรือที่เรียกว่า “Wire” โดยในขั้นตอนนี้จะต้องทำการควบคุมให้น้ำเยื่อมีความเข้มข้นอยู่ที่ประมาณ 0.5 – 1.0 %
2. ขั้นตอนการกระจายตัวของน้ำเยื่อ (forming section) ในขั้นตอนนี้จะมีตะแกรงลวดเดินแผ่นทำหน้าที่กระจายเยื่อให้อยู่บนลวดเดินแผ่น โดยลวดเดินแผ่นจะมีรูตะแกรงเพื่อให้สามารถระบายน้ำออกจากตัวเยื่อได้ โดยในขั้นตอนนี้จะมีระบบดึงน้ำออกจากเยื่อที่เรียกว่า (vacuum foil box) โดยในขั้นตอนนี้จะต้องทำการควบคุมให้มีความเข้มข้นของน้ำเยื่ออยู่ที่ประมาณ 17 – 20 %
3. ขั้นตอนการกดรีดน้ำออกจากกระดาษ (press section) ทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเยื่อจากขั้นตอนการกระจายตัวของน้ำเยื่อ เพื่อทำให้เกิดการยึดติดแน่นภายในเนื้อกระดาษ โดยในขั้นตอนนี้จะต้องทำการควบคุมให้มีความเข้มข้นของน้ำเยื่ออยู่ที่ประมาณ 35 – 50 %
4. ขั้นตอนการอบแห้งระเหยน้ำออกจากกระดาษ (dryer section) ในขั้นตอนนี้จะใช้ไอน้ำร้อน (steam) ใส่เข้าไปในลูกอบกระดาษเพื่อกระจายความร้อนบริเวณผิวลูกอบ เมื่อกระดาษสัมผัสความร้อนที่ผิวลูกอบจะระเหยความชื้นออกจากกระดาษ (evaporation)
5. ขั้นตอนการฉาบผิวหน้ากระดาษ (sizing) ในขั้นตอนนี้โดยส่วนใหญ่จะทำการฉาบผิวโดยใช้สารเคมี เช่น แป้ง (starch) , สารต้านการซึมน้ำ (water resistance) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพันธะที่ผิวกระดาษ ทำให้ผิวกระดาษแข็งแรง
6. ขั้นตอนการอบแห้งระเหยน้ำออกจากกระดาษ (dryer section) ในขั้นตอนนี้จะใช้ไอน้ำร้อน (steam) ใส่เข้าไปในลูกอบกระดาษเพื่อกระจายความร้อนบริเวณผิวลูกอบ เมื่อกระดาษสัมผัสความร้อนที่ผิวลูกอบจะระเหยความชื้นออกจากกระดาษ (evaporation) หลังจากที่ผ่านมาขั้นตอนการฉาบผิว (sizing)
7. ขั้นตอนการขัดผิวหน้ากระดาษ (calender section) ในขั้นตอนนี้จะมีลูกเหล็กสำหรับกดและขัดผิวหน้ากระดาษ โดยทำหน้าที่ปรับแผ่นกระดาษให้เรียบและมีเนื้อแน่นขึ้น หลังจากนั้นจะถูกกรอเข้าม้วนใหญ่ (jumbo reel) เพื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปต่อไป

2.1.3 ขั้นตอนการแปรรูป (converting)

หลังจากนั้นม้วนกระดาษขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “jumbo reel” จะถูกเข้าสู่กระบวนการกรอแบ่งเพื่อแบ่งม้วนใหญ่ (jumbo reel) ไปสู่ม้วนขนาดเล็ก (jumbo roll) ตามขนาด และความยาวตามความต้องการของลูกค้า และลำเลียงเข้าสู่คลังสินค้าเพื่อทำการเก็บสินค้าไว้ในคลัง



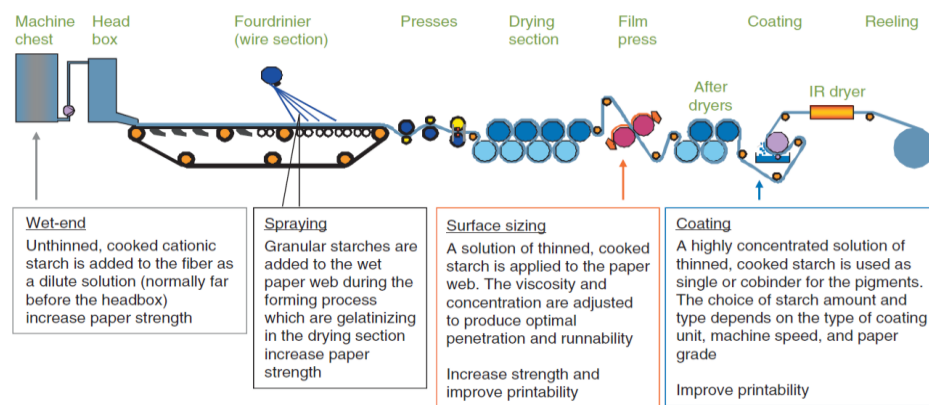
รูปที่ 10 ขั้นตอนการผลิตกระดาษแต่ละส่วนของการผลิต

2.2 การใช้แป้งในกระบวนการผลิตกระดาษ

ในกระบวนการผลิตกระดาษ จะใช้แป้งในการเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ เพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยทำให้เกิดโครงข่ายของเส้นใยมากขึ้น และยังช่วยในการเพิ่มความสวยงามในงานพิมพ์ด้วย โดยตำแหน่งของเครื่องจักรผลิตกระดาษที่ใช้แป้งมีตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

1. ตำแหน่งก่อนขั้นตอนการจ่ายน้ำเยื่อ จะมีถังสำหรับบรรจุน้ำเยื่อที่เรียกว่า “machine chest” โดยแป้งจะผสมกับน้ำเยื่อที่ตำแหน่งนี้ เพื่อเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยทำให้เกิดโครงข่ายของเส้นใยมากขึ้น หรือที่เรียกว่า “internal bonding”
2. ตำแหน่งขั้นตอนการกระจายตัวของน้ำเยื่อ (forming section) จะใช้เป็นรูปแบบการพ่นน้ำแป้ง (spray) ลงบนตะแกรงลวดเดินแผ่นตามหน้ากว้างของตะแกรงลวด เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวหน้ากระดาษ (increase strength)
3. ตำแหน่งขั้นตอนการเคลือบผิวหน้ากระดาษ (surface sizing) จะเคลือบผิวหน้าโดยใช้น้ำแป้ง โดยจะต้องควบคุมการซึมของน้ำแป้งบนผิวหน้า , ความเข้มข้นของน้ำแป้ง (%solid) , ความหนืดของน้ำแป้ง (viscosity,cPs) เพื่อให้น้ำแป้งสามารถเคลือบอยู่บนผิวหน้าได้ ในตำแหน่งนี้จะช่วยในการเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ และ เพิ่มความสวยงามในงานพิมพ์ด้วย (increase strength and improve printability)

4. ตำแหน่งขั้นตอนการเคลือบผิว (coating) ในขั้นตอนนี้คือการนำส่วนผสมที่ประกอบด้วยผงแร่ หรือที่เรียกว่า mineral pigment , สารยึดติด (adhesive) และสารตัวเติมอื่น ๆ มาเคลือบเป็นชั้นบาง ๆ บนผิวกระดาษ ในขั้นตอนนี้จะใช้น้ำแป้งเป็นสารยึดติดหรือเป็นกาว ช่วยทำให้ส่วนผสมต่าง ๆ เกาะยึดติดกับผิวหน้ากระดาษได้ดี

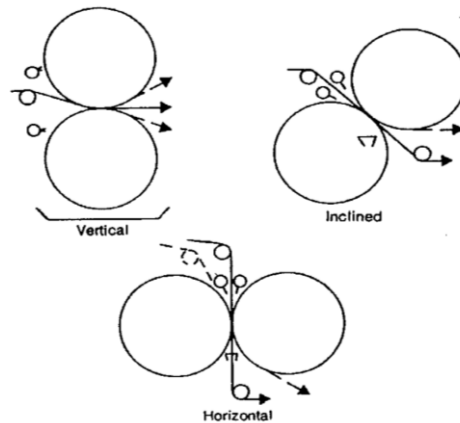


รูปที่ 11 ขั้นตอนการผลิตกระดาษที่มีการเคลือบและฉาบผิวหน้าบนกระดาษ

2.3 กระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาษ (surface sizing)

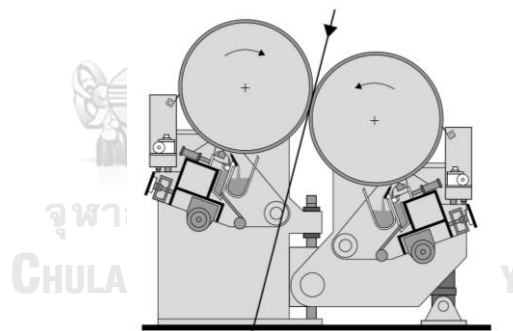
เครื่องจักรที่ใช้ในการฉาบผิวหน้าเรียกว่า “size press” จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สำหรับฉาบผิวหน้ากระดาษ โดยมีทั้งหมด 2 ประเภท ดังนี้

1. แบบแอ่งน้ำ (flooded size press) ลักษณะรูปแบบคือหลังจากที่กระดาษผ่านขั้นตอนการอบแห้ง (dryer section) มาแล้ว แผ่นกระดาษจะผ่านยังชุดฉาบผิวแบบแอ่งน้ำ โดยมีลูกเหล็ก 2 ลูก (nip roll) ทำการกดระหว่างกระดาษด้านบน (top sheet) และด้านล่าง (bottom sheet) โดยผ่านแอ่งน้ำแป้งออกไปยังขั้นตอนถัดไป โดยแบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้
 - แบบแนวนอน (horizontal type)
 - แบบแนวตั้ง (vertical type)
 - แบบเอียง (inclined type)



รูปที่ 12 ประเภทของชุดฉาบผิวแบบแอ่งน้ำ (flooded size press)

2. แบบเคลือบฟิล์ม (metered size press) ลักษณะเป็นแบบจ่ายน้ำแบ่งผ่านลูกเหล็กขนาดเล็กที่เรียกว่า “rod coater” โดยแนบกับลูกเหล็ก 2 ลูก (nip roll) เพื่อทำการเคลือบผิวลูกเหล็ก (nip roll) เมื่อกระดาษผ่านลูกเหล็ก 2 ลูก (nip roll) น้ำแบ่งจะซึมผ่านลงไปใกระดาษ



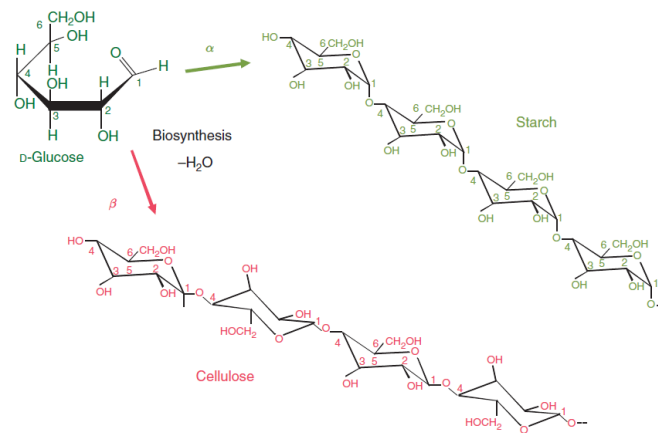
รูปที่ 13 ประเภทของชุดฉาบผิวแบบเคลือบฟิล์ม (metered size press)

ปริมาณของน้ำแป้งบน size press ขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

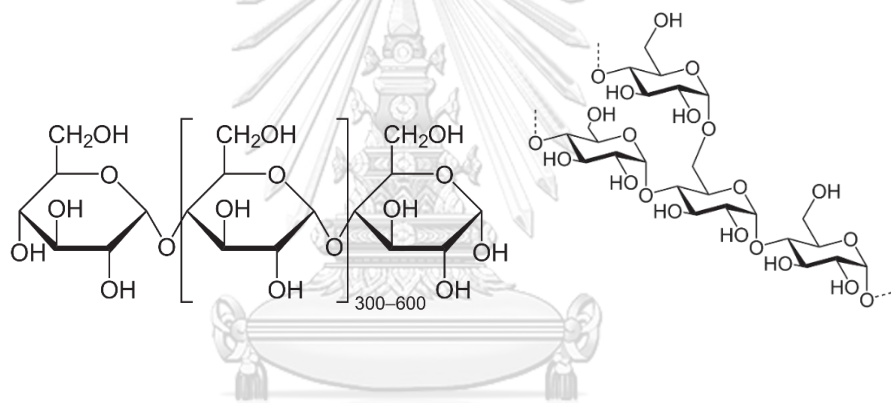
1. คุณสมบัติของแผ่นกระดาษ (sheet paper)
 - ปริมาณความชื้นในกระดาษ (moisture content in sheet)
 - ปริมาณของสารเคมีในแผ่นกระดาษ (internal sizing)
2. คุณสมบัติของน้ำแป้ง (starch quality)
 - ความเข้มข้นของน้ำแป้ง (%solid)
 - ความหนืดของน้ำแป้ง (viscosity)
3. คุณสมบัติของเครื่องจักร และการเดินกระบวนการผลิต
 - เส้นผ่านศูนย์กลางของลูก nip roll
 - ความสูงของ size press
 - แรงกดของ nip roll (nip pressure loading)
 - ความเร็วของเครื่องจักร (machine speed)

2.4 โครงสร้างและองค์ประกอบของแป้งที่ใช้ในขั้นตอนการฉาบผิวหน้ากระดาษ (surface sizing)

โครงสร้างของแป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ที่เรียกว่า D-glucose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ alpha-glycosidic linkage มีความคล้ายคลึงกับตัวเส้นใย ที่มีโครงสร้างเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ beta-glycosidic linkage โดยโครงสร้างของแป้งส่วนใหญ่จะประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบคือ อะไมโลส (amylose) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้น และมีการต่อกันเป็นกิ่งก้านสาขา คือ อะไมโลเพกทิน (amylopectin)



รูปที่ 14 โครงสร้างของแป้ง และโครงสร้างของเส้นใย



รูปที่ 15 โครงสร้างภายในของแป้งส่วนประกอบของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin)

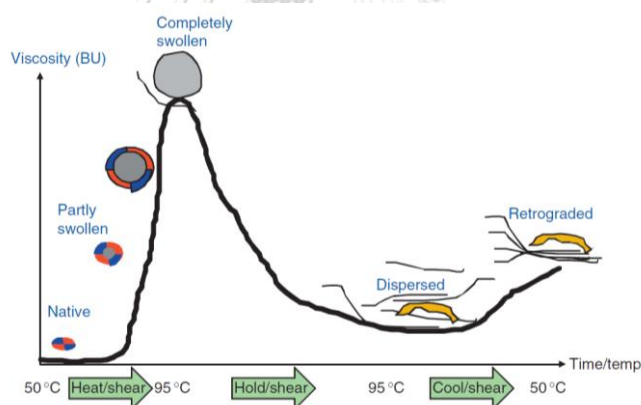
2.5 การเกิดปฏิกิริยาเคมีของแป้งสำหรับการฉาบผิวหน้าของกระดาษ

ในการฉาบผิวหน้ากระดาษต้องทำให้คุณสมบัติของแป้งพร้อมที่จะใช้โดยเกิดลักษณะเป็นก้อนแป้งที่มีขนาดใหญ่ และมีความหนืดสูงที่สุด หรือที่เรียกว่า “Starch gelatinization” โดยมีขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. ขั้นตอนการทำเม็ดแป้งให้มีขนาดบวมใหญ่ (granule swelling) โดยเริ่มต้นแป้งถูกผสมกับน้ำที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) น้ำจะเริ่มแทรกซึมผ่านโครงสร้างของแป้งที่เรียกว่า “amorphous region” โดยจะเริ่มเข้าไปในส่วนของอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ก่อน

2. ขั้นตอนการเพิ่มอุณหภูมิให้กับเม็ดแป้ง (crystallite or double helical melting) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับเม็ดแป้ง โครงสร้างของแป้งที่เรียกว่า “crystalline regions” จะเริ่มแตกกระจายตัว
3. ขั้นตอนการแตกตัวของโครงสร้างอะไมโลส (amylose leaching) โดยแป้งถูกเพิ่มอุณหภูมิ น้ำจะแทรกผ่านโครงสร้างของอะไมโลส ในจุดนี้ความหนืดของเม็ดแป้งจะสูงที่สุด (max viscosity) หรือที่เรียกว่า “Starch gelatinization” ซึ่งเป็นจุดที่คุณสมบัติของน้ำแป้งสามารถใช้ในการฉาบผิวหน้ากระดาษได้ดีที่สุด

หลังจากนั้น ถ้าโครงสร้างของแป้งได้รับอุณหภูมิมากเกินไป แป้งจะเกิดการกระจายตัวแบบคอลลอยด์ของเม็ดแป้ง ส่งผลให้ค่าความหนืดต่ำลง และเมื่อแป้งถูกทำให้เย็นลง แป้งจะเกิดการรวมตัวกันของพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) เกิดการรวมตัวของโครงสร้างของแป้งที่เรียกว่า “crystalline regions” อีกครั้ง ทำให้มีค่าความหนืดสูงขึ้น แต่ไม่สูงมากไปกว่าจุดที่เรียกว่า Starch gelatinization โดยเรียกการเกิดปฏิกิริยานี้ว่า “retrogradation”



รูปที่ 16 ลักษณะรูปร่างของแป้งเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ และเวลา

2.6 ชนิด และวิธีการในการเกิดปฏิกิริยาของแป้งสำหรับการใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาษ

ในกระบวนการผลิตกระดาษ แป้งที่ใช้สำหรับในการฉาบผิวหน้ากระดาษมี 2 วิธีการหลักในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

1. แบบใช้สารเคมีในการเกิดปฏิกิริยาของแป้ง (Thermochemical conversion) คือ ในกระบวนการต้มแป้งด้วยอุณหภูมิสูงนั้น เมื่อแป้งผสมกับน้ำจะเกิดเป็น วุ้นแป้งขนาดใหญ่ ทำให้ความหนืดสูงขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงที่สุด หลังจากนั้นน้ำแป้งจะแตกตัวทำให้ความหนืดต่ำลง และส่งผลให้เกิดการคืนตัวของน้ำแป้ง โดยต้องมีการใส่สารเคมีที่ช่วยในการยับยั้งการคืนตัว โดยหยุดปฏิกิริยาของโมเลกุลแป้งในน้ำ และความร้อน โดยใช้สารประกอบที่มีฤทธิ์ในการออกซิไดส์ หรือเติมออกซิเจนให้กับแป้ง (oxidants) เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต , โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต, ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และ โซเดียม ไฮโปคลอไรท์ โดยบางครั้งมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต , โลหะทรานซิชั่น เพื่อเป็นการเร่งให้เกิดการออกซิเดชัน (oxidation) ในโครงสร้างของแป้ง
2. แบบใช้เอนไซม์ในการเกิดปฏิกิริยาของแป้ง (enzymatic hydrolysis) คือ ในกระบวนการจะใช้เอนไซม์ชนิดอัลฟาอะไมเลส (alpha-amylases) เป็นตัวช่วยหยุดปฏิกิริยาของแป้งพันธะ α -D-(1,4)-glucosidic ในน้ำและความร้อน หลังจากนั้นเมื่อเอนไซม์ทำงานเพื่อให้ได้ความหนืดของแป้งที่ต้องการแล้ว จะต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120-140 °C เพื่อหยุดยั้งการปฏิบัติงานของเอนไซม์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

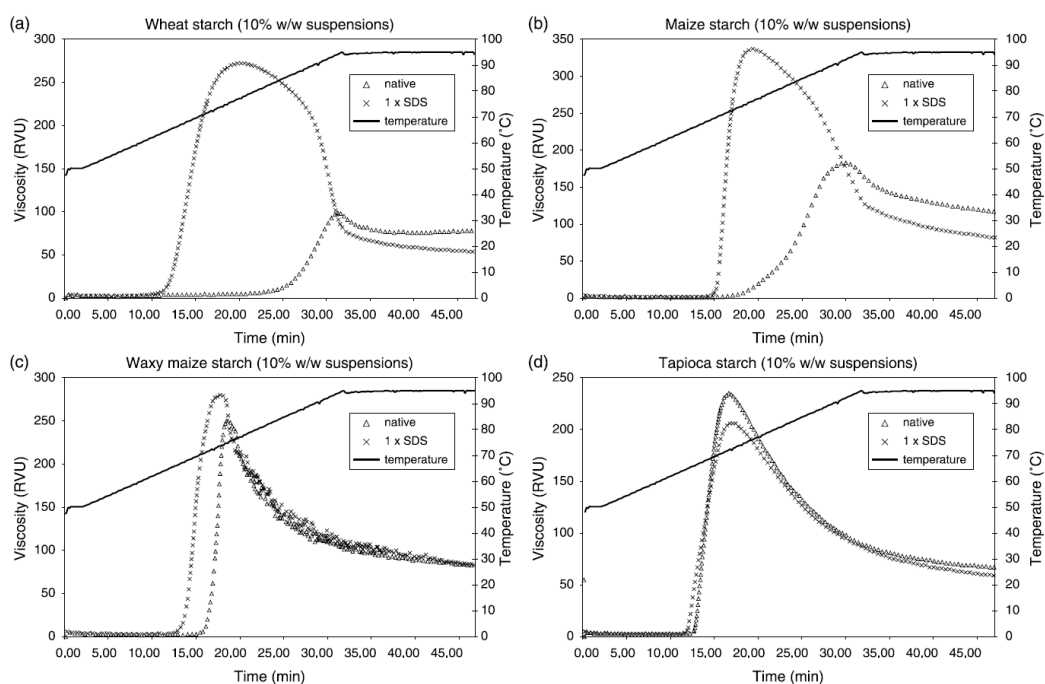
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Debet and Gidley 2006) งานวิจัยที่ 1 ปี ค.ศ. 2006 Martine R. Debet ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการต้มแป้งแต่ละประเภท เช่น แป้งข้าวสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง และ แป้งมันฝรั่ง ที่ปริมาณความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลถึงจุดที่เกิดลักษณะเป็นวุ้นแป้งที่มีขนาดใหญ่ (Starch gelatinization) คือ เวลา (Time) , อุณหภูมิ (Temperature °C) โดยแสดงผลเป็นค่าความหนืด (Viscosity) โดยในการทดลองจะทดลองเติม และไม่เติมสารเคมี (Sodium dodecyl sulphate :SDS) พบว่าเมื่อเติมสารเคมี Sodium dodecyl sulphate ชนิดของแป้งสาลี และแป้งข้าวโพด มีความหนืดสูงที่เวลา และอุณหภูมิเท่า ๆ กัน เมื่อเทียบกับการไม่เติมสารเคมี ส่วน

ชนิดของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง มีความหนืดไม่แตกต่างกันระหว่างทดลองเต็ม และไม่เต็มสารเคมี (Sodium dodecyl sulphate) แสดงดังรูปที่ 17

โดยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถนำตัวแปร (Factor) ที่เกี่ยวข้องกับความหนืดของแป้ง (Viscosity) มาใช้ในการวิจัย คือ เวลา (Time) และ อุณหภูมิ (Temperature °C) ในการวิจัยในครั้งนี้

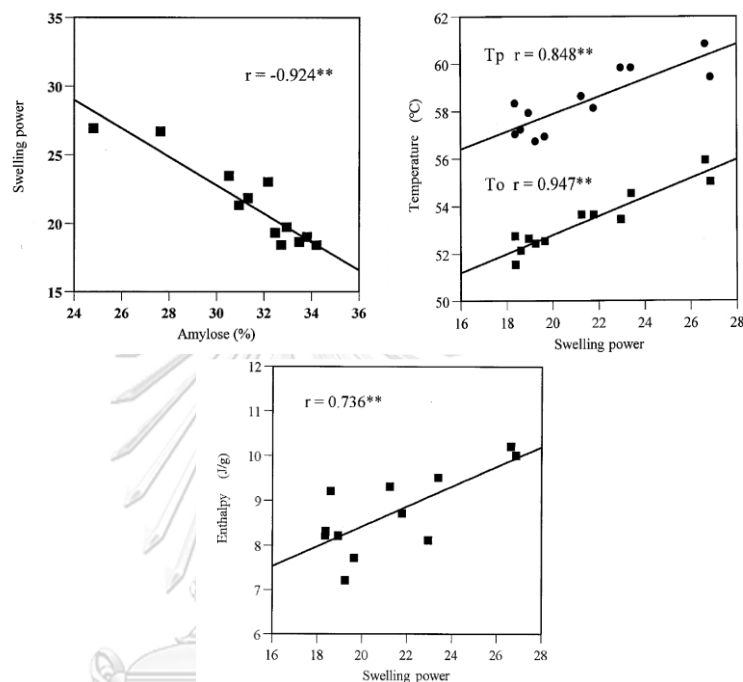


รูปที่ 17 รูปแสดงค่าความหนืดของแป้งชนิดต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

(Sasaki and Matsuki 1998) งานวิจัยที่ 2 ปี ค.ศ. 1998 Tomoko Sasaki ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน (swelling power) กับ ปริมาณอะไมโลส (% amylose content) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน (swelling power) กับ อุณหภูมิ (Temperature °C) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน (swelling power) กับเอนทาลปี (Enthalpy J/g) จากการทดสอบพบว่า ค่าพลังงาน (swelling power) สูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ (Temperature °C) และส่งผลให้ค่าเอนทาลปี (Enthalpy J/g) เพิ่มขึ้นด้วย แต่ปริมาณอะไมโลส (% amylose content) ลดลงเนื่องจากพันธะภายในเกิดการแตกตัว

โดยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถนำตัวแปร (Factor) ที่เกี่ยวข้องกับค่าความหนืดของแป้ง (Viscosity) มาใช้ในการวิจัย คือ อุณหภูมิ (Temperature °C) ที่ส่งผลต่อการทำเม็ดแป้งให้มีขนาดบวมใหญ่ (granule swelling) ในการวิจัยในครั้งนี้



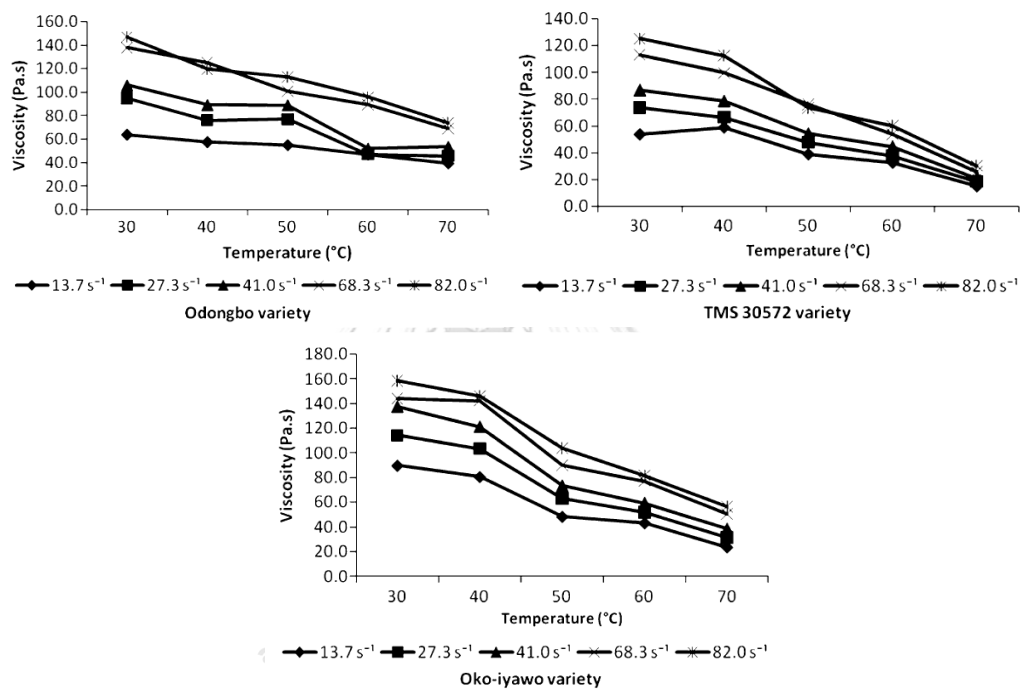
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการบวมใหญ่ของแป้ง และตัวแปรที่ส่งผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(Adebowale, Sanni et al. 2013) งานวิจัยที่ 3 ปี ค.ศ. 2011 Abdul-Rasaq A. Adebowale ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น (%Solid) และอุณหภูมิ (Temperature °C) และอัตราการเฉือน (shear rate) ที่มีต่อค่าความหนืด (Viscosity) ของแป้งมันสำปะหลัง โดยมีแหล่งของแป้งมันสำปะหลังที่ปลูกในมหาวิทยาลัย Teaching and Research Farm of the University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria คือ Odongbo , TMS30572 และ Oko-iyawo โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของแป้งมันสำปะหลังสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนืด (Viscosity) สูงขึ้นด้วย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึงจุดหนึ่ง (Temperature °C) จะพบว่าค่าความหนืดสูงขึ้น (Viscosity) และเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิถึงอีกจุดหนึ่งที่สูงกว่าจุดแรก (Temperature °C) จะ

พบว่าค่าความหนืดต่ำลง (Viscosity) อีกทั้งยังได้ทำการทดลองเพิ่มอัตราความเร็วเฉือน (shear rate) จะพบว่าค่าความหนืดต่ำลง (Viscosity)

โดยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถนำตัวแปร (Factor) ที่เกี่ยวข้องกับความหนืดของแป้ง (Viscosity) มาใช้ในการวิจัย คือ อุณหภูมิ (Temperature °C) และความเข้มข้นของแป้งมันสำปะหลัง (%Solid) ที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของแป้ง (Viscosity) ในการวิจัยในครั้งนี้



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ และอุณหภูมิ

Table 1 Viscosity of tapioca meal from three cassava varieties with different solid content

Shear rate (s ⁻¹)	Viscosity (Pa.s) at different solid content			
	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%
Odongbo variety				
13.7	0.70 ^j	2.9 ^{fg}	22.2 ⁿ	26.2 ^{cf}
27.3	0.40 ^{gh}	2.0 ^f	15.6 ^{ij}	12.3 ^{ab}
41.0	0.27 ^{cf}	1.8 ^e	11.6 ^{cf}	10.4 ^a
68.3	0.17 ^{bcd}	1.4 ^d	9.1 ^{abc}	9.1 ^a
82.0	0.12 ^{ab}	1.1 ^{bcd}	8.8 ^{ab}	8.9 ^a
TMS 30572 variety				
13.7	0.77 ^k	2.9 ^{fg}	36.2 ^m	75.7 ⁱ
27.3	0.45 ^h	2. ^f	24.4 ^l	48.2 ^h
41.0	0.21 ^{cde}	1.7 ^e	20.3 ^k	32.0 ^{gh}
68.3	0.10 ^{ab}	1.2 ^{cd}	12.5 ^{fg}	26.9 ^{cf}
82.0	0.10 ^{ab}	1.1 ^{abc}	12.0 ^{fg}	16.2 ^{cde}
Oko-iyawo variety				
13.7	0.57 ⁱ	6.3 ^j	20.5 ^k	92.6 ^j
27.3	0.40 ^{gh}	4.2 ^h	14.1 ^h	29.7 ^{fg}
41.0	0.21 ^{cde}	3.3 ^g	10.9 ^{de}	25.1 ^e
68.3	0.11 ^{abc}	2.8 ^{fg}	8.8 ^{ab}	18.0 ^{de}
82.0	0.09 ^a	2.6 ^f	8.1 ^a	14.4 ^{bc}

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ และความเข้มข้นของแป้ง (%Solid)

(Paes, Yakimets et al. 2008) งานวิจัยที่ 4 ปี ค.ศ. 2007 Sabrina S. Paes ได้ทำการศึกษากการเปลี่ยนแปลง gelatinization ของแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่องมือวัดที่ชื่อว่า “thermogram” โดยเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น เกิดการหลอมเหลว เกิดการเปลี่ยนเฟส เกิดการเปลี่ยนรูปผลึก หรือ เกิดปฏิกิริยาเคมี โดยมักจะมีความร้อนเข้าไปเกี่ยวข้อง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีทั้งการดูดความร้อน และคายความร้อน โดยเทคนิคในการใช้วัดคือ Differential Scanning Calorimetry (DCS) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของวัสดุ โดยทำการวัดปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุ เมื่อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยทำการบันทึกเทอร์โมแกรม (thermogram) โดยให้แกน x เป็นอุณหภูมิ และแกน y เป็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ (ΔT) จะได้เส้นตรงที่เรียกว่า baseline และเมื่อวัสดุตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ อุณหภูมิของตัวอย่างจะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับว่าวัสดุนั้นดูดหรือคายความร้อน โดยจากการทดลองพบว่า แป้งมันสำปะหลังเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง gelatinization ที่อุณหภูมิประมาณ 70.6 ± 0.5 °C และเริ่มหยุดการเกิด gelatinization ที่อุณหภูมิ 78.7 ± 0.4 °C

โดยในงานวิจัยฉบับนี้พบว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อได้รับอุณหภูมิมากกว่า 85°C จะเริ่มถึงจุดเม็ดแป้งมีขนาดบวมใหญ่ (granule swelling) และลักษณะของเม็ดแป้งเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ ซึ่งสามารถนำค่าดังกล่าวมาใช้เป็นฐานข้อมูลในการปรับ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ในการวิจัยในครั้งนี้

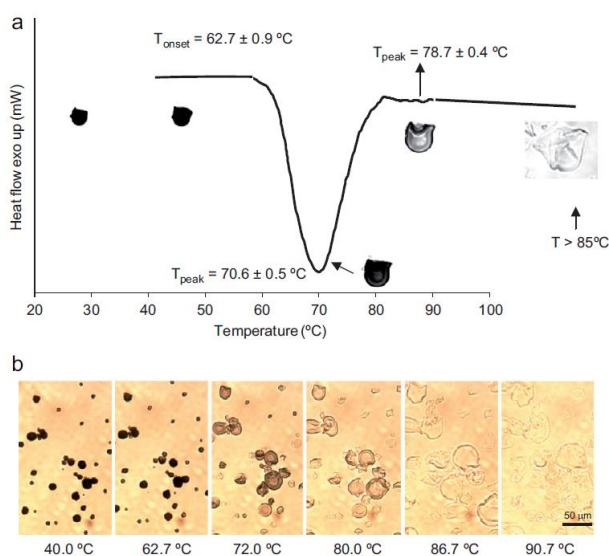


Fig. 2. Gelatinization of cassava starch. (a) Schematic model of gelatinization (adapted from Atkin, Abeysekera, & Robards, 1998). T_{onset} , T_{peak} and T_{end} determined by DSC ($10^{\circ}\text{C}/\text{min}$) and granule swelling according to temperature observed by HSM. (b) Gelatinization of cassava starch observed by HSM ($4^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Scale bar: $50\ \mu\text{m}$.

รูปที่ 20 รูปแสดงอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการทำเม็ดแป้งให้มีขนาดบวมใหญ่ (granule swelling)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

(Palabiyik, Toker et al. 2017) งานวิจัยที่ 5 ปี ค.ศ. 2017 Ibrahim Palabiyik ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Viscosity) ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิซึ่งพบว่า โดยใช้เครื่องมือวัดความหนืด (rapid visco analyzer) โดยทำการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด ณ อุณหภูมิแต่ละจุด โดยเริ่มต้นให้แป้งมีความเข้มข้น 14% โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50°C โดยเริ่มต้น 10 วินาทีแรกด้วยแรงเฉือน 960 rpm หลังจากนั้นลดลงเป็น 160 rpm โดยที่อุณหภูมิจะเริ่มทำการเปลี่ยนจากอุณหภูมิ 50°C เป็นอุณหภูมิ 95°C ภายใน 4 นาที และคงไว้ที่อุณหภูมิ 95°C เป็น 5 นาที และลดอุณหภูมิลงเป็นที่อุณหภูมิ 50°C ด้วยอัตราการลดลง 15°C ในเวลาทุก ๆ 1 นาที หลังจากการนั้นทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแป้ง ดังนี้ 1. ความหนืดที่สูงที่สุด (peak viscosity) 2. ความหนืดที่ต่ำที่สุด (trough viscosity) 3. ความแตกต่างของความ

หนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown viscosity) 4.ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) 5.ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback viscosity) 6. เวลาเริ่มต้นจนถึงเกิดความหนืดที่สูงที่สุด (peak time) และอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) จากการทดลองพบว่าแป้งมันสำปะหลังมีค่าความหนืดสูงที่สุด (peak viscosity) คือ $4,569 \pm 34$ cPs ส่วนแป้งข้าวสาลีค่าความหนืดต่ำที่สุด (peak viscosity) คือ $2,468 \pm 21$ cPs

โดยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถนำตัวแปร (Factor) ที่เกี่ยวข้องกับความหนืดของแป้ง (Viscosity) มาใช้ในการวิจัย คือ อุณหภูมิ (Temperature °C) ที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของแป้ง (Viscosity) ในการวิจัยในครั้งนี้

Table 3
Pasting properties of starches.

Starch	PV (cP)	TV (cP)	BV (cP)	FV (cP)	SV (cP)	PeT (min)	PaT (°C)
Waxy maize	3834 ± 16^C	1030 ± 13^D	2804 ± 2.8^B	1572 ± 17^C	543 ± 30^C	3.77 ± 0.04^D	72.9 ± 0.6^C
Wheat	2468 ± 21^E	1678 ± 25^A	790 ± 45^E	2236 ± 33^B	558 ± 58^C	6.90 ± 0.04^A	85.9 ± 0.0^A
Tapioca	4569 ± 34^A	1317 ± 9.9^C	3252 ± 24^A	2171 ± 55^B	854 ± 65^B	4.13 ± 0.00^C	70.6 ± 0.6^D
Corn starch	2664 ± 30^D	1498 ± 70^B	1165 ± 40^D	2227 ± 1.2^B	728 ± 72^B	5.42 ± 0.04^B	76.9 ± 0.0^B
Pea starch	4068 ± 17^B	1657 ± 49^A	2412 ± 32^C	3567 ± 9.2^A	1910 ± 58^A	4.23 ± 0.05^C	69.4 ± 0.0^E

PV: Pasting viscosity, TV: Trough viscosity, BV: Breakdown viscosity, FV: Final viscosity, SV: Setback viscosity, PeT: Peak time, PaT: Pasting temperature. Different uppercase superscript letters within same column show significant differences between samples ($p < 0.05$).

ตารางที่ 3 แสดงค่าความหนืดต่าง ๆ ของแป้งแต่ละชนิด

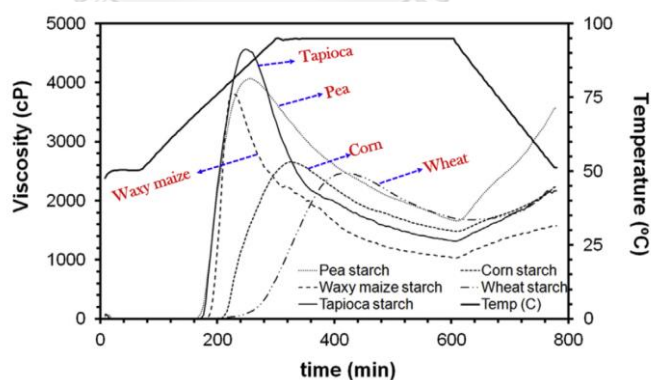


Fig. 2. Pasting curves of the starches.

รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของความหนืดของแป้งชนิดต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลา และ อุณหภูมิ

(Vanier, El Halal et al. 2017) งานวิจัยที่ 6 ปี ค.ศ. 2017 Nathan Levien Vanier ได้ทำการศึกษาการเกิดออกซิเดชันของแป้งโดยใช้สารเคมีในการออกซิไดซ์หลายชนิด ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite) , ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) , โอโซน (Ozone) ,เกลืออนินทรีย์ประกอบด้วยโซเดียมอ๊อโนบวมและไอออนลบ (Sodium Periodate) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์สำหรับหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่ฟังก์ชัน $-OH$ เพื่อให้แป้งเริ่มมีการแตกตัว และสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) (ปฏิกิริยาที่มีน้ำเข้าไปสลายพันธะ) ทำให้สามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างแป้งได้ ทำให้แป้งสุก และถึงจุดเม็ดแป้งมีขนาดบวมใหญ่ (granule swelling) โดยการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) จะทำให้เข้าไปตัดโครงสร้างของแป้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดต่ำลง (Viscosity) และเมื่อใช้ร่วมกับสารเคมีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) คือ คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น และเมื่อใช้สารเคมีตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไปจะส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของแป้ง และทำให้สีของแป้งเปลี่ยนแปลงไป โดยในงานวิจัยที่ได้แสดงการเกิดปฏิกิริยาของแป้งโดยเริ่มจากการขั้นตอนการผสมแป้งกับน้ำ ตามด้วยการผสมแป้งกับสารเคมีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) และการเกิดออกซิเดชันด้วยสารออกซิไดซ์

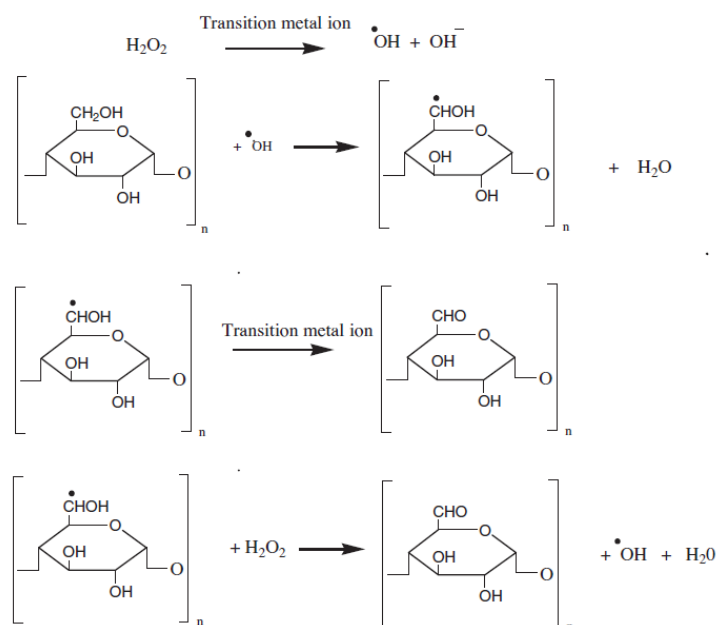


Fig. 2. Hydrogen peroxide oxidation of starch.

รูปที่ 22 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแป้งโดยใช้สารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)

โดยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถนำตัวแปร (Factor) ที่เกี่ยวข้องกับความหนืดของแป้ง (Viscosity) มาใช้ในการวิจัย คือ ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และ สารเคมีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) คือ คอปเปอร์ซัลเฟต(CuSO₄) ที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำแป้ง (Viscosity) ในการวิจัยในครั้งนี้

(Dias, da Rosa Zavareze et al. 2011) งานวิจัยที่ 7 ปี ค.ศ. 2011 Alvaro Renato Guerra Dias ได้ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) โดยได้ทำการทดลองเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) โดยน้ำหนักต่อปริมาณแป้งในสัดส่วนกรัมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อหนึ่งร้อยกรัมแป้งมันสำปะหลัง และอุณหภูมิของแป้ง (Temperature °C) พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ที่อุณหภูมิเท่ากัน พบว่าค่าความหนืดของแป้งต่ำลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับแป้งที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)เท่ากัน พบว่าค่าความหนืดของแป้งสูงขึ้น

Table 3
Pasting properties of oven-dried fermented cassava starch oxidised with hydrogen peroxide.

Treatment	C (g/100g) ^a	pH	T (°C)	Peak viscosity (RVU)	Holding viscosity (RVU)	Final viscosity (RVU)
1	0.70	3.00	25.0	288.4 ± 4.7	74.8 ± 2.6	77.3 ± 2.8
2	2.30	3.00	25.0	291.8 ± 5.2	82.0 ± 3.5	98.6 ± 3.5
3	0.70	7.00	25.0	265.3 ± 3.8	103.8 ± 3.5	133.1 ± 4.5
4	2.30	7.00	25.0	263.8 ± 2.3	100.0 ± 3.1	132.9 ± 3.1
5	0.70	3.00	40.0	297.2 ± 5.2	54.2 ± 2.3	71.3 ± 3.6
6	2.30	3.00	40.0	290.2 ± 4.0	54.2 ± 2.5	66.8 ± 3.0
7	0.70	7.00	40.0	285.8 ± 2.2	108.1 ± 2.5	132.6 ± 3.7
8	2.30	7.00	40.0	263.8 ± 6.3	100.3 ± 4.6	125.7 ± 3.4
9	1.50	5.00	32.5	258.3 ± 1.9	92.2 ± 2.8	111.1 ± 2.6
10	1.50	5.00	32.5	259.2 ± 4.3	89.0 ± 3.5	106.5 ± 3.2
11	1.50	5.00	32.5	262.6 ± 4.8	86.3 ± 3.5	98.4 ± 2.8
12	0.12	5.00	32.5	285.0 ± 3.9	94.9 ± 3.4	112.4 ± 3.6
13	2.89	5.00	32.5	260.1 ± 3.1	88.5 ± 3.4	109.7 ± 2.3
14	1.50	1.64	32.5	287.6 ± 5.4	82.3 ± 4.7	100.6 ± 4.6
15	1.50	8.36	32.5	256.9 ± 0.9	105.8 ± 0.1	138.3 ± 1.3
16	1.50	5.00	20.0	264.8 ± 5.3	100.8 ± 4.7	121.8 ± 4.3
17	1.50	5.00	45.0	278.8 ± 1.1	82.4 ± 1.5	99.4 ± 1.2
Oven-dried fermented cassava starch				279.0 ± 5.2	96.3 ± 2.3	140.7 ± 3.3
Sun-dried fermented cassava starch				263.3 ± 3.2	71.4 ± 1.7	99.2 ± 1.9

^a C: Concentration of hydrogen peroxide (g H₂O₂/100 g cassava starch, d.b.).

ตารางที่ 4 ค่าความหนืดที่สูงที่สุด (peak viscosity) ความหนืดของแป้ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น ค่าพีเอช และ อุณหภูมิ

โดยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถนำตัวแปร (Factor) ที่เกี่ยวข้องกับความหนืดของแป้ง (Viscosity) มาใช้ในการวิจัย คือ ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และ อุณหภูมิ (Temperature °C) ที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของแป้ง (Viscosity) ในการวิจัยในครั้งนี้

(Xiao, Shen et al. 2020) งานวิจัยที่ 8 ปี ค.ศ. 2020 Yuehuan Xiao ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งมันสำปะหลัง และอุณหภูมิสูงสุดที่ได้ค่าความหนืดสูงสุด (Temperature Peak) โดยได้ทำการทดลองโดยการผสมแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 9% (w/v) และผสมพืชในตระกูลจำพวกสะระแหน่ (*Mesona chinensis*) โดยใส่ผสมในแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 0.1 , 0.3 และ 0.5 % (w/v) โดยหลังจากนั้นได้นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 และ 95°C โดยขนาดของแป้งมันสำปะหลังที่แตกต่างกันพบว่า ที่อุณหภูมิ 75 °C แป้งมันสำปะหลังที่มีขนาดอนุภาค (ไมครอน) น้อยที่สุด (0.5%-TM-75) ให้ค่าความหนืดสูงสุดคือ 2794.50 cP แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงสุดเพื่อให้ได้ค่าความหนืดดังกล่าว และอุณหภูมิ 95 °C แป้งมันสำปะหลังที่มีขนาดอนุภาค (ไมครอน) น้อยที่สุด (0.5%-TM-95) ให้ค่าความหนืดสูงสุด คือ 2676.34cP แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงสุดเพื่อให้ได้ค่าความหนืดดังกล่าว

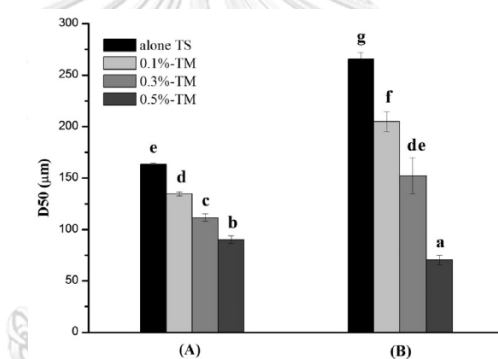


Fig. 3. The median size (D50) of gelatinized TM-75 (A) and TM-95 (B) mixtures.

รูปที่ 23 รูปแสดงขนาดอนุภาคของแป้งมันสำปะหลัง (ไมครอน) ในตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิความร้อนที่ให้กับแป้งที่ 75 °C และ 95 °C

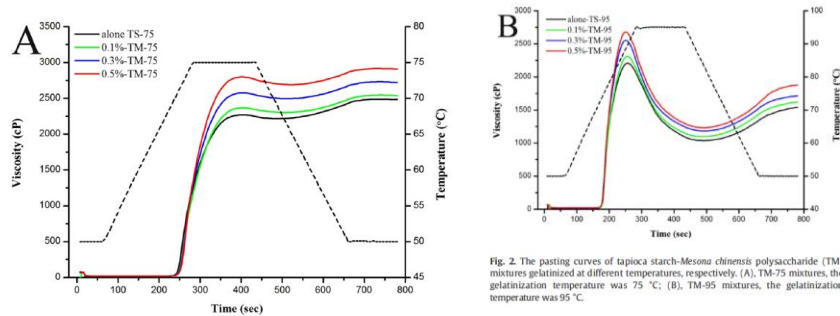


Fig. 2. The pasting curves of tapioca starch-Mesona chinensis polysaccharide (TM) mixtures gelatinized at different temperatures, respectively. (A), TM-75 mixtures, the gelatinization temperature was 75 °C; (B), TM-95 mixtures, the gelatinization temperature was 95 °C.

Table 1
Pasting properties of TM-75 and TM-95 mixtures measured by rapid visco analyzer.

Samples	PV (cP)	TV (cP)	FV (cP)	BD (cP)	SB (cP)
TS-75	2297.00 ± 38.18 ^{ab}	2239.00 ± 32.53 ^c	2493.00 ± 12.73 ^d	58.00 ± 5.67 ^a	254.00 ± 19.80 ^a
0.1%-TM-75	2410.00 ± 60.81 ^c	2336.00 ± 59.40 ^d	2585.50 ± 64.35 ^e	74.00 ± 1.41 ^a	249.50 ± 4.95 ^a
0.3%-TM-75	2536.00 ± 57.98 ^d	2453.50 ± 58.69 ^e	2688.50 ± 47.38 ^f	82.50 ± 0.71 ^{ab}	235.00 ± 11.31 ^a
0.5%-TM-75	2794.50 ± 4.95 ^f	2689.50 ± 0.71 ^f	2909.50 ± 0.71 ^g	105.00 ± 4.24 ^b	220.00 ± 0.00 ^a
TS-95	2206.00 ± 17.52 ^a	1037.00 ± 8.33 ^a	1539.67 ± 25.17 ^a	1169.34 ± 7.90 ^c	502.00 ± 23.58 ^b
0.1%-TM-95	2310.00 ± 22.54 ^b	1097.34 ± 15.28 ^a	1618.34 ± 24.01 ^a	1213.6 ± 10.07 ^d	521.00 ± 13.53 ^b
0.3%-TM-95	2551.67 ± 10.41 ^d	1177.00 ± 12.29 ^b	1713.34 ± 10.69 ^b	1374.67 ± 2.08 ^e	536.34 ± 0.43 ^b
0.5%-TM-95	2676.34 ± 4.62 ^e	1236.67 ± 5.51 ^b	1855.34 ± 30.07 ^c	1440.00 ± 9.17 ^f	618.67 ± 35.16 ^c

PV, (peak viscosity); TV, (trough viscosity); FV, (final viscosity); BD, (breakdown viscosity); and SB, (setback viscosity).

Results are reported as mean values ± standard deviation (SD) with three replications. Values followed by different letters in a column indicate significant difference at $p < 0.05$.

รูปที่ 24 รูปแสดงอุณหภูมิ เวลา และขนาดอนุภาคของแป้งมันสำปะหลังที่ส่งผลต่อความหนืดของแป้งที่ค่าต่าง ๆ (peak viscosity-PV (cP))

โดยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถนำตัวแปร (Factor) ที่เกี่ยวข้องกับความหนืดของแป้ง (Viscosity) มาใช้ในการวิจัย คือ ขนาดของอนุภาคแป้ง (ไมครอน) ที่ส่งผลต่อความหนืดของแป้ง (Viscosity) ในการวิจัยในครั้งนี้

(Janket, Vorasoot et al. 2018) งานวิจัยที่ 9 ปี ค.ศ. 2018 Anon Janket ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของแป้ง และฤดูกาลที่เริ่มมีการปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวแป้งมันสำปะหลังเป็นระยะเวลา 12 เดือน โดยมีชนิดแป้งที่ทำการศึกษาคือ CMR38-125-77, Kasetart 50 และ Rayong 11 และช่วงของการปลูกครั้งนี้ เดือนเมษายน (ฤดูร้อน) เดือนมิถุนายน (ก่อนเข้าฤดูฝน) เดือนตุลาคม (ฤดูฝน) และเดือนธันวาคม (ฤดูหนาว) โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณแป้งที่อยู่ในแป้งมันสำปะหลัง (% starch content) ชนิดต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน พบว่าในช่วงฤดูหนาวให้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณแป้งมากกว่าฤดูอื่น ๆ และช่วงก่อนเข้าฤดูฝนให้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณแป้งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งชนิดเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งแต่ละชนิดที่ฤดูกาลเดียวกันพบว่า แป้งชนิด CMR38-125-77 ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณแป้งมากกว่าชนิดแป้งอื่น ๆ และ แป้งชนิด Kasetart 50 ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณแป้งน้อยที่สุด และพบว่าในช่วงฤดูร้อนขนาดอนุภาคของแป้งจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับฤดูกาลอื่น ๆ

Table 3. The starch concentration (% of dry weight) and starch yield (kg ha⁻¹) of the three cassava genotypes under different planting dates with full irrigation.

Planting Date	Starch Content (% of Dry Weight)			Starch Yield (kg ha ⁻¹)		
	CMR 38-125-77	Kasetsart 50	Rayong 11	CMR 38-125-77	Kasetsart 50	Rayong 11
20 April	82.16 ab	75.12 b	82.01	12,029 b B	12,476 ab B	17,680 a A
30 June	79.53 b	76.48 b	80.32	12,940 b A	8362 b B	7781 b B
5 October	82.83 ab	80.97 ab	81.32	15,252 ab A	11,830 ab AB	11,144 b B
15 December	84.44 a	82.45 a	83.49	18,609 a A	16,068 a A	11,704 b B

Different lowercase letters with the same column indicate a significant difference between the planting dates of each cassava genotype and different capital letters within the same row indicate a significant difference between the cassava genotypes of each planting date.

รูปที่ 25 รูปแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณแป้งที่อยู่ในแป้งมันสำปะหลัง (% starch content) ในแต่ละฤดูกาล และชนิดของแป้งต่าง ๆ

Table 4. The Amylose, ratio of amylose and amylopectin, and granule size distribution of starch isolated from the storage roots of the three cassava genotypes under different planting dates with full irrigation.

Planting Date	Genotype	Amylose (%)	Ratio of Amylose and Amylopectin	Granule Size Distribution (µm)		
				d (0.1)	d (0.5)	d (0.9)
20 April	CMR 38-125-77	24.3a	0.32 a	7.51	15.84 a	29.51
	Kasetsart 50	21.6b	0.28 b	6.75	14.41 b	26.48
	Rayong 11	21.6b	0.28 b	7.41	15.52 ab	28.68
	Mean	22.5	0.29	7.22	15.26 B	28.22
30 June	CMR 38-125-77	22.6ab	0.30 ab	7.89	16.39	31.52
	Kasetsart 50	23.2a	0.30 a	7.43	15.67	31.91
	Rayong 11	20.5b	0.26 b	7.75	16.17	31.92
	Mean	22.1	0.29	7.69	16.08 A	31.78
5 October	CMR 38-125-77	21.3b	0.27 b	8.06	16.61	31.32
	Kasetsart 50	23.2a	0.30 a	7.30	15.67	30.57
	Rayong 11	20.2c	0.26 c	7.54	16.00	32.17
	Mean	21.5	0.28	7.63	16.09 A	31.35
15 December	CMR 38-125-77	21.0ab	0.28 ab	7.71	16.39	30.86
	Kasetsart 50	22.3a	0.29 a	7.50	16.20	31.33
	Rayong 11	20.4b	0.26 b	8.28	16.88	32.14
	Mean	21.2	0.27	7.83	16.49 A	31.44

d (0.1), d (0.5), and d (0.9) are the standard percentiles referred to as 10%, 50%, and 90% of the total starch that has a diameter (mm) less than the indicated values, respectively. Different capital letters and lowercase letters indicate a significant difference between the planting dates and cassava genotypes of each planting date, respectively.

รูปที่ 26 รูปแสดงค่าขนาดอนุภาคของแป้งมันสำปะหลัง (Granule Size Distribution) ในแต่ละฤดูกาล และชนิดของแป้งต่าง ๆ

โดยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถนำตัวแปร (Factor) ที่เกี่ยวข้องคือ ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณแป้งที่อยู่ในแป้งมันสำปะหลังถ้ามีค่าสูงจะส่งผลให้แป้งมีคุณภาพที่สูง และในช่วงฤดูร้อนมีขนาดอนุภาคของแป้งเล็กที่สุด ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของแป้ง (Viscosity)

บทที่ 3 การนิยามปัญหา

ในขั้นตอนของการนิยามปัญหา เริ่มต้นจากการจัดตั้งคณะทำงาน ศึกษากระบวนการผลิต ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการผลิต (process input) จนไปถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ต่อกระบวนการ (process output)

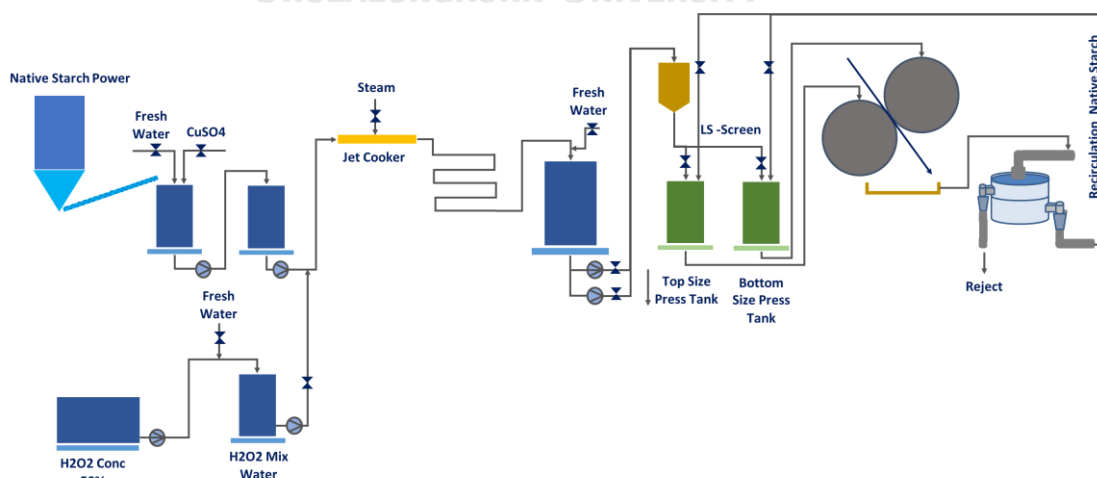
3.1 จัดตั้งคณะทำงาน

ในการวิจัยนี้ ได้จัดตั้งคณะทำงานเพื่อทำการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ปัญหา และร่วมกันหาสาเหตุของปัญหา ด้วยการตรวจสอบสภาพหน้า และสังเกตอาการของปัญหาที่เกิดขึ้นต่าง ๆ พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนความรู้ความชำนาญที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ซึ่งทีมงานประกอบไปด้วย

1. ผู้จัดการส่วนผลิต จำนวน 1 คน
2. หัวหน้าแผนกผลิต จำนวน 1 คน
3. หัวหน้ากะ จำนวน 1 คน
4. พนักงานปฏิบัติงาน จำนวน 4 คน
5. ผู้ดำเนินงานวิจัย

3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษ เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมแป้งดิบจนไปถึงการทำให้แป้งสุกพร้อมใช้งาน



รูปที่ 27 กระบวนการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้าของกระดาษ

3.2.1 แป้งดิบลักษณะทางกายภาพเป็นผงจะถูกส่งเข้าไปเก็บที่ถังเก็บ Silo ของแป้ง



3.2.2 แป้งดิบปริมาณ 25% โดยน้ำหนักในน้ำ (แป้ง 400 กิโลกรัม และน้ำ 1,200 กิโลกรัม)



- 3.2.3 เติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตในถังผสมกับน้ำแป้ง และส่งเข้าไปเก็บในถัง ด้วยความเข้มข้น 6.25 %w/v (w/v หมายถึง ปริมาณน้ำหนักของเนื้อสารเคมีในปริมาตรของสารละลาย)



- 3.2.4 เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ผสมกับน้ำแป้ง โดยเตรียมสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 50%v/v จำนวน 100 ลิตร ในน้ำ 1,500 ลิตร (%v/v หมายถึง ปริมาตรของเนื้อสารเคมีในปริมาตรของสารละลาย)



- 3.2.5 หลังจากนั้นนำแป้งผ่านความร้อนด้วยไอร้อน (steam) ที่อุณหภูมิ 115°C ด้วย Jet Cooker เพื่อให้แป้งสุก (gelatinization)

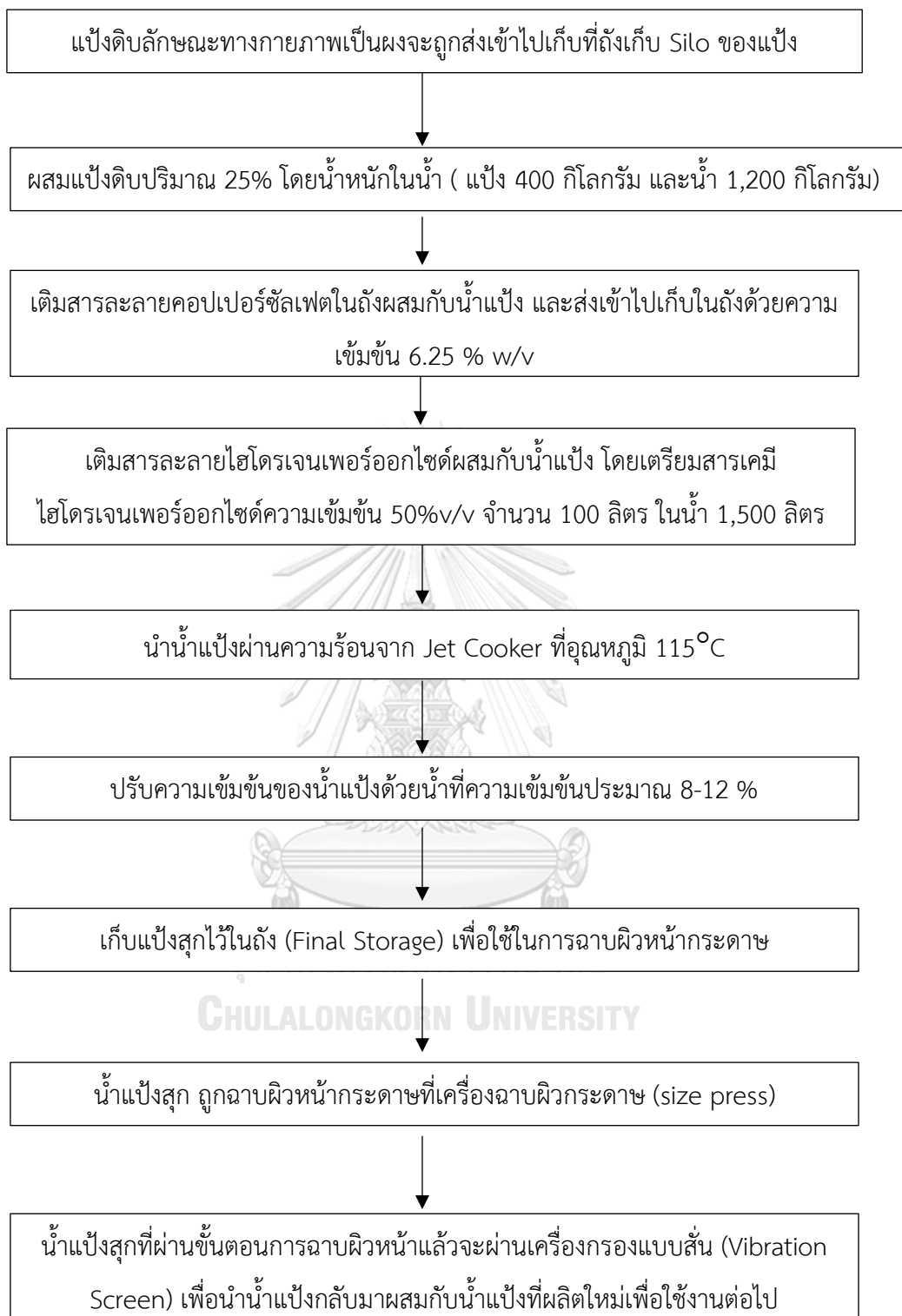


- 3.2.6 หลังจากนั้นทำการปรับความเข้มข้นของน้ำแป้งด้วยน้ำที่ความเข้มข้นประมาณ 8-12 %
3.2.7 แล้วถูกเก็บไว้ในถัง (Final Storage) เพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้ากระดาษบนเครื่องจักร (Pond Size Press)



- 3.2.8 โดยหลังจากน้ำแป้งสุกที่ผ่านขั้นตอนการฉาบผิวหน้าแล้วแป้งที่เหลือจะถูกนำกลับมาผสมกับแป้งสุกที่ผลิตใหม่โดยผ่านการกรองสิ่งสกปรกด้วยเครื่องกรองแบบสั่น (Vibration Screen)



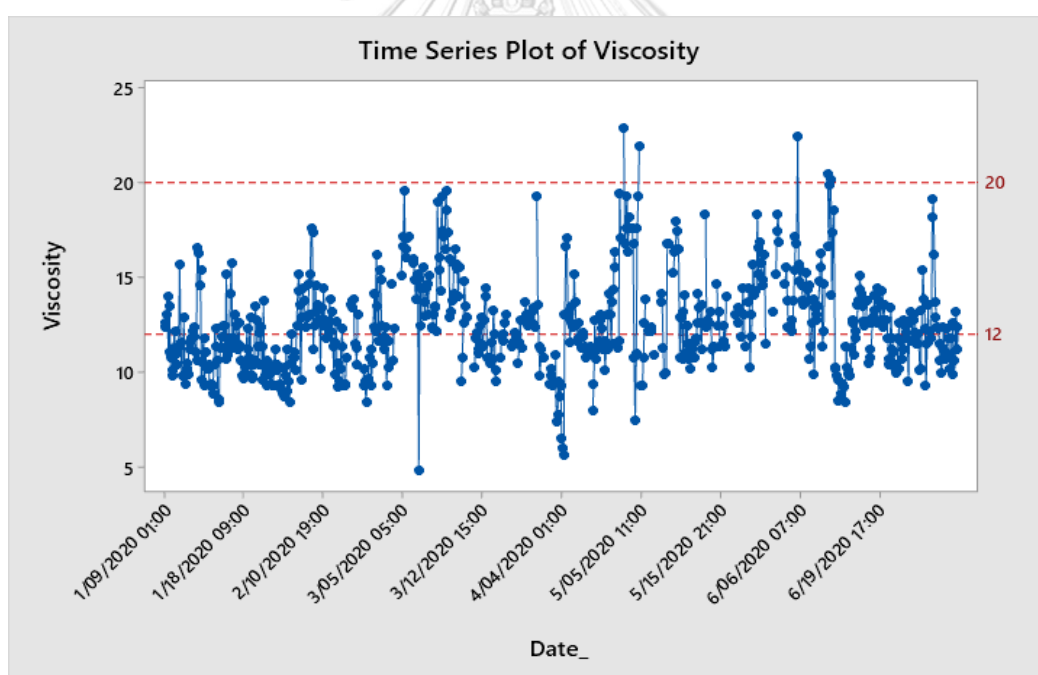


รูปที่ 28 รายละเอียดขั้นตอนของการเตรียมน้ำแป้ง จนไปถึงขั้นตอนการฉาบผิวหน้ากระดาษ

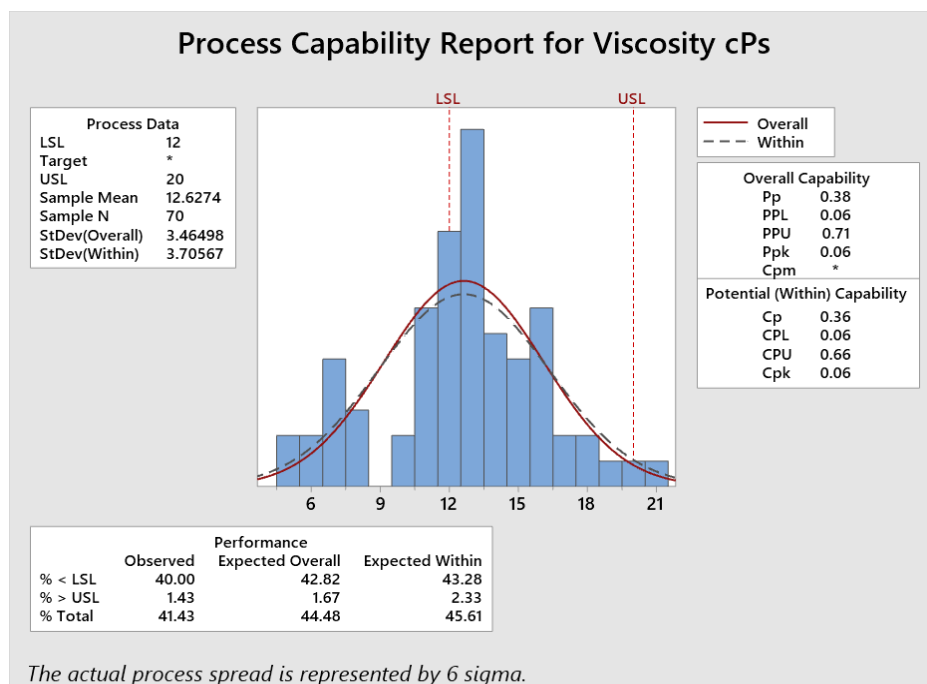
3.3 การกำหนดปัญหา

ในกระบวนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษนั้น มีความสำคัญกับความแข็งแรงของกระดาษ โดยในแต่ละขั้นตอนของการเตรียมน้ำแป้ง ผสมน้ำแป้งกับสารเคมี และผ่านสู่ความร้อนจนทำให้น้ำแป้งสุกแล้วต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำแป้งให้ได้ตามข้อกำหนดของค่าควบคุม (Specification) ซึ่งถ้าเกิดปัญหาคุณภาพของน้ำแป้งไม่ได้ตามที่กำหนดไว้ จะส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการลดความแปรปรวนของคุณภาพน้ำแป้ง (reduce variation) โดยจากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563 พบว่าค่าความหนืดของน้ำแป้งที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำแป้งมีค่าเกินจากค่าควบคุม (Upper and lower specification) โดยคิดเป็นสัดส่วนของเสียร้อยละ 41.43



รูปที่ 29 กราฟข้อมูลความหนืดของแป้งมันสำปะหลังหลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมแป้งเพื่อเข้าสู่กระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาษข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563



รูปที่ 30 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการและ %ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดแป้ง
ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563

3.4 กำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด

เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ การลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง และลดของเสียที่เกิดจากการควบคุมคุณภาพแป้งไม่ได้ตามข้อกำหนด (Upper and lower specification) ในกระบวนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษ

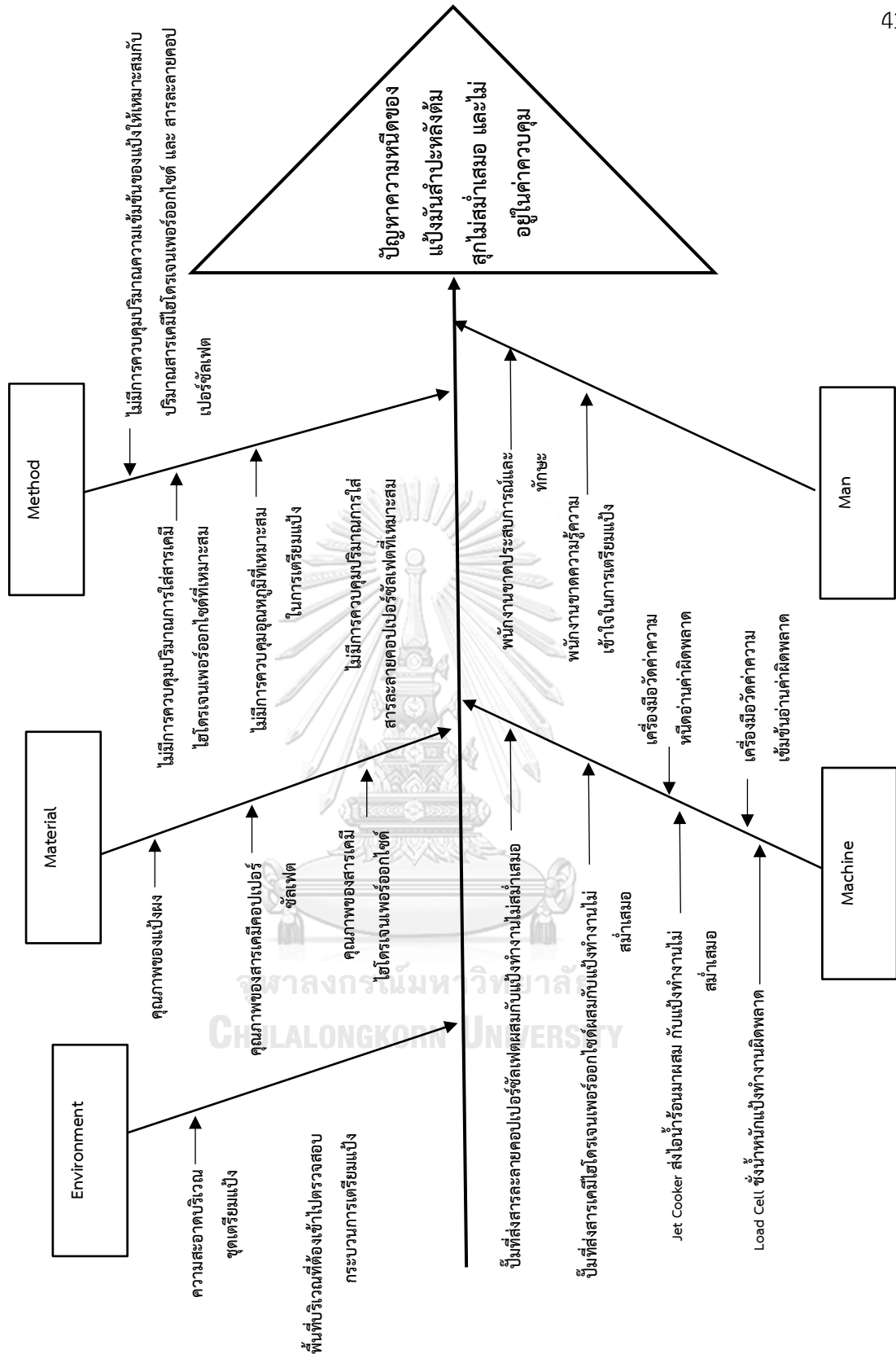
3.5 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) หรือแผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) โดยในการวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือนี้ เพื่อทำให้ค้นหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำแป้ง (Viscosity) โดยได้ใช้ข้อมูลที่ทำการศึกษาจากบทความทางวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทฤษฎีต่าง ๆ รวมทั้งระดมความคิด ประสพการณ์ ความรู้ต่าง ๆ จากผู้ทำงานในกระบวนการผลิต โดยได้จำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหาดังนี้

1. ปัจจัยจากคน (M – Man) คือ คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร
2. ปัจจัยจากเครื่องจักร (M – Machine) คือ เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
3. ปัจจัยจากวัตถุดิบ (M – Material) คือ วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่น ๆ ในกระบวนการ
4. ปัจจัยจากวิธีการ (M – Method) คือ กระบวนการทำงาน ขั้นตอนในการเตรียมแป้ง
5. ปัจจัยจากสภาพแวดล้อม (E - Environment) คือ อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

โดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) โดยปัจจัยที่ส่งผลแสดงได้ดังรูปที่ 31





รูปที่ 31 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาความหนืดของน้ำแบ่งมันล้าปะหลังต้ม สุกไม่สม่ำเสมอ และไม่อยู่ในค่าควบคุม

3.6 สรุปนิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการเตรียมน้ำแข็งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษ ในโรงงานกรณีศึกษาเพื่อระบุปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อที่สำคัญ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563 เมื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (process capability) พบว่าค่าความหนืดของแป้งที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพแป้งมีค่าเกินจากค่าควบคุม (Upper and lower specification) โดยคิดเป็นสัดส่วนของเสียร้อยละ 41.43 โดยมีค่าความหนืดเกินค่าควบคุมอย่างต่อเนื่อง (Chronic Problem) หากไม่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างถาวร จะทำให้บริษัทต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น สูญเสียชื่อเสียง เพราะสินค้าไม่ได้คุณภาพและอาจจะสูญเสียความน่าเชื่อถือจากการส่งมอบสินค้าที่ล่าช้าได้ จึงเป็นเหตุผลสำคัญในการที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นต่อไป โดยมีเป้าหมายในการลดความแปรปรวนของคุณภาพน้ำแข็งมันสำปะหลัง (reduce variation) ในกระบวนการเตรียมน้ำแข็งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษ

บทที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหา

จากข้อมูลที่ทำการศึกษาจากบทความทางวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทฤษฎีต่าง ๆ รวมทั้งระดมความคิด ประสพการณ์ และความรู้ต่าง ๆ จากผู้ทำงานในกระบวนการผลิต โดยได้จำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) ดังนี้

4.1 ปัจจัยจากวัตถุดิบ (M – Material) คือ วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง

1. แป้งมันสำปะหลังผง โดยแป้งมันสำปะหลังมีการกำหนดค่ามาตรฐานควบคุมคุณภาพของแป้ง ดังนี้

มาตรฐานคุณภาพแป้งมันสำปะหลังผง	
รายละเอียด	มาตรฐานที่กำหนด
ความชื้น (Moisture)	13% Max
กรด-ด่าง	5-7
ความขาว (Whiteness)	90% Min
เยื่อ (Pulp)	0.20 cc/50g Max
เถ้า (Ash)	0.20% Max
กำมะถัน (SO ₂)	0.-100 ppm
ความละเอียด (Fineness 100 Mesh)	95% Min
ความเหนียว (Viscosity)	700-900 BU.
เชื้อแป้ง (Starch)	85% Min
สิ่งเจือปน (Residue)	300 ppm (Max)

ตารางที่ 5 มาตรฐานการควบคุมคุณภาพแป้งมันสำปะหลังผงของโรงงานกรณีศึกษาที่รับเข้ามาเป็นวัตถุดิบก่อนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังสำหรับเคลือบผิวหน้ากระดาษ

1.1 วิเคราะห์ความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง (Viscosity , cPs) ตามค่าควบคุมของผู้ผลิต

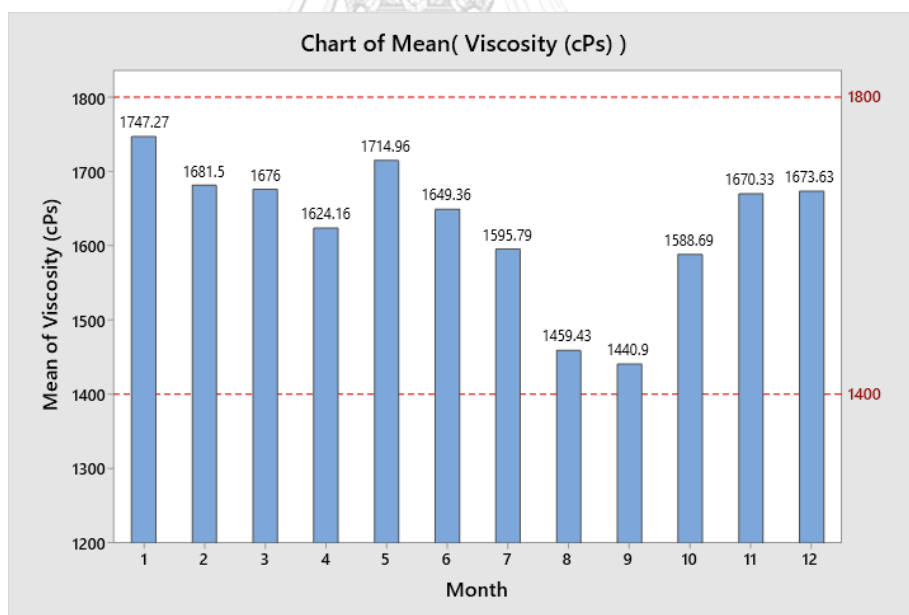
โดยจากการตรวจสอบข้อมูลคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังของค่าความหนืดอยู่ในค่าควบคุมตามมาตรฐาน คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,619.97 cPs จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแต่ละเดือนพบว่า เดือน 7 , 8 ,9 ,10 มีค่าความหนืดของแป้งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเดือน 1,2,3,4,5,6,11,12 แสดงด้วยค่า P-Value = 0.000 และพบว่าปัจจัยของเดือนในการเก็บเกี่ยวแป้งมันสำปะหลัง (Seasonal) ส่งผลต่อค่าความหนืดของแป้ง Viscosity ถึง 48.03% ซึ่งสรุปได้ว่าคุณภาพความหนืดของแป้งในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน ส่งผลให้ค่าความหนืดต่ำกว่าช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาวของประเทศไทย แต่จากข้อมูลทั้งหมดพบว่าค่าความหนืดยังอยู่ในค่าควบคุมการรับเข้าวัตถุดิบตามข้อกำหนดค่ามาตรฐานควบคุมคุณภาพของแป้ง

Analysis of Variance

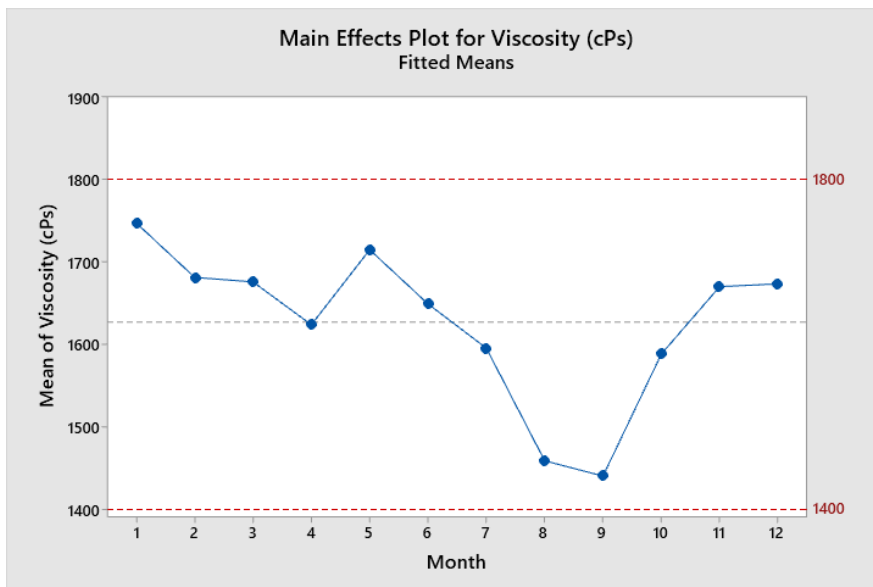
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Month	11	2593370	235761	29.74	0.000
Error	303	2401822	7927		
Total	314	4995192			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
89.0326	51.92%	50.17%	48.03%



รูปที่ 32 ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 33 ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง โดยจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวของแป้งช่วงเดือนเดือน 7 , 8 , 9 , 10 มีค่าความหนืดของแป้งต่ำกว่าเดือนอื่น ๆ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

1.2 วิเคราะห์ความเข้มข้นของแป้งมันสำปะหลัง (% Starch Content)

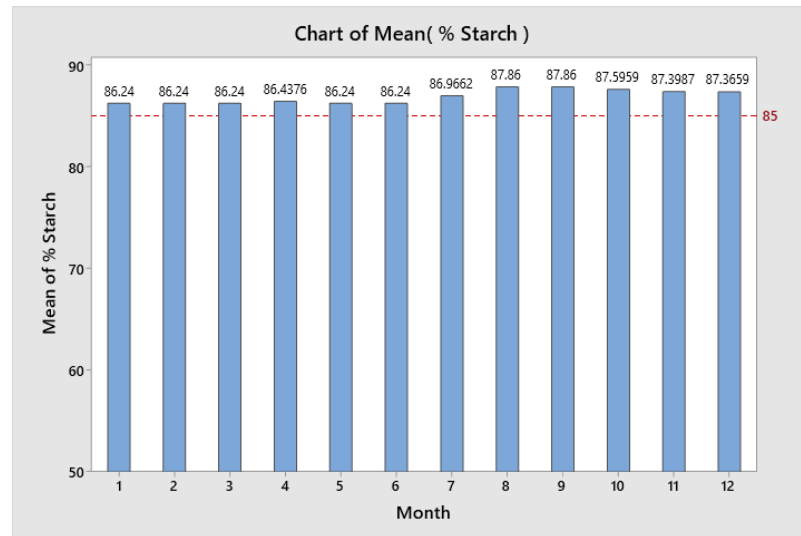
โดยจากการตรวจสอบข้อมูลคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังของค่าความเข้มข้นอยู่ในค่าควบคุมตามมาตรฐาน คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 86.93% จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแต่ละเดือนของความเข้มข้นของแป้งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงด้วยค่า P-Value = 0.625

Analysis of Variance

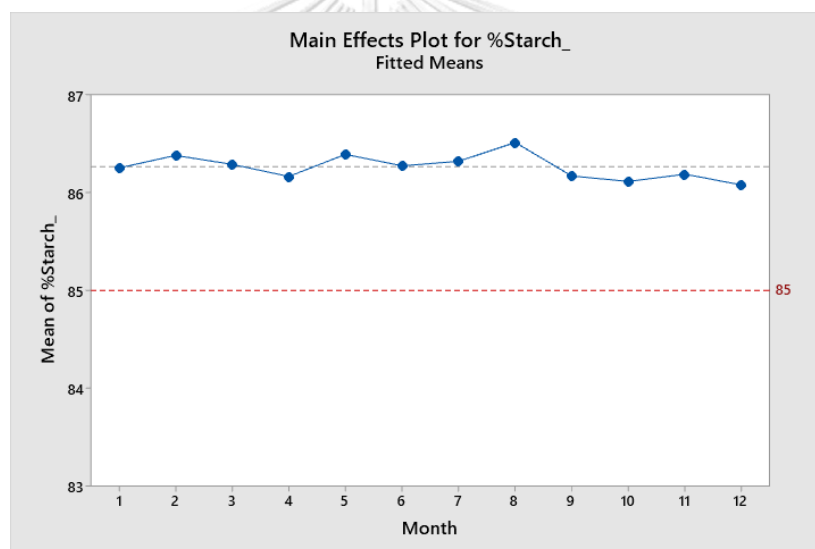
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Month	11	4.812	0.4375	0.82	0.625
Error	303	162.643	0.5368		
Total	314	167.455			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.732650	2.87%	0.00%	0.00%



รูปที่ 34 ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง (%Starch Content)



รูปที่ 35 ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง โดยจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยในแต่ละ lot มีค่าแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ

1.3 วิเคราะห์ความละเอียดของแป้งมันสำปะหลัง (% Fineness)

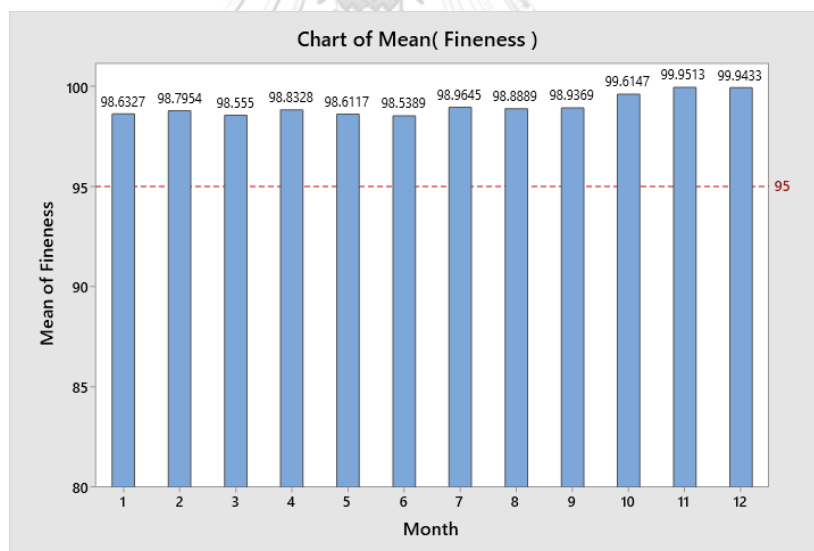
ความเข้มข้นตามมาตรฐานที่กำหนดคือ มากกว่าหรือเท่ากับ 95 % โดยจากการตรวจสอบข้อมูลความละเอียดของแป้งมันสำปะหลัง (% Fineness) พบว่า อยู่ในค่าควบคุมตามมาตรฐาน คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 99.04 % จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแต่ละเดือน ความละเอียดของแป้งมันสำปะหลัง (% Fineness) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงด้วยค่า P-Value = 0.000 แต่จากข้อมูลทั้งหมดพบว่าความละเอียดของแป้งมันสำปะหลัง (% Fineness) ยังอยู่ในค่าควบคุมการรับเข้าวัตถุดิบตามข้อกำหนดค่ามาตรฐานควบคุมคุณภาพของแป้ง

Analysis of Variance

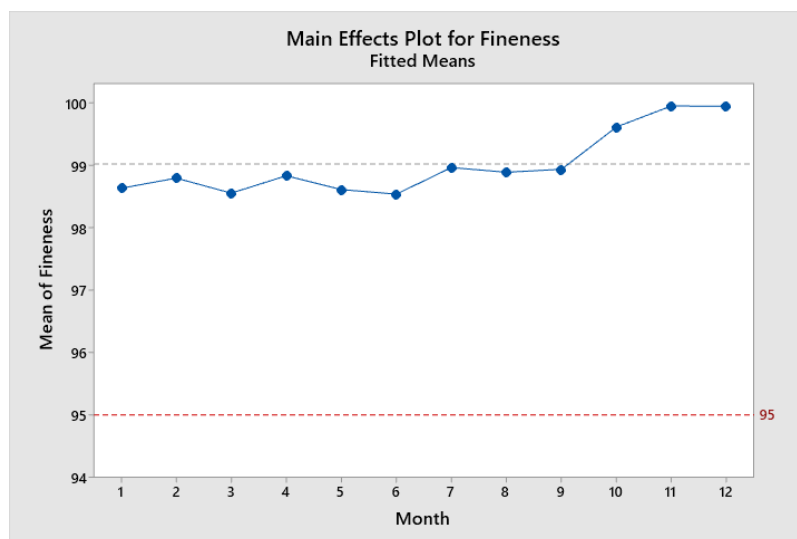
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Month	11	76.69	6.9722	30.56	0.000
Error	303	69.14	0.2282		
Total	314	145.83			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.477686	52.59%	50.87%	48.85%



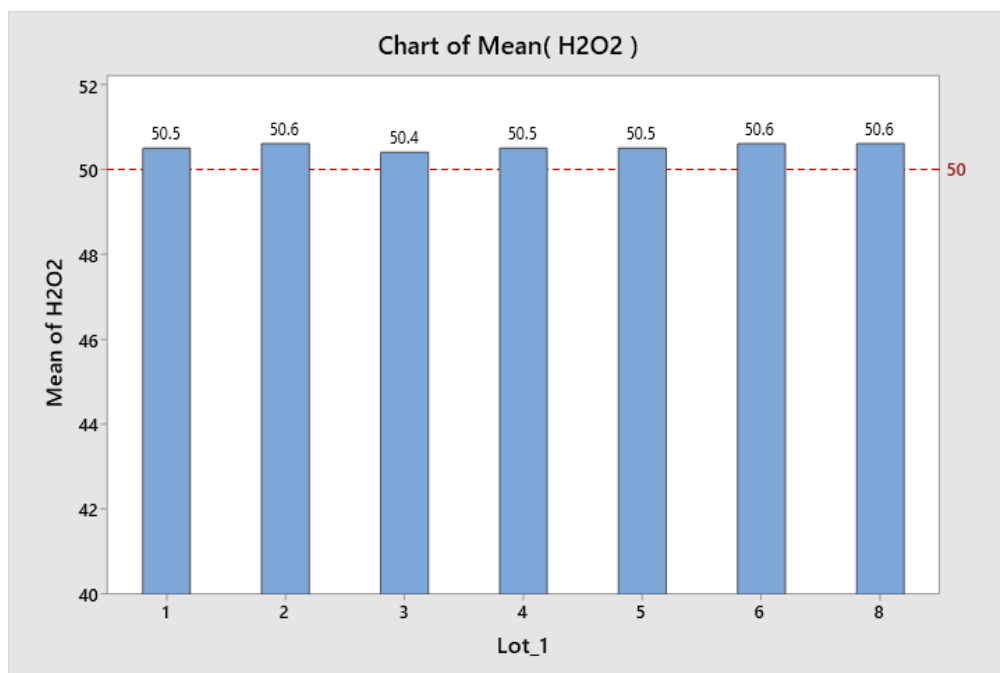
รูปที่ 36 ค่าเฉลี่ยของค่าความละเอียดของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง (% Fineness)



รูปที่ 37 ค่าเฉลี่ยของค่าความละเอียดของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังผง โดยจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยในแต่ละ lot มีค่าแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ

2. ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

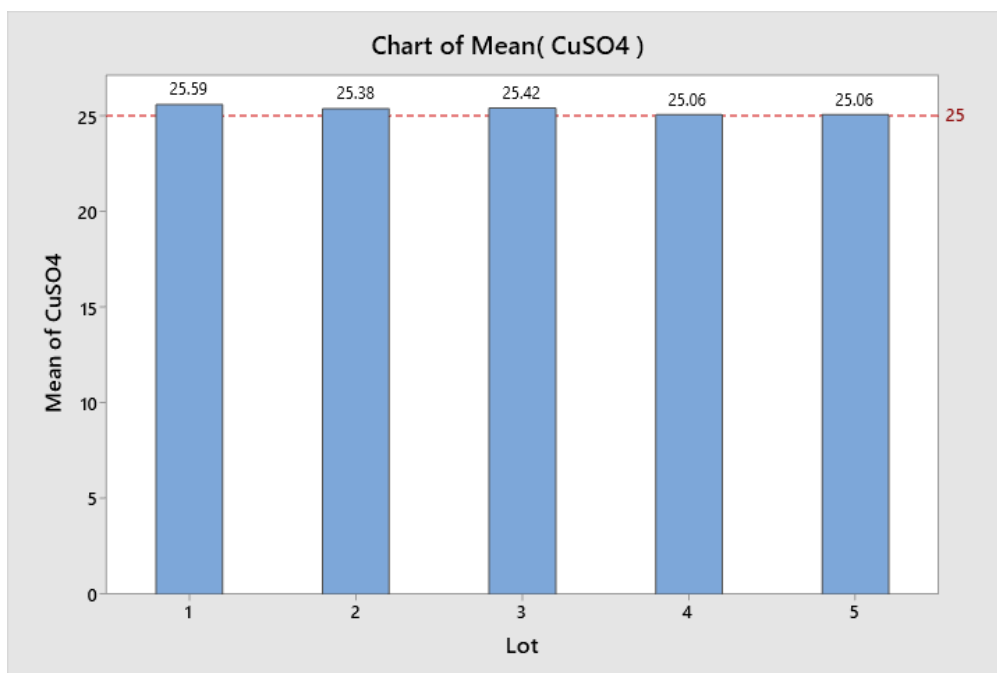
ความเข้มข้นตามมาตรฐานที่กำหนดคือ มากกว่าหรือเท่ากับ 50 %โดยน้ำหนัก (% w/w) โดยจากการตรวจสอบข้อมูลคุณภาพความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) พบว่า อยู่ในค่าควบคุมตามมาตรฐาน คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50.05 % w/w จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยแต่ละ lot ความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) มีความแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 38 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ในแต่ละ lot

3. ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄)

ความเข้มข้นตามมาตรฐานที่กำหนดคือ มากกว่าหรือเท่ากับ 25 % โดยน้ำหนัก (% w/w) โดยจากการตรวจสอบข้อมูลคุณภาพความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) พบว่า อยู่ในค่าควบคุมตามมาตรฐาน คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.30 % w/w จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแต่ละ lot ความเข้มข้นของ คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) มีความแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 39 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) ในแต่ละ lot

4.2 ปัจจัยจากเครื่องจักร (M – Machine) คือ เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง โดยเครื่องจักรในกระบวนการที่ส่งผลกับความหนืดของน้ำแป้ง โดยได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาดังนี้

1. อุปกรณ์ชั่งน้ำหนักแป้ง (Load Cell) ในการขึ้นการเตรียมน้ำแป้งนั้น จะต้องชั่งน้ำหนักน้ำ และแป้งผง เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 25% ก่อนนำไปผ่านขั้นตอนถัดไป โดยจากการตรวจสอบได้ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาหาความเข้มข้นให้ห้องปฏิบัติการทดลองโดยเก็บตัวอย่างปริมาณ 300 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปอบระเหยน้ำภายในตู้อบความร้อนห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 105°C โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งต่อวัน เป็นระยะเวลา 14 วัน จำนวนทั้งหมด 42 ค่า และใช้เครื่องมือ (การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม (1-Sample t-test) โดยตั้งสมมติฐาน โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ดังนี้

$$H_0: \mu = 25\%$$

$$H_a: \mu \neq 25\%$$

วันที่	กะ	% ความเข้มข้นของน้ำแข็งทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลอง
1	A	24.83
	B	25.14
	C	25.31
2	A	25.12
	B	24.98
	C	24.86
3	A	25.11
	B	24.96
	C	24.93
4	A	25.12
	B	25.29
	C	25.11
5	A	24.91
	B	25.25
	C	25.09
6	A	24.89
	B	25.31
	C	24.87
7	A	25.15
	B	25.06
	C	24.94
8	A	24.54
	B	24.98
	C	25.01
9	A	25.21
	B	24.86
	C	24.51
10	A	25.31

	B	25.16
	C	24.37
11	A	24.12
	B	24.59
	C	24.98
12	A	25.01
	B	25.19
	C	25.06
13	A	25.11
	B	24.95
	C	24.31
14	A	24.67
	B	25.23
	C	25.06
Average		24.96
Stdev		0.27

ตารางที่ 6 ตารางแสดง % ความเข้มข้นของน้ำแข็งทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลอง

จากการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value = 0.397 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของน้ำแข็งที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียมน้ำแข็งด้วยอุปกรณ์ชั่งน้ำหนักแข็ง (Load Cell) มีค่าเท่ากับ 25% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Descriptive Statistics

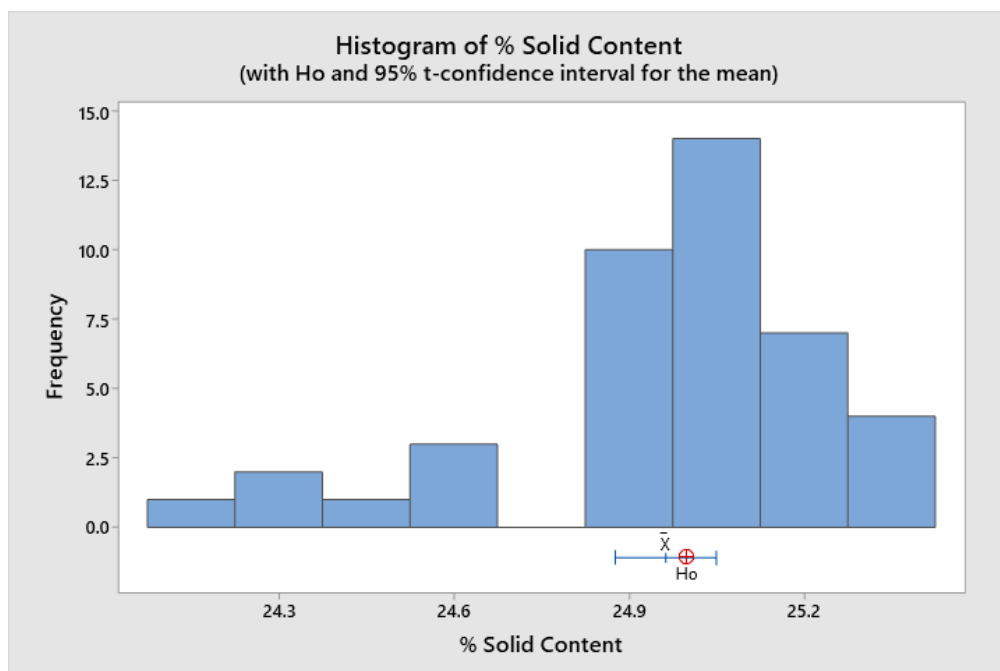
N	Mean	StDev	SE	
			Mean	95% CI for μ
42	24.9633	0.2776	0.0428	(24.8768, 25.0498)

μ : mean of % Solid Content

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu = 25$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu \neq 25$

T-Value	P-Value
-0.86	0.397



รูปที่ 40 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียม
น้ำแป้งด้วยอุปกรณ์ชั่งน้ำหนักแป้ง (Load Cell) มีค่าเท่ากับ 25% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อุปกรณ์ขนถ่ายส่งสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตผสมกับน้ำแป้ง (ปื้ม) จะทำหน้าที่ส่ง
สารเคมีเพื่อไปผสมกับน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 25% โดยจะต้องเตรียมให้มีความเข้มข้นที่
6.25%w/v จากการตรวจสอบได้ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาหาความเข้มข้นให้
ห้องทดลองโดยเก็บตัวอย่างปริมาณ 300 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปอบระเหยน้ำภายใน
ตู้อบความร้อนห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 105°C โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งต่อวัน เป็น
ระยะเวลา 14 วันจำนวนทั้งหมด 42 ค่า และใช้เครื่องมือ (การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่ม
ตัวอย่าง 1 กลุ่ม (1-Sample t-test) โดยตั้งสมมติฐาน โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ
 $\alpha = 0.05$ ดังนี้

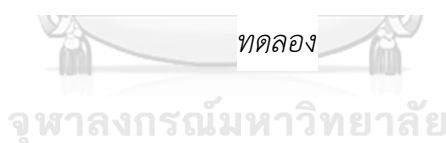
$$H_0: \mu = 6.25\%$$

$$H_a: \mu \neq 6.25\%$$

วันที่	กะ	% ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลอง
1	A	6.3
	B	6.29
	C	6.33
2	A	6.39
	B	6.45
	C	6.34
3	A	6.18
	B	6.15
	C	6.19
4	A	6.31
	B	6.28
	C	6.34
5	A	6.31
	B	6.38
	C	6.14
6	A	6.09
	B	6.28
	C	6.32
7	A	6.35
	B	6.34
	C	6.08
8	A	6.19
	B	6.24
	C	6.23
9	A	6.12
	B	6.13
	C	6.24
10	A	6.28

	B	6.19
	C	6.2
11	A	6.26
	B	6.24
	C	6.17
12	A	6.12
	B	6.25
	C	6.24
13	A	6.34
	B	6.14
	C	6.17
14	A	6.17
	B	6.21
	C	6.23
Average		6.24
Stdev		0.08

ตารางที่ 7 ตารางแสดง % ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ



ทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value = 0.603 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียมน้ำแป้ง มีค่าเท่ากับ 6.25% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Descriptive Statistics

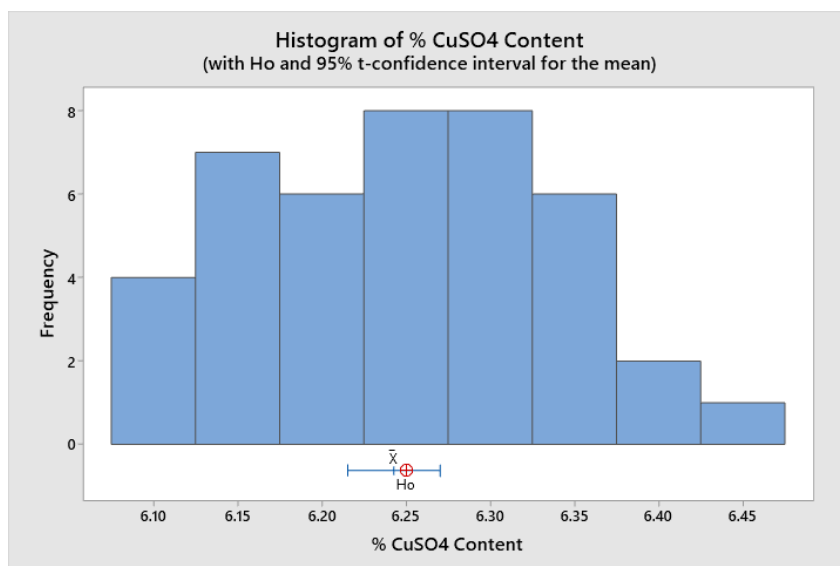
N	Mean	StDev	SE 95% CI for	
			Mean	μ
42	6.2429	0.0882	0.0136	(6.2154, 6.2704)

μ : mean of % CuSO₄ Content

Test

Null hypothesis	H ₀ : $\mu = 6.25$
Alternative hypothesis	H ₁ : $\mu \neq 6.25$

T-Value	P-Value
-0.52	0.603



รูปที่ 41 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียมน้ำแข็ง มีค่าเท่ากับ 6.25% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. อุปกรณ์ขนถ่ายส่งสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ผสมกับน้ำ (ปั๊ม) จะทำหน้าที่ส่งสารเคมีเพื่อไปผสมกับน้ำที่ความเข้มข้น 25% โดยจะต้องเตรียมให้มีความเข้มข้นที่ 6.66 %v/v จากการตรวจสอบพบว่าทางห้องปฏิบัติการทดลองได้ทดสอบหาความเข้มข้นด้วยวิธีการไทเทรตรีดอกซ์ (Redox titration) โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์มันганีส โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งต่อวัน เป็นระยะเวลา 14 วันจำนวนทั้งหมด 42 ค่า และใช้เครื่องมือ (การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม (1-Sample t-test) โดยตั้งสมมติฐาน โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ดังนี้

$$H_0: \mu = 6.66\%$$

$$H_a: \mu \neq 6.66\%$$

วันที่	กะ	% ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลอง
1	A	6.62
	B	6.67
	C	6.68
2	A	6.75
	B	6.55
	C	6.65
3	A	6.62
	B	6.6
	C	6.79
4	A	6.75
	B	6.57
	C	6.54
5	A	6.68
	B	6.65
	C	6.67
6	A	6.57
	B	6.59
	C	6.61
7	A	6.83
	B	6.79
	C	6.63
8	A	6.68
	B	6.66
	C	6.51
9	A	6.57
	B	6.78
	C	6.74
10	A	6.58

	B	6.64
	C	6.68
11	A	6.78
	B	6.54
	C	6.51
12	A	6.61
	B	6.65
	C	6.69
13	A	6.58
	B	6.54
	C	6.51
14	A	6.69
	B	6.67
	C	6.57
Average		6.642619048
Stdev		0.084306627

ตารางที่ 8 ตารางแสดง % ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ทดสอบใน
ห้องปฏิบัติการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value = 0.189 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของสารละลาย
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียมน้ำแป้ง มีค่าเท่ากับ 6.66% ที่ระดับ
ความเชื่อมั่น 95%

Descriptive Statistics

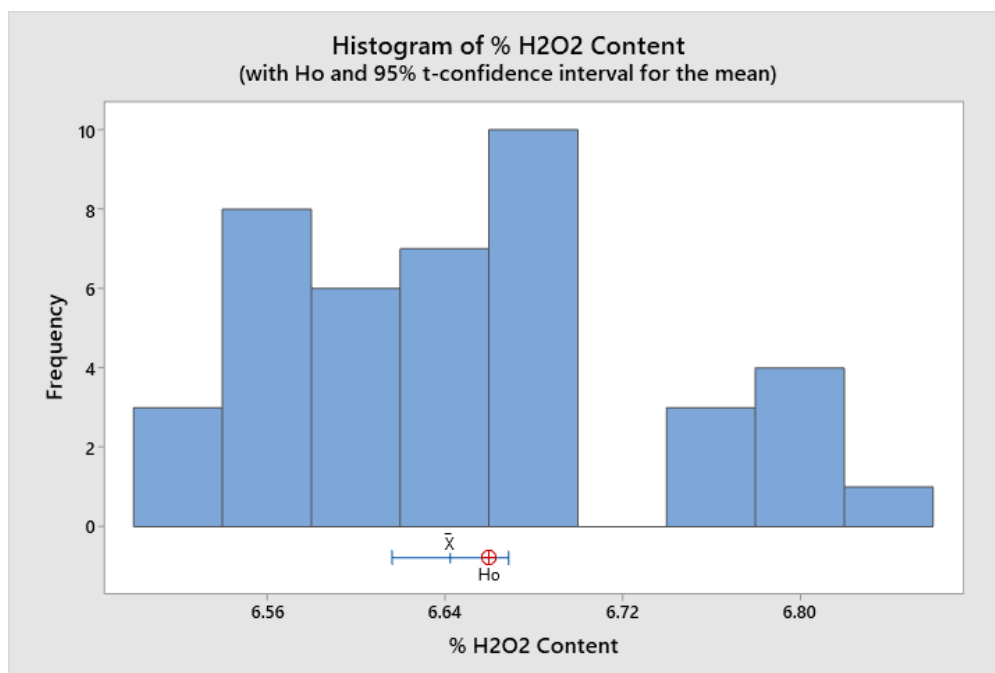
N	Mean	StDev	SE 95% CI for	
			Mean	μ
42	6.6426	0.0843	0.0130	(6.6163, 6.6689)

μ : mean of % H2O2 Content

Test

Null hypothesis $H_0: \mu = 6.66$
Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 6.66$

T-Value	P-Value
-1.34	0.189



รูปที่ 42 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เก็บตัวอย่างมาจากกระบวนการเตรียมน้ำแปง มีค่าเท่ากับ 6.66% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. อุปกรณ์ให้ความร้อน เพื่อต้มแป้ง (Jet Cooker) จากการตรวจสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิของไอร้อน (Steam) ที่ตั้งค่าในการต้มน้ำแป้งให้สุก เปรียบเทียบกับเกจวัดอุณหภูมิ (Temperature gauge) โดยตั้งค่าอุณหภูมิไว้ 115 °C โดยทำการตรวจสอบค่าที่ถูกวัดด้วยเกจวัดอุณหภูมิ 3 ครั้งต่อวัน เป็นระยะเวลา 14 วันจำนวนทั้งหมด 42 ค่า และใช้เครื่องมือ (การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม (1-Sample t-test) โดยตั้งสมมติฐาน โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ดังนี้

$$H_0: \mu = 115^{\circ}\text{C}$$

$$H_a: \mu \neq 115^{\circ}\text{C}$$

วันที่	กะ	อุณหภูมิ (°C) ของน้ำแข็งที่ถูกให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อน (Steam)
1	A	113
	B	112
	C	110
2	A	115
	B	116
	C	119
3	A	120
	B	117
	C	116
4	A	110
	B	111
	C	112
5	A	115
	B	116
	C	119
6	A	120
	B	121
	C	118
7	A	112
	B	110
	C	116
8	A	114
	B	115
	C	115
9	A	116
	B	113
	C	112
10	A	117

	B	115
	C	116
11	A	117
	B	118
	C	119
12	A	115
	B	114
	C	116
13	A	115
	B	115
	C	116
14	A	117
	B	112
	C	113
Average		115.19
Stdev		2.81

ตารางที่ 9 ตารางแสดงอุณหภูมิ (°C) ของน้ำแข็งที่ถูกให้ความร้อนด้วยไอความร้อน (Steam)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value = 0.663 แสดงว่าค่าอุณหภูมิที่วัดจากเกจวัดอุณหภูมิ
มีค่าเท่ากับ 115 °C ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE	
			Mean	95% CI for μ
42	115.190	2.813	0.434	(114.314, 116.067)

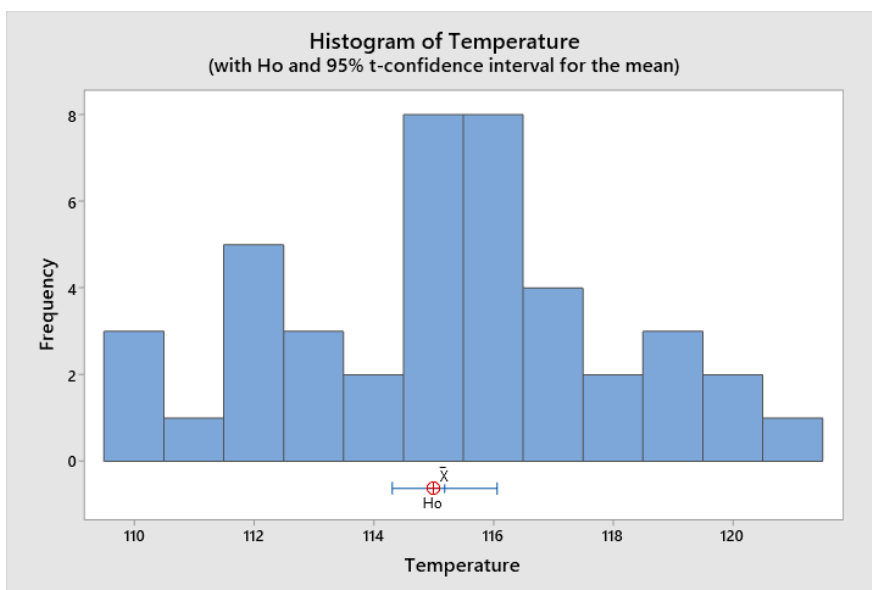
μ : mean of Temperature

Test

Null hypothesis $H_0: \mu = 115$

Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 115$

T-Value	P-Value
0.44	0.663



รูปที่ 43 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิที่วัดจากเกจวัดอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 115 °C ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5. เครื่องมือวัดค่าความหนืดน้ำแป้ง (Viscosity) ในกระบวนการผลิตจะใช้เครื่องมือวัดแบบต่อเนื่องในกระบวนการ โดยได้ทำการสอบเทียบเก็บตัวอย่างมาเพื่อทำการวัดกับเครื่องมือวัดความหนืดของห้องปฏิบัติการทดลองที่ผ่านมาสอบเทียบเครื่องมือวัดแล้ว โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างช่วงของค่าความหนืดช่วง 12-20 cPs จำนวน 50 ค่า ตามตารางที่ 4.14 และใช้เครื่องมือการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มไม่อิสระ (Paired t-Test) โดยตั้งสมมติฐาน โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ดังนี้

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_a: \mu_d \neq 0$$

Viscosity Online (cPs)	Viscosity in Laboratory (cPs)	Diff
12.25	12.11	0.14
11.82	11.99	-0.17
11.96	11.96	0.00
11.96	11.94	0.02
11.99	11.95	0.04
12.09	12.10	-0.01
12.26	12.38	-0.12
11.72	12.10	-0.38
12.01	12.04	-0.03
11.76	12.02	-0.26
14.08	13.86	0.22
13.96	14.01	-0.05
14.12	14.12	0.00
13.92	13.86	0.06
14.26	14.12	0.14
14.10	14.20	-0.10
14.02	14.08	-0.06
13.96	13.95	0.01
14.10	14.06	0.04
14.02	14.18	-0.16
15.93	16.20	-0.27
15.92	16.07	-0.15
15.85	15.94	-0.09
16.01	15.72	0.29
16.02	15.90	0.12
16.04	15.90	0.14
15.95	15.83	0.12
15.92	15.61	0.31

16.11	16.33	-0.22
15.98	15.91	0.07
18.32	17.78	0.54
18.28	18.00	0.28
18.02	18.00	0.02
17.92	17.91	0.01
17.91	17.70	0.21
17.97	18.02	-0.05
17.86	17.93	-0.07
18.11	18.07	0.04
17.91	18.09	-0.18
17.94	17.97	-0.03
20.16	19.88	0.28
20.14	20.33	-0.19
20.11	19.96	0.15
19.78	19.85	-0.07
20.32	19.63	0.69
19.88	19.93	-0.05
20.04	20.05	-0.01
20.26	19.94	0.32
19.91	19.93	-0.02
20.03	20.14	-0.11
Average		0.03
Stdev		0.20

ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าความหนืดน้ำแป้งที่วัดจากเครื่องมือวัดแบบต่อเนื่อง และค่าความหนืด
แป้งที่วัดจากเครื่องมือวัดความหนืดของห้องปฏิบัติการทดลอง

จากการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value = 0.320 แสดงว่าค่าความหนืดที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดความหนืดแบบต่อเนื่อง (Viscosity Online) และ เครื่องวัดความหนืดในห้องปฏิบัติการทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

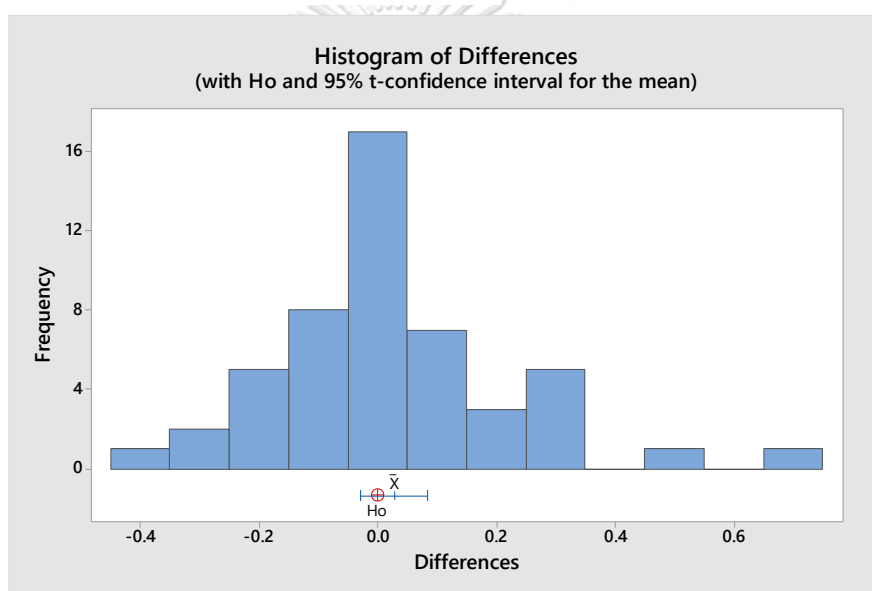
Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
0.0282	0.1985	0.0281	(-0.0282, 0.0846)

$\mu_{\text{difference}}$: mean of (Viscosity Online (cPs) - Viscosity in Laboratory (cPs))

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$
T-Value	P-Value
1.00	0.320



รูปที่ 44 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดความหนืดแบบต่อเนื่อง (Viscosity Online) และ เครื่องวัดความหนืดในห้องปฏิบัติการทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นน้ำแข็ง (Solid Content) ในกระบวนการผลิตจะใช้เครื่องมือวัดแบบต่อเนื่องในกระบวนการ โดยได้ทำการสอบเทียบเก็บตัวอย่างมาเพื่อทำการวัดกับ

เครื่องมือวัดความเข้มข้นของห้องปฏิบัติการทดลองที่ผ่านมาสอบเทียบเครื่องมือวัดแล้ว โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างช่วงของค่าความเข้มข้นช่วง 6-14 % จำนวน 27 ค่า ตามตารางที่ 4.16 และใช้เครื่องมือการทดสอบความแตกต่างของค่ากลางของสองประชากรไม่อิสระ (Paired t-Test) โดยตั้งสมมติฐาน โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ดังนี้

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_a: \mu_d \neq 0$$

Solid Online (%)	Solid in Laboratory (%)	Diff
6.1	6.7	-0.6
6	5.8	0.2
6	5.7	0.3
7.5	6.3	1.2
7.4	6.7	0.7
7.6	6.7	0.9
8.5	8.4	0.1
7.9	7.9	0
7.8	8.7	-0.9
9.1	9.1	0
9.6	8.3	1.3
8.1	8.8	-0.7
10.9	11.2	-0.3
10.7	10.9	-0.2
11.5	11.1	0.4
11.5	11	0.5
11.1	10.4	0.7
11.5	11.2	0.3
12.1	12.2	-0.1
11.5	11.1	0.4

11.8	12.4	-0.6
12.9	11.9	1
12.9	12.9	0
12.6	12.8	-0.2
13.2	13.5	-0.3
14.5	14.1	0.4
13.8	13.2	0.6
Average		5.1
Stdev		0.57

ตารางที่ 11 ตารางแสดงค่าความเข้มข้นของน้ำแข็งที่วัดจากเครื่องมือวัดแบบต่อเนื่อง และค่าความเข้มข้นของน้ำแข็งที่วัดจากเครื่องมือวัดความหนืดของห้องปฏิบัติการทดลอง

จากการวิเคราะห์ พบว่า ค่า P-Value = 0.099 แสดงว่าค่าความเข้มข้นที่วัดได้ระหว่าง เครื่องวัดความเข้มข้นแบบต่อเนื่อง (Solid Online) และ เครื่องวัดความเข้มข้นในห้องปฏิบัติการทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

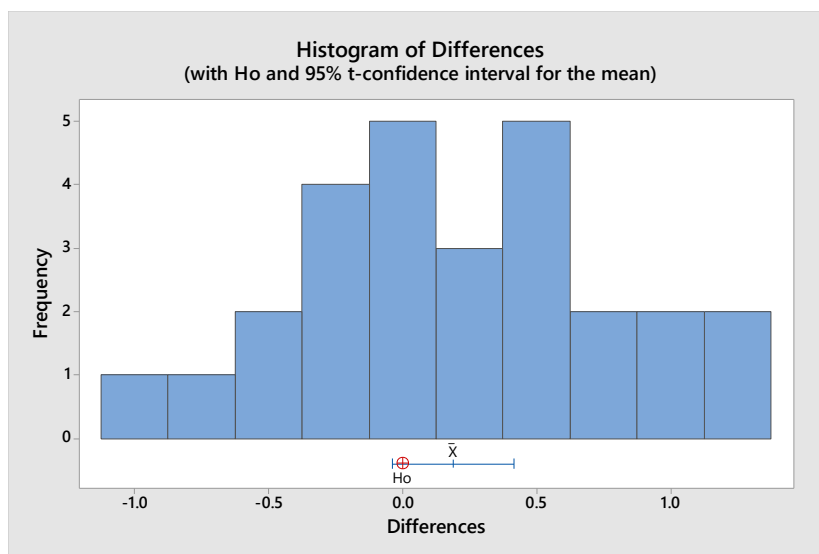
Estimation for Paired Difference

Test

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
0.189	0.574	0.110	(-0.038, 0.416)

$\mu_{\text{difference}}$: mean of (Solid Online (%)) - Solid in Laboratory (%)

Null hypothesis	$H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$
T-Value	P-Value
1.71	0.099



รูปที่ 45 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดค่าความเข้มข้นแบบต่อเนื่อง (Solid Online) และ เครื่องวัดความเข้มข้นในห้องปฏิบัติการทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3 ปัจจัยจากวิธีการ (M – Method) คือ กระบวนการทำงานและขั้นตอนในการเตรียมน้ำแป้งและสารเคมี โดยวิธีการในการปฏิบัติงาน และควบคุม โดยได้วิเคราะห์ดังนี้

1. การควบคุมปริมาณการใส่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต
2. การควบคุมปริมาณการใส่สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์
3. การควบคุมปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้งให้เหมาะสมกับปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต
4. การควบคุมอุณหภูมิในการต้มแป้ง

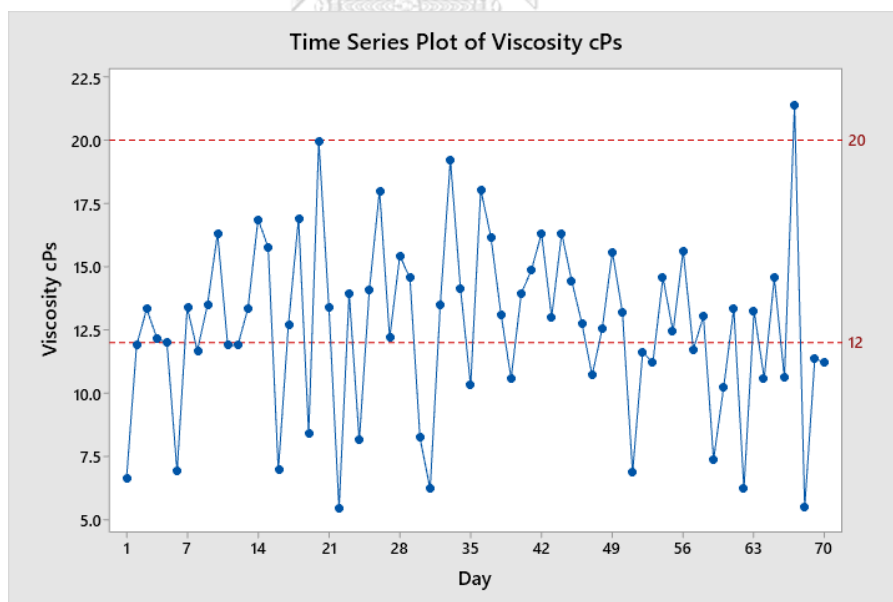
ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาค่าความหนืดที่ไม่อยู่ในค่าควบคุม โดยทำการเก็บข้อมูลการปรับตั้งค่าปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และความเข้มข้นแป้ง (% Solid Content) โดยใช้อุณหภูมิในการต้มแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 115 °C ในช่วงเดือนตุลาคม – ธันวาคม 2563 ดังตารางที่ 4.18 และทำการวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อหาปัจจัยหรือตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความหนืด โดยวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปร

Day	H2O2 (liter/min)	CuSo4 (liter/batch)	%Solid	Viscosity (cPs)
1	3.5	4	9	6.63
2	3.5	3.5	10	11.9
3	5	5	11	13.34
4	3.5	3	10	12.18
5	3.5	3.5	10	11.99
6	3	3	9	6.92
7	5	5	11	13.39
8	3.5	3.8	10	11.69
9	5	4	11	13.49
10	5	5	12	16.31
11	3.5	3.5	10	11.9
12	3.5	3.5	10	11.9
13	5	5	11	13.35
14	5	4	12	16.87
15	3	3.8	11	15.77
16	2.5	5	9	6.96
17	3	3	10	12.72
18	3.5	5	12	16.9
19	5	3.5	10	8.42
20	4.8	5	13	19.94
21	5	5	11	13.39
22	2.5	3	7	5.47
23	5	4	11	13.94
24	5	5	10	8.15
25	4.5	4.5	11	14.11
26	5	5	13	18
27	3	4.5	10	12.19
28	3.7	4.5	11	15.42

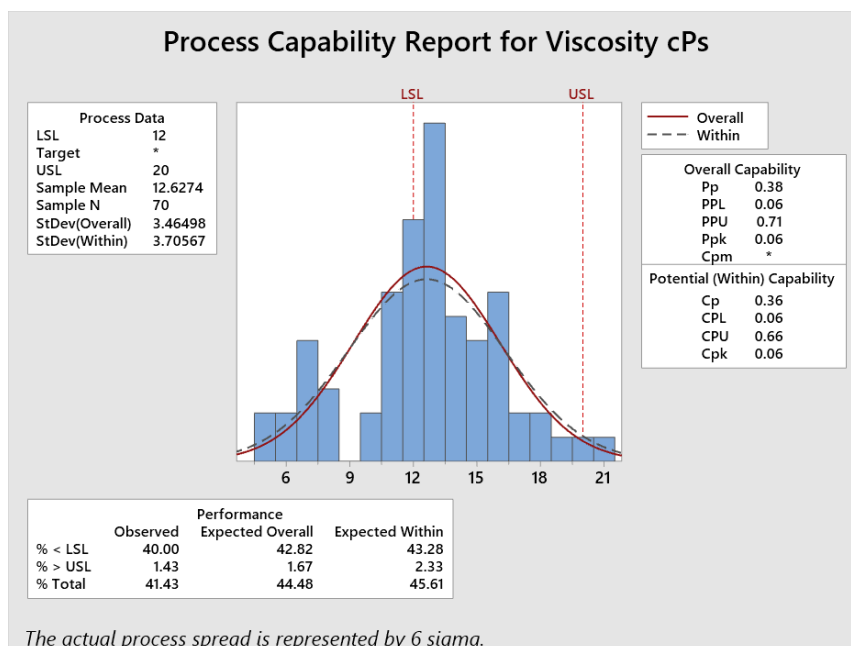
29	3.7	4.5	11	14.57
30	5	4	10	8.24
31	4	5	9	6.24
32	5	4	11	13.51
33	4.8	5	13	19.2
34	4.5	4	11	14.14
35	4.8	4	10	10.32
36	5	4	13	18.03
37	3	3.8	11	16.18
38	3	3	10	13.12
39	4.8	3.8	10	10.6
40	5	4	11	13.94
41	3.7	4.5	11	14.86
42	5	5	12	16.31
43	3	3	10	13.01
44	5	5	12	16.31
45	4.5	4	11	14.42
46	3	3	10	12.75
47	4	3.5	10	10.71
48	3	3.5	10	12.55
49	3.5	3.8	11	15.58
50	3	3	10	13.18
51	3.5	3	9	6.89
52	3.5	3.8	10	11.64
53	3.5	4	10	11.21
54	3.7	4.5	11	14.57
55	3	3.5	10	12.44
56	3	4.5	11	15.63
57	3.5	3.8	10	11.74
58	3	3	10	13.04

59	5	5	10	7.4
60	5	3	10	10.25
61	5	5	11	13.35
62	5	3	9	6.24
63	3	4.5	10.2	13.26
64	4.8	3.8	10	10.6
65	4.5	4	11	14.56
66	4.8	3.8	10	10.63
67	4.6	5	13	21.38
68	2.5	3	8	5.49
69	3.5	4	10	11.38
70	3.5	4	10	11.21

ตารางที่ 12 ตารางแสดงข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีต่างๆ ปริมาณความเข้มข้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มน้ำแป้งเก็บข้อมูลในช่วงเดือนตุลาคม - ธันวาคม 2563



รูปที่ 46 กราฟข้อมูลความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังหลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้งเพื่อเข้าสู่กระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาษข้อมูลตั้งแต่เดือนเดือนตุลาคม - ธันวาคม 2563



รูปที่ 47 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการและ % ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแป้งข้อมูลตั้งแต่เดือนตุลาคม – ธันวาคม 2563

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และความเข้มข้นน้ำแป้ง (% Solid Content) เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำแป้ง (Main Effect) โดยตัวชี้วัดความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความหนืดคือ R^2 มีค่าเท่ากับ 93.96 % และค่า P-Value < 0.05 แสดงว่าปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และความเข้มข้นแป้ง (% Solid Content) เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของแป้งที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรงเมื่อมีตัวแปรที่เป็นมากกว่า 1 ตัวแปรขึ้นไป (Multiple linear regression analysis) คือ เมื่อปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้แนวโน้มความหนืดของน้ำแป้งที่ค่าต่ำลง ในทางกลับกันเมื่อความเข้มข้นน้ำแป้ง (% Solid Content) เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ความหนืดของน้ำแป้งสูงขึ้น ด้วยจากรูปที่ 48

Regression Equation

$$\text{Viscosity cPs} = -17.304 - 1.257 \text{ H}_2\text{O}_2 - 0.603 \text{ CuSo}_4 + 3.562 \% \text{Solid}$$

Coefficients

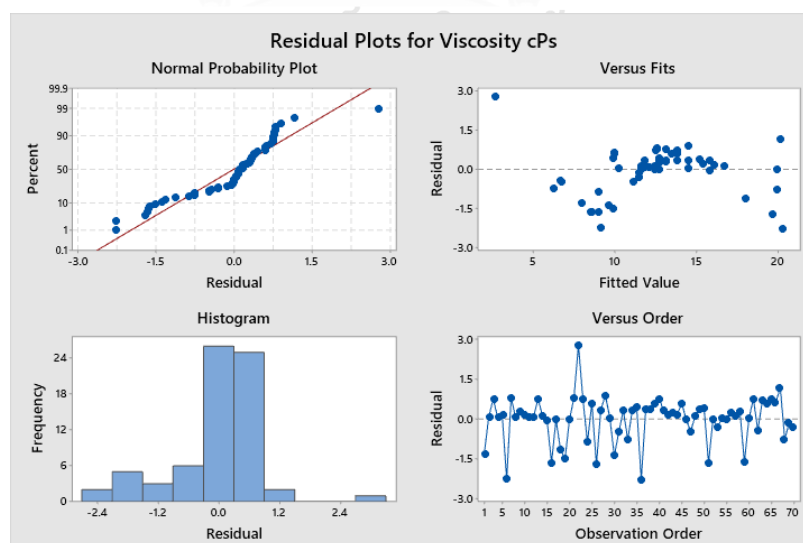
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-17.304	0.985	-17.57	0.000	
H2O2	-1.257	0.148	-8.50	0.000	1.47
CuSo4	-0.603	0.190	-3.17	0.002	1.64
%Solid	3.562	0.123	28.97	0.000	1.74

Model Summary

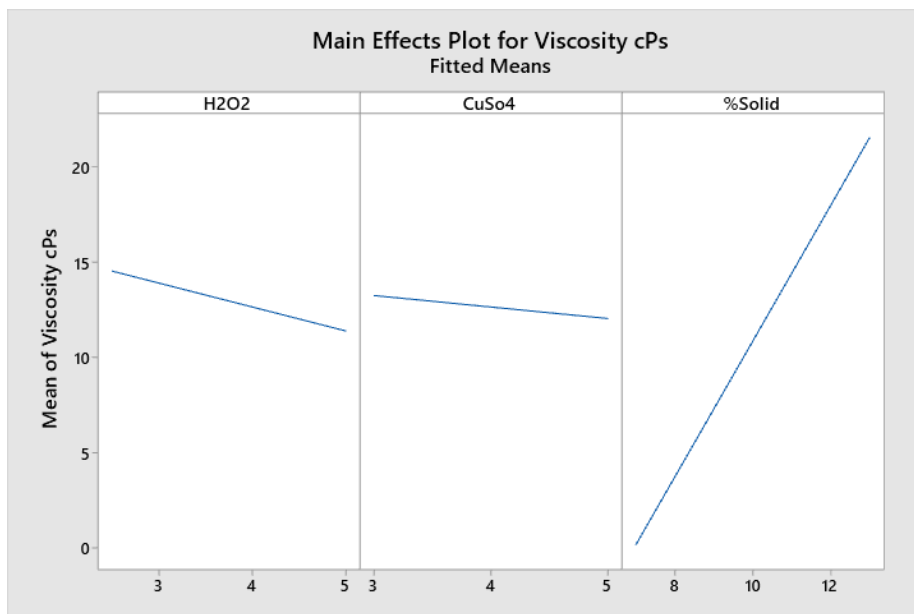
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.870738	93.96%	93.68%	92.60%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	778.379	259.460	342.21	0.000
H2O2	1	54.769	54.769	72.24	0.000
CuSo4	1	7.613	7.613	10.04	0.002
%Solid	1	636.327	636.327	839.28	0.000
Error	66	50.040	0.758		
Lack-of-Fit	34	48.411	1.424	27.96	0.000
Pure Error	32	1.629	0.051		
Total	69	828.419			

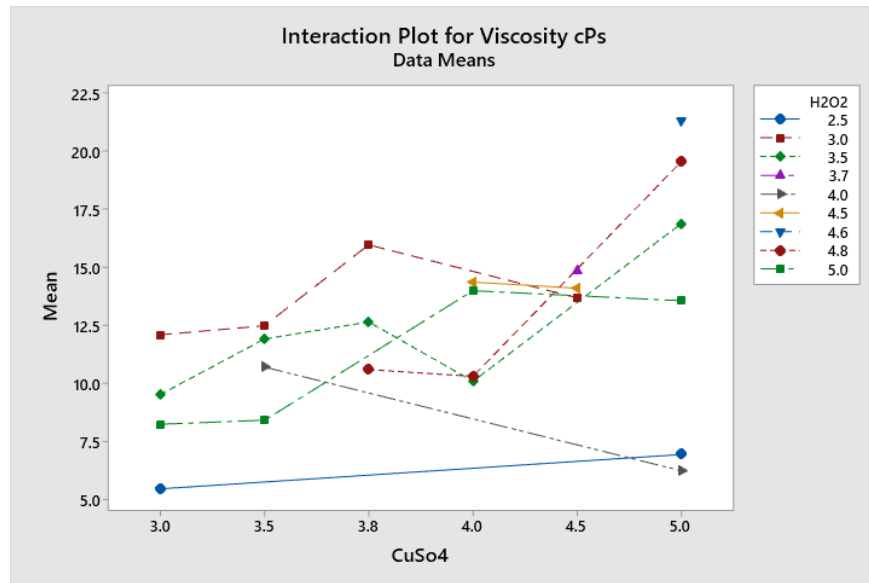


รูปที่ 48 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลซึ่งเป็นรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)

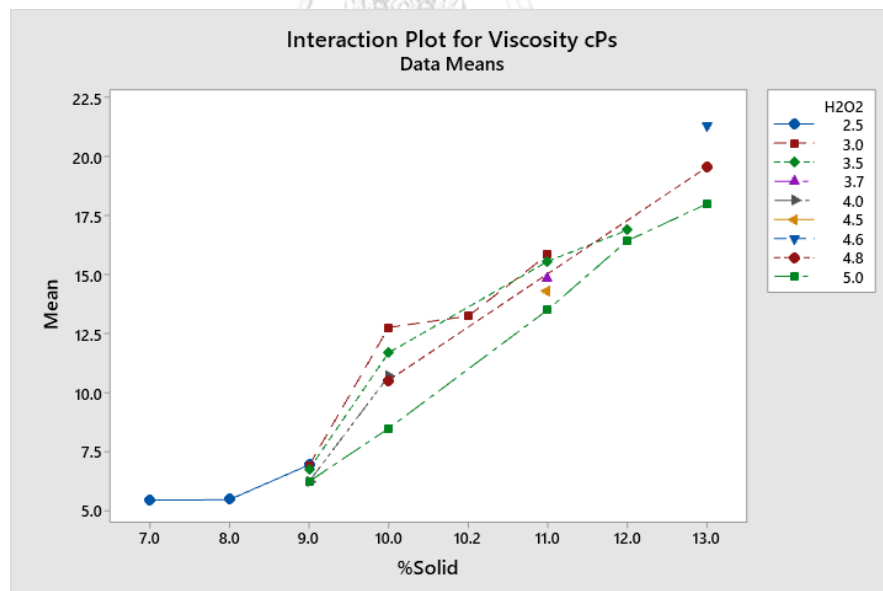


รูปที่ 49 แสดงปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกับค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลัง

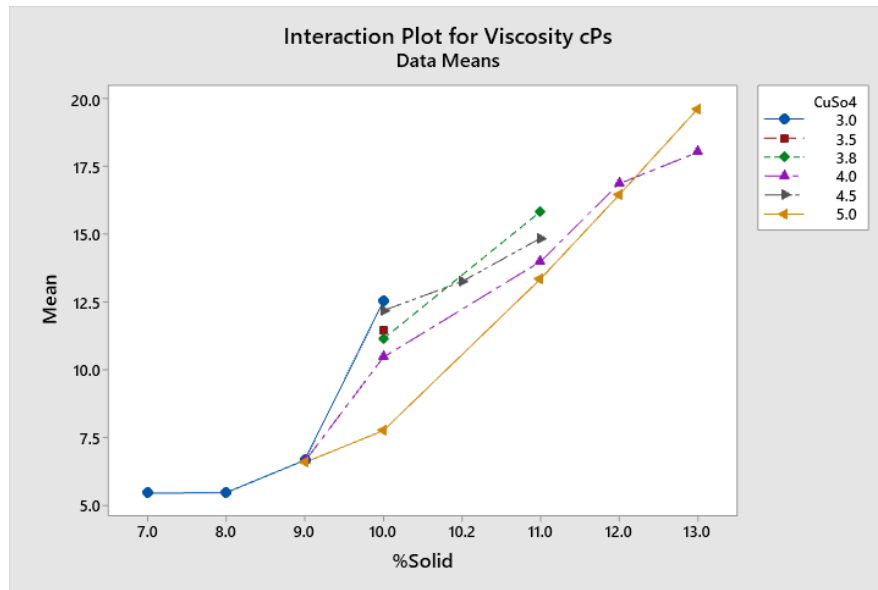
หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมของตัวแปรปัจจัยนำเข้า (Interaction Effect) จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และความเข้มข้นของน้ำแป้ง (% Solid Content) เป็นตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยตัวชี้วัดคือค่า P-Value > 0.05 ของตัวแปรที่พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร แสดงว่าปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และความเข้มข้นแป้ง (% Solid Content) เป็นตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำแป้ง



รูปที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำแป้ง



รูปที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และ ความเข้มข้นของน้ำแข็งที่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำแข็ง

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-14.16	5.56	-2.54	0.013	
H2O2	-1.26	1.46	-0.87	0.389	140.30
CuSo4	-2.23	1.66	-1.34	0.186	123.06
%Solid	3.589	0.650	5.52	0.000	47.84
H2O2*CuSo4	0.224	0.210	1.07	0.290	115.93
H2O2*%Solid	-0.086	0.137	-0.63	0.532	239.67
CuSo4*%Solid	0.073	0.168	0.44	0.665	293.44

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.878757	94.13%	93.57%	89.16%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	779.770	129.962	168.30	0.000
H2O2	1	0.581	0.581	0.75	0.389
CuSo4	1	1.381	1.381	1.79	0.186
%Solid	1	23.509	23.509	30.44	0.000
H2O2*CuSo4	1	0.878	0.878	1.14	0.290
H2O2*%Solid	1	0.305	0.305	0.40	0.532
CuSo4*%Solid	1	0.146	0.146	0.19	0.665
Error	63	48.649	0.772		
Lack-of-Fit	31	47.020	1.517	29.79	0.000
Pure Error	32	1.629	0.051		
Total	69	828.419			

4.4 ปัจจัยจากคน (M – Man) คือ คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร โดยจะประเมินค่าด้านความแม่นยำของระบบการวัดทั้ง 2 ด้านดังนี้

1. Repeatability หมายถึง ความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องของชิ้นงานเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกัน และพนักงานงานคนเดียวกัน โดยปกติความสามารถในการทำซ้ำจะเป็นการประมาณค่าความแม่นยำในระยะสั้น
2. Reproducibility หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดงานชิ้นเดียวกัน แต่ต่างพนักงาน โดยความสามารถในการทำเหมือนจะใช้ในการประมาณค่าความแม่นยำของระบบวัดในระยะยาว

ในการวิเคราะห์ระบบการวัดด้าน Repeatability และ Reproducibility จะใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ไปพร้อม ๆ กันเรียกว่า การวิเคราะห์ Gage Repeatability and Reproducibility (GR&R)

4.6.1 ความสามารถในการวัดด้านความแม่นยำของค่าความหนืดของน้ำแป้ง (Viscosity)

ในการวิเคราะห์ได้ทำการเก็บข้อมูลโดยเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 4 คน ทำการวัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยมีค่าความหนืดมาตรฐานจำนวน 3 ค่า แล้วทำการบันทึกดังตาราง

Operator	Std.Viscosity	Run Order	Viscosity	Part Number
A	4.7	1	4.72	A
B	4.7	2	4.7	A
C	4.7	3	4.71	A
D	4.7	4	4.72	A
A	9.6	5	9.58	B
B	9.6	6	9.51	B
C	9.6	7	9.96	B
D	9.6	8	9.62	B
A	48.4	9	48.38	C
B	48.4	10	48.45	C
C	48.4	11	48.52	C
D	48.4	12	47.98	C
A	4.7	13	4.68	A
B	4.7	14	4.67	A
C	4.7	15	4.72	A
D	4.7	16	4.72	A
A	9.6	17	9.57	B
B	9.6	18	9.92	B
C	9.6	19	9.61	B
D	9.6	20	9.64	B
A	48.4	21	48.32	C
B	48.4	22	48.39	C
C	48.4	23	49.1	C
D	48.4	24	47.98	C
A	4.7	25	4.74	A
B	4.7	26	4.74	A
C	4.7	27	4.72	A
D	4.7	28	4.7	A

A	9.6	29	9.58	B
B	9.6	30	9.63	B
C	9.6	31	9.67	B
D	9.6	32	9.57	B
A	48.4	33	48.34	C
B	48.4	34	48.38	C
C	48.4	35	48.45	C
D	48.4	36	48.41	C

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลการวัดของพนักงานเทียบกับช่วงของค่าความหนืดมาตรฐาน

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table with Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part Number	2	13731.6	6865.82	150713	0.000
Operator	3	0.3	0.09	2	0.220
Part Number * Operator	6	0.3	0.05	2	0.107
Repeatability	24	0.5	0.02		
Total	35	13732.7			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part Number	2	13731.6	6865.82	250516	0.000
Operator	3	0.3	0.09	3	0.034
Repeatability	30	0.8	0.03		
Total	35	13732.7			

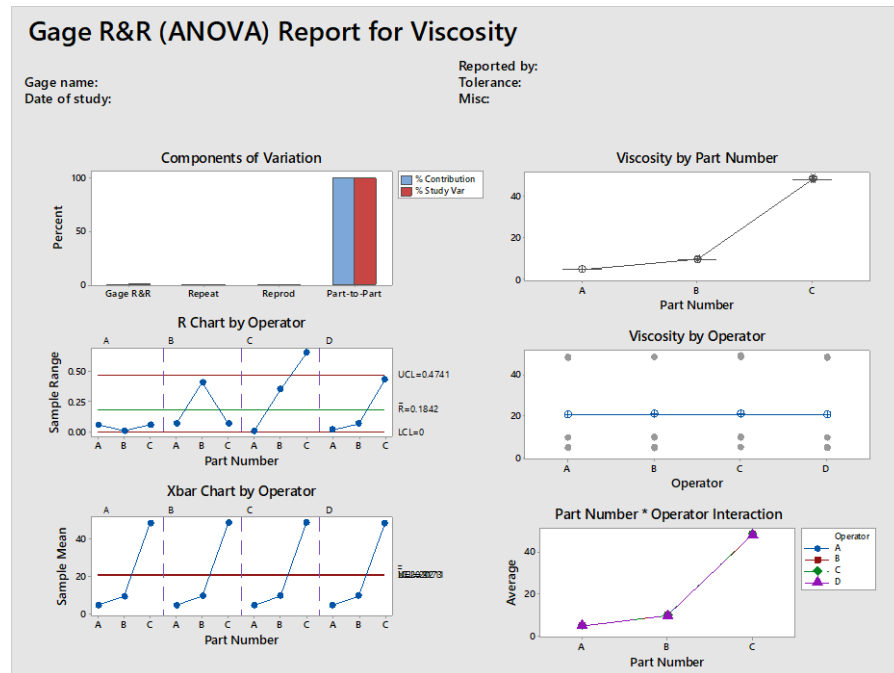
Gage R&R Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.034	0.01
Repeatability	0.027	0.00
Reproducibility	0.007	0.00
Operator	0.007	0.00
Part-To-Part	572.149	99.99
Total Variation	572.183	100.00

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.1853	1.112	0.77
Repeatability	0.1655	0.993	0.69
Reproducibility	0.0833	0.500	0.35
Operator	0.0833	0.500	0.35
Part-To-Part	23.9196	143.518	100.00
Total Variation	23.9204	143.522	100.00

Number of Distinct Categories = 181



รูปที่ 53 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของพนักงานในส่วนทางด้าน Repeatability และ Reproducibility ในการวัดความหนืดของน้ำแป้ง

จากการวิเคราะห์ค่าความผันแปรที่ได้มา Gage R&R มีค่าต่ำมากคือ 0.01 % โดยแสดงด้วยค่า P-Value = 0.220 ซึ่งค่าความผันแปรของค่าความหนืดมาตรฐาน (Part-to-Part) มีค่าความผันแปรสูง แสดงถึงระบบการวัดที่ดีมีความผิดพลาดจากการทำซ้ำ (Repeatability) และความผิดพลาดจากการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งมีความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95%

4.6.2 ความสามารถในการวัดด้านความแม่นยำของค่าความเข้มข้นของน้ำแป้ง (Solid Content)

ในการวิเคราะห์ได้ทำการเก็บข้อมูลโดยเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 4 คน ทำการวัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยมีค่าความเข้มข้นมาตรฐานจำนวน 3 ค่า แล้วทำการบันทึกดังตาราง

Operator	Std.Solid	Run Order	Solid	Part Number
A	7.5	1	7.5	A
B	7.5	2	7.5	A
C	7.5	3	7.3	A
D	7.5	4	7.4	A
A	10	5	10	B
B	10	6	10.5	B
C	10	7	10.2	B
D	10	8	9.8	B
A	12	9	11.8	C
B	12	10	11.7	C
C	12	11	12.1	C
D	12	12	12	C
A	7.5	13	7.5	A
B	7.5	14	7.7	A
C	7.5	15	7.8	A
D	7.5	16	7.4	A
A	10	17	10.2	B
B	10	18	10.1	B
C	10	19	10.4	B
D	10	20	10.5	B
A	12	21	12	C
B	12	22	11.9	C
C	12	23	12	C
D	12	24	11.8	C

A	7.5	25	7.5	A
B	7.5	26	7.4	A
C	7.5	27	7.6	A
D	7.5	28	7.3	A
A	10	29	9.9	B
B	10	30	10.1	B
C	10	31	10.3	B
D	10	32	10.4	B
A	12	33	12.1	C
B	12	34	12.2	C
C	12	35	12	C
D	12	36	11.9	C

ตารางที่ 14 แสดงข้อมูลการวัดของพนักงานเทียบกับช่วงของค่าความเข้มข้นมาตรฐาน

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table with Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part Number	2	121.512	60.7558	3364.94	0.000
Operator	3	0.110	0.0367	2.03	0.211
Part Number * Operator	6	0.108	0.0181	0.52	0.790
Repeatability	24	0.840	0.0350		
Total	35	122.570			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part Number	2	121.512	60.7558	1921.98	0.000
Operator	3	0.110	0.0367	1.16	0.341
Repeatability	30	0.948	0.0316		
Total	35	122.570			

Gage R&R

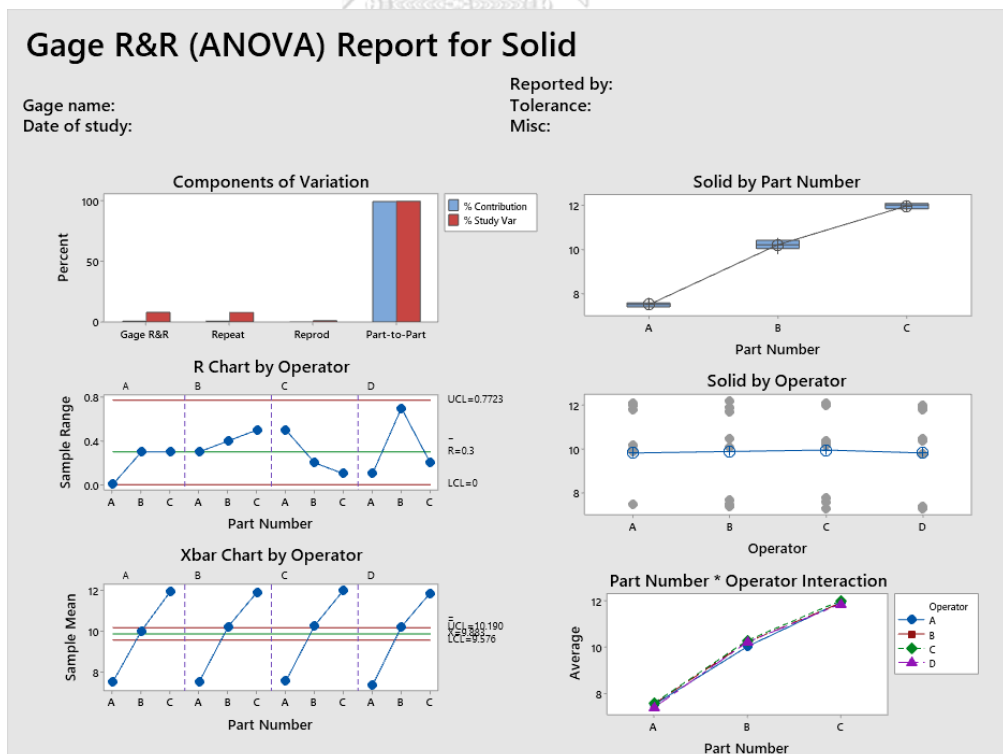
Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.03217	0.63
Repeatability	0.03161	0.62
Reproducibility	0.00056	0.01
Operator	0.00056	0.01
Part-To-Part	5.06035	99.37
Total Variation	5.09252	100.00

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.17937	1.0762	7.95
Repeatability	0.17780	1.0668	7.88
Reproducibility	0.02370	0.1422	1.05
Operator	0.02370	0.1422	1.05
Part-To-Part	2.24952	13.4971	99.68
Total Variation	2.25666	13.5400	100.00

Number of Distinct Categories = 17



รูปที่ 54 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของพนักงานในส่วนของด้าน
Repeatability และ Reproducibility ในการวัดความเข้มข้นของน้ำแป้ง

จากการวิเคราะห์ค่าความผันแปรที่ได้มา Gage R&R มีค่าต่ำมากคือ 0.63 % โดยแสดงด้วยค่า P-Value = 0.211 ซึ่งค่าความผันแปรของค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Part-to-Part) มีค่าความผันแปรสูง แสดงถึงระบบการวัดที่ดีมีความผิดพลาดจากการทำซ้ำ (Repeatability) และความผิดพลาดจากการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งมีความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95%

4.5 ปัจจัยจากสภาพแวดล้อม (E - Environment) คือ อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงานของการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง

สภาพการทำงานเหมาะสมตามหลักอาชีวอนามัย และความปลอดภัย

4.6 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้หลักโดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) และการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนืดของแป้งดังนี้

ปัจจัย	หัวข้อการวิเคราะห์	สรุปการวิเคราะห์
วัตถุดิบ (M – Material)	1.ความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง (Viscosity , cPs) ในแต่ละ lot	คุณภาพความหนืดของแป้งในแต่ละ lot ในการเก็บเกี่ยวช่วงฤดูฝน ส่งผลให้ค่าความหนืดต่ำกว่าช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาวของประเทศไทย อย่างมีนัยสำคัญ แต่จากข้อมูลทั้งหมดพบว่าค่าความหนืดยังอยู่ในค่าควบคุมการรับเข้าวัตถุดิบตามข้อกำหนดค่ามาตรฐานควบคุมคุณภาพของแป้ง
	2.ความเข้มข้นของแป้งมันสำปะหลัง (% Starch Content) ในแต่ละ lot	ค่าความเข้มข้นของแป้งในแต่ละ lot อยู่ในค่าควบคุมตามมาตรฐาน (คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 86.93% จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแต่ละ lot ของความเข้มข้นของแป้งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

	3.ความละเอียดของแป้ง มันสำปะหลัง (% Fineness)) ในแต่ละ lot	ค่าความเข้มข้นของแป้งมันสำปะหลัง (% Fineness)) ในแต่ละ lot อยู่ในค่าควบคุมตามมาตรฐาน (คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 99.04 % จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยแต่ละ lot ของความละเอียดของ แป้งมันสำปะหลัง มีความแตกต่างอย่าง ไม่มีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%
	4.ความเข้มข้น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)	คุณภาพความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) พบว่า อยู่ในค่าควบคุมตาม มาตรฐาน คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50.05 % w/w จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแต่ละ lot ความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) มีความแตกต่างอย่างไม่มี นัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95%
	5.ความเข้มข้นคอปเปอร์ ซัลเฟต (CuSO ₄)	คุณภาพความเข้มข้นของคอปเปอร์ ซัลเฟต (CuSO ₄) พบว่า อยู่ในค่าควบคุม ตามมาตรฐาน คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.30 % w/w จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแต่ละ lot ความเข้มข้นของ คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO ₄) มีความแตกต่างอย่างไม่มี นัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95%
เครื่องจักร (M - Machine)	1.อุปกรณ์ชั่งน้ำหนักแป้ง (Load Cell) ในแต่ละ lot การผลิต	ในแต่ละ lot การเตรียมสามารถชั่ง น้ำหนักแป้งและน้ำให้ได้สัดส่วน 25% โดยน้ำหนักไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ความเชื่อมั่น 95%
	2.อุปกรณ์ขนถ่ายส่ง สารละลายคอปเปอร์	ในแต่ละ lot การเตรียมสารละลายคอป เปอร์ซัลเฟตเพื่อผสมกับแป้งให้ได้สัดส่วน

	ซัลเฟตผสมกับน้ำแป้งในแต่ละ lot การผลิต	6.25% โดยมวลต่อปริมาตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%
	3.อุปกรณ์ขนถ่ายส่งสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ผสมกับน้ำแป้งในแต่ละ lot การผลิต	ในแต่ละ lot การเตรียมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพื่อผสมกับแป้งให้ได้สัดส่วน 6.66% โดยปริมาตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%
	4.อุปกรณ์ให้ความร้อนเพื่อต้มแป้ง (Jet Cooker)	ในแต่ละ lot ค่าอุณหภูมิที่วัดจากเกจวัดอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 115 °C ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
	5.เครื่องมือวัดค่าความหนืดน้ำแป้ง (Viscosity) ในกระบวนการผลิต	ค่าความหนืดที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดความหนืดแบบต่อเนื่อง (Viscosity Online) และ เครื่องวัดความหนืดในห้องปฏิบัติการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
	6.เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นน้ำแป้ง (Solid Content) ในกระบวนการผลิต	ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดความเข้มข้นแบบต่อเนื่อง (Solid Online) และ เครื่องวัดความเข้มข้นในห้องปฏิบัติการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
วิธีการ (M – Method)	1.การควบคุมปริมาณการใส่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต	สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มความหนืดของน้ำแป้งที่ค่าต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
	2.การควบคุมปริมาณการใส่สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มความหนืดของน้ำแป้งที่ค่าต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

	<p>3.การควบคุมปริมาณ ความเข้มข้นของแป้งให้ เหมาะสมกับปริมาณ สารเคมี ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และ สารละลายคอปเปอร์ ซัลเฟต</p>	<p>ความเข้มข้นน้ำแป้ง (% Solid Content) เพิ่มสูงขึ้นสูงขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มความ หนืดของน้ำแป้งที่ค่าสูงขึ้นอย่างมี นัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%</p>
คน (M – Man)	<p>1.ความสามารถในการวัด ด้านความแม่นยำของค่า ความหนืดน้ำแป้ง (Viscosity)</p>	<p>ระบบการวัดมีความผิดพลาดจากการ ทำซ้ำ (Repeatability) และความ ผิดพลาดจากการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งมีความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%</p>
	<p>2.ความสามารถในการวัด ด้านความแม่นยำของค่า ความเข้มข้นน้ำแป้ง (Solid Content)</p>	<p>ระบบการวัดมีความผิดพลาดจากการ ทำซ้ำ (Repeatability) และความ ผิดพลาดจากการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งมีความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%</p>
<p>สภาพแวดล้อม (E - Environment)</p>	<p>สภาพแวดล้อมในการ ทำงาน และการเข้า ปฏิบัติงาน และ แสงสว่าง , สภาพอากาศ</p>	<p>สภาพการทำงานเหมาะสมตามหลักอาชีว อนามัย และความปลอดภัย</p>

บทที่ 5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมกับน้ำแป้ง ความเข้มข้นของน้ำแป้งส่งผลต่อความหนืดของน้ำแป้ง ซึ่งเมื่อความหนืดของน้ำแป้งมีค่าต่ำกว่าค่าการควบคุมจะส่งผลให้คุณภาพของน้ำแป้งที่ไปเคลือบผิวหน้ากระดาษมีคุณภาพต่ำ โดยจากการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาพบว่าสิ่งที่ต้องปรับปรุงแก้ไขกระบวนการคือ วิธีการทำงานในการควบคุมปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมกับน้ำแป้ง ปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้ง โดยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

5.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญจากการวิเคราะห์ปัญหา ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยดังนี้

1. ปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ใช้ในการผสมกับน้ำแป้ง หน่วย liter/min
2. ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ที่ใช้ในการผสมกับน้ำแป้ง หน่วย liter/batch
3. ปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้ง (%Solid Content)

5.2 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ที่ทำการศึกษาในการทดลองนี้ คือ ความหนืดของน้ำแป้งต้องอยู่ในช่วงของค่าควบคุม

ในการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูล เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องแล้ว โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ด้วยโปรแกรม Minitab 18 ได้สมการที่มีลักษณะความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{สมการเส้นตรงเต็มรูป} : Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

$$\text{Viscosity cPs} = -17.304 - 1.257 H_2O_2 - 0.603 CuSo_4 + 3.562 \%Solid$$

5.3 การวิเคราะห์ค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด จาก Respond Optimizer

จากสมการความสัมพันธ์ค่าตัวแปรตอบสนองคือค่าความหนืดของน้ำแป้ง โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย โดยที่ค่าตัวแปรตอบสนองที่ต้องการควบคุมอยู่ในช่วง 12 -20 cPs โดยที่ค่ากลางที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 16 cPs ดังนั้นจึงทำการหาค่าปัจจัยนำเข้าที่ได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด โดยออกแบบค่าตอบสนองที่ต้องการโดยหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

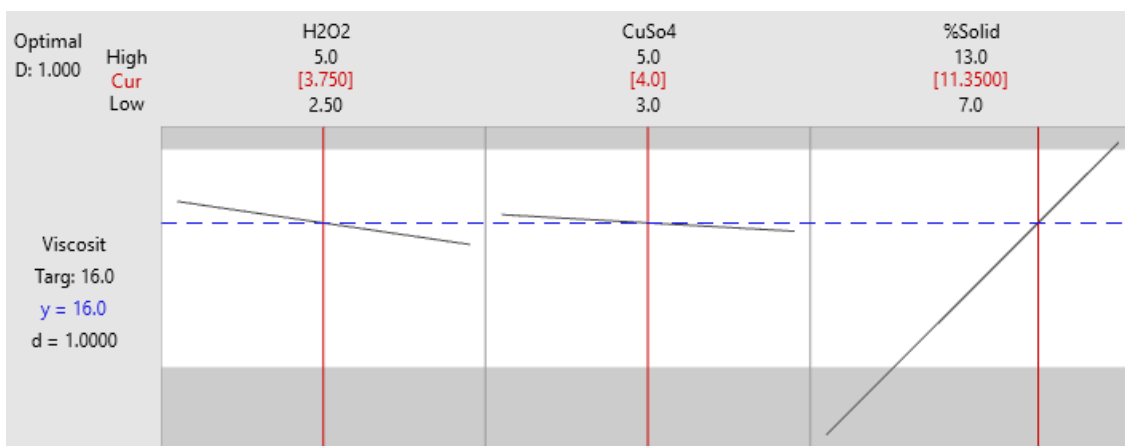
- 5.3.1 หาปัจจัยนำเข้าของปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H₂O₂) หน่วย liter/min ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) หน่วย liter/batch และปริมาณความเข้มข้นของแป้ง (%Solid Content) ที่ให้ได้ค่าความหนืดที่เหมาะสมที่สุด (cPs) ตามค่ากลางคือ 16 cPs โดยใช้โปรแกรม Minitab 18

Solution

Solution	H ₂ O ₂	CuSo ₄	%Solid	Viscosity	Composite
				cPs	
				Fit	
1	3.75	4	11.3500	16	1

Multiple Response Prediction

Variable	Setting				
H ₂ O ₂	3.75				
CuSo ₄	4				
%Solid	11.35				
Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI	
Viscosity cPs	16.000	0.163	(15.675, 16.325)	(14.231, 17.769)	



รูปที่ 55 ผลลัพธ์การค่าของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความหนืดอยู่ในค่ากลางของการ

ควบคุม

ค่าความหนืดที่เหมาะสมที่สุด (cPs) Respond Optimizer	ปัจจัยนำเข้า		
	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้ง (%Solid Content) Result factor	ปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) หน่วย liter/min Result factor	ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO4) หน่วย liter/batch Result factor
16	11.35	3.75	4.0

ตารางที่ 15 ตารางแสดงผลลัพธ์การค่าของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความหนืดอยู่ใน

ค่ากลาง

5.4 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

เมื่อทำการทดสอบความมึนยสำคัญของปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนของการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งหมด 3 ปัจจัย มาทำการหาค่าตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความหนืดของน้ำแป้งอยู่ที่ค่ากลางเท่ากับ 16 cPs ต้องใส่ปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO4) และปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้ง (%Solid Content) ตามตาราง 5.2 เพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 6 การควบคุมกระบวนการผลิต

การควบคุมกระบวนการผลิตเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการซึ่งเป็น การยืนยันผลสรุป จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยได้นำปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังมาทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล เพื่อตรวจสอบว่าค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังอยู่ในค่าควบคุมตามการทดลองหรือไม่ และดำเนินการจัดทำแผนควบคุมมาตรฐานในการเตรียมแป้ง (Work instruction) เพื่อให้กระบวนการเตรียมน้ำแป้งอยู่ในค่าควบคุม และเมื่อพบว่ากระบวนการเตรียมน้ำแป้งมีค่าความหนืดที่วัดได้อยู่นอกเหนือค่าควบคุมให้ดำเนินการปฏิบัติการแก้ไข

6.1 การทดสอบยืนยันผล

การทดสอบยืนยันผลเป็นการนำค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมดที่ส่งผลกระทบต่อค่าตอบสนองคือความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไข ดังตารางที่ 15 เพื่อตรวจสอบคุณภาพกระดาษ (ค่าแรงดันทะลุ: Burst Strength) ในกระบวนการผลิตจริง

ปัจจัยนำเข้า		
ปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้ง (% Solid Content)	ปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂) หน่วย liter/min	ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO ₄) หน่วย liter/batch
11.35	3.75	4.0

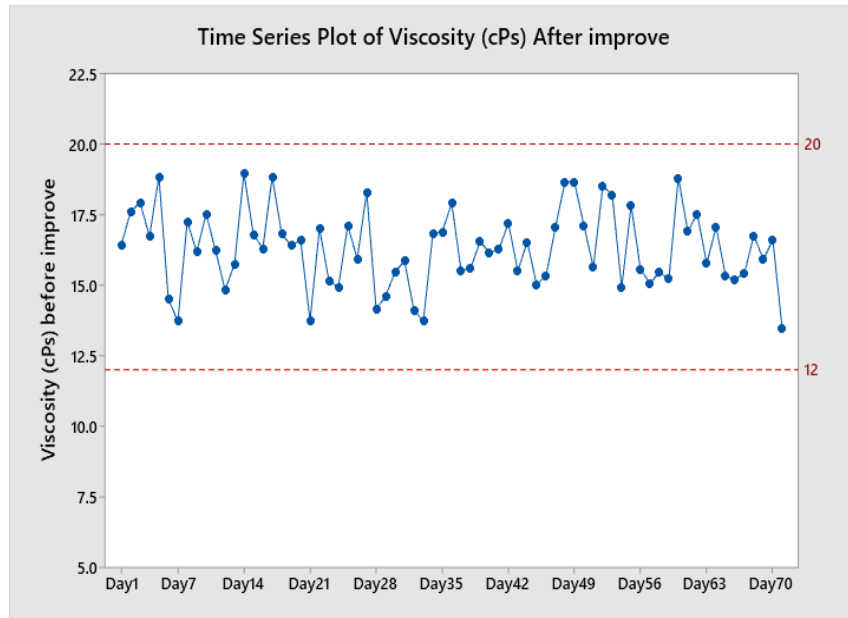
ตารางที่ 16 ตารางแสดงค่าการควบคุมของปัจจัยนำเข้าของน้ำแป้งเพื่อยืนยันผลลัพธ์ในกระบวนการผลิตจริง

6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

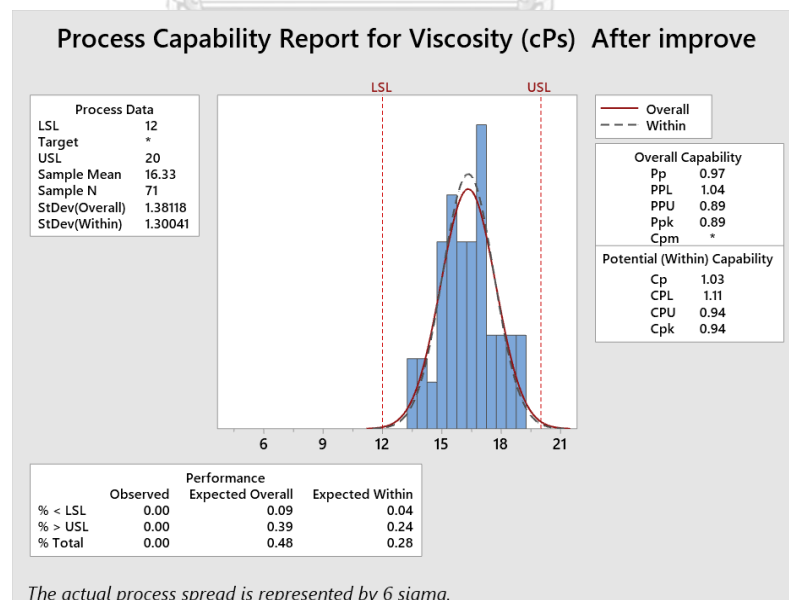
6.2.1 วิเคราะห์ผลทดสอบผลของตัวแปรตอบสนองค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังหลังการปรับปรุง

จากการทดสอบยืนยันผลค่าความหนืดของน้ำแป้งโดยทำการทดลองปรับค่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้งตามตารางที่ 15 ใช้อุณหภูมิในการต้มน้ำแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 115 ° โดยทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ 2564 โดยผลทดสอบพบว่าค่าความหนืดของน้ำ

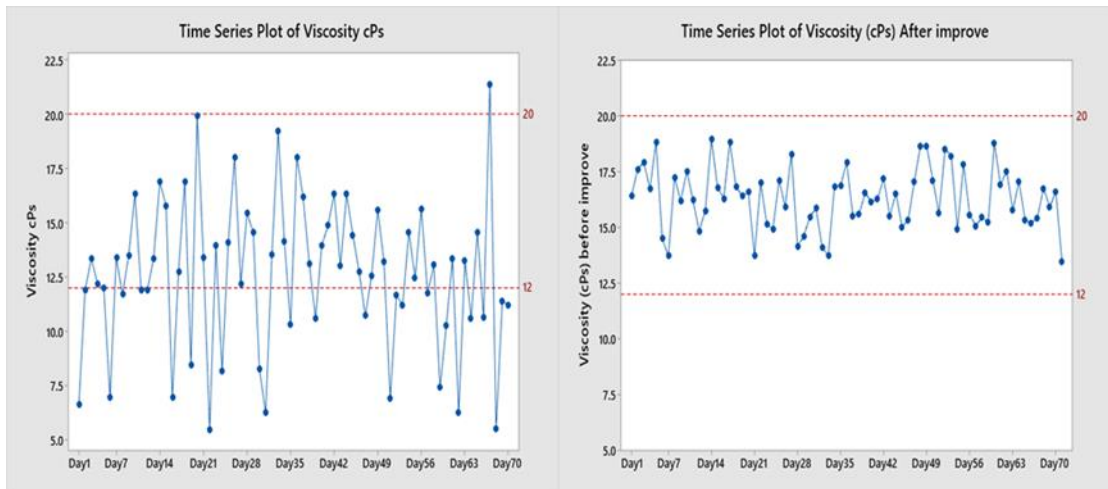
น้ำมันสำหรับอยู่ห้อยในค่าควบคุม 12-20 cPs ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.33 cPs และค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) เท่ากับ 1.03



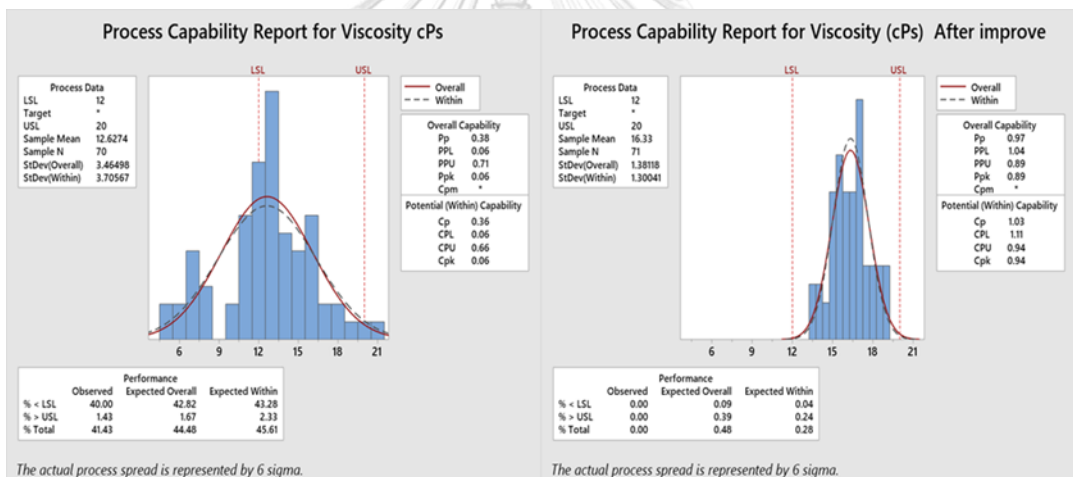
รูปที่ 56 กราฟข้อมูลความหนืดของน้ำเบ่งมันสำหรับหลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมเบ่งเพื่อเข้าสู่กระบวนการฉาบผิวหนากระดาศข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ 2564



รูปที่ 57 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการและ %ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดของน้ำเบ่งข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ 2564



รูปที่ 58 กราฟข้อมูลความหนืดของน้ำแป้งก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ



รูปที่ 59 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการ และ %ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแป้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

6.2.2 วิเคราะห์ผลทดสอบปัจจัยนำเข้าของค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังหลังการปรับปรุง

1. ปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้ง (% Solid Content)



รูปที่ 60 กราฟข้อมูลปัจจัยนำเข้าของปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้ง (% Solid Content) ก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ

2. ปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) หน่วย liter/min



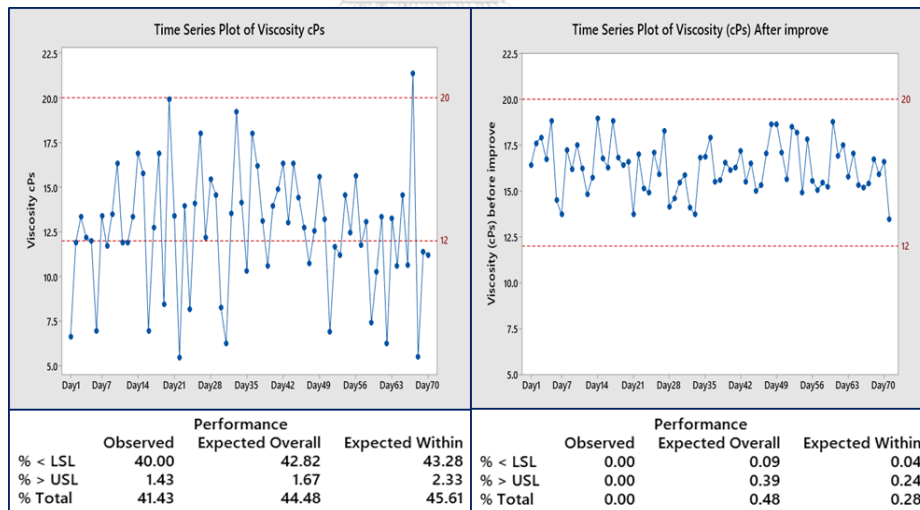
รูปที่ 61 กราฟข้อมูลปัจจัยนำเข้าของปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) หน่วย liter/min ก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ

3. ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) หน่วย liter/batch



รูปที่ 62 กราฟข้อมูลปัจจัยนำเข้าของปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) หน่วย liter/batch ก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ

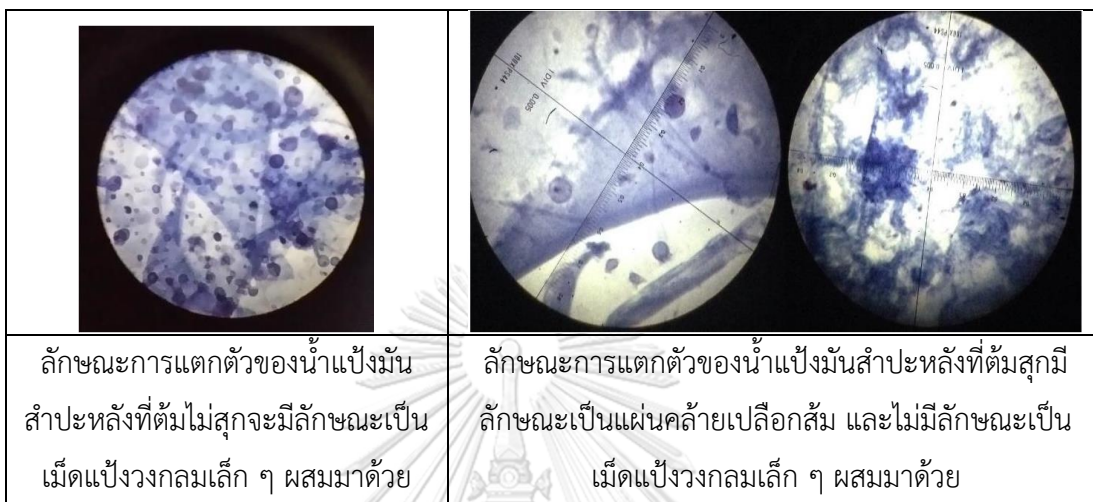
6.2.3 วิเคราะห์ผลทดสอบผลของของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแป้ง



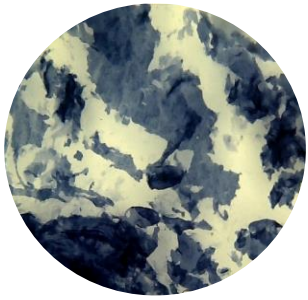
รูปที่ 63 กราฟข้อมูลของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแป้งก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการโดยของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแป้งก่อนการปรับปรุงเป็น 41.43% และของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแป้งหลังการปรับปรุงเป็น 0%

6.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของน้ำแข็งภายใน

จากผลการทดสอบยืนยันผลของค่าความหนืดของน้ำแข็งมันสำปะหลังแล้วนั้น ได้ทำการตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำแข็งมันสำปะหลังว่า แป้งสุกมีลักษณะการแตกตัวที่เหมาะสมหรือไม่ โดยจากการตรวจสอบพบว่าแป้งมีการแตกตัวที่เหมาะสมในทุก ๆ ค่าของปัจจัยนำเข้าดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 64 รูปแสดงลักษณะการแตกตัวของน้ำแข็งมันสำปะหลังที่ต้มไม่สุก และน้ำแข็งที่ต้มสุกร่วมนำไปเคลือบบนผิวหน้ากระดาษ

ปัจจัยนำเข้า			
ปริมาณ ความ เข้มข้นของ น้ำแข็ง (%) Solid Content)	ปริมาณสารเคมี ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂) หน่วย liter/min	ปริมาณ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO ₄) หน่วย liter/batch	ลักษณะการแตกตัวของน้ำแข็งมัน สำปะหลังสุก
11.35	3.75	4.0	

รูปที่ 65 รูปแสดงลักษณะการแตกตัวของน้ำแข็งมันสำปะหลังในแต่ละปัจจัยนำเข้าเพื่อยืนยันผล

6.4 สรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

จากผลการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมา ซึ่งสามารถกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม จากนั้นทำการตรวจสอบผลลัพธ์เทียบกับค่าควบคุมเพื่อทำการควบคุมไม่ให้กระบวนการออกนอกเส้นควบคุม โดยหากมีค่าออกนอกขอบเขตควบคุมต้องดำเนินการแก้ไขทันที โดยหลังจากการแก้ไขพบว่า ค่าความแปรปรวนของน้ำแข็งลดลงเท่ากับ 1.38 ค่าความหนืดของน้ำแข็งในค่าควบคุม 12-20 cPs ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.33 cPs และค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) เท่ากับ 1.03 ซึ่งจากการปรับปรุงสามารถลดการเกิดของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแข็งเป็น 0%



บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยได้นำเสนอแนวความคิดและการประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน ตั้งแต่ขั้นตอนการนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตเพื่อลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง เพื่อให้ความหนืดของน้ำแป้งอยู่ในค่าควบคุม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้คุณภาพกระดาษ โดยบทสรุปของขั้นตอนในการดำเนินงาน มีดังนี้

7.1 บทสรุปขั้นตอนการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษ ในโรงงานกรณีศึกษาเพื่อระบุปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสำคัญ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 – กรกฎาคม 2563 เมื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (process capability) พบว่าค่าความหนืดของแป้งที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพแป้งมีค่าเกินจากค่าควบคุม (Upper and lower specification) โดยคิดเป็นสัดส่วนของเสียร้อยละ 41.43 โดยมีค่าความหนืดเกินค่าควบคุมอย่างต่อเนื่อง (Chronic Problem) หากไม่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างถาวร จะทำให้บริษัทต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น สูญเสียชื่อเสียง เพราะสินค้าไม่ได้คุณภาพและอาจจะสูญเสียความน่าเชื่อถือจากการส่งมอบสินค้าที่ล่าช้าได้ จึงเป็นเหตุผลสำคัญในการที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นต่อไป โดยมีเป้าหมายในการลดความแปรปรวนของคุณภาพน้ำแป้ง (reduce variation) ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านความร้อนพร้อมฉาบผิวหน้ากระดาษ

7.2 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) ที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมกับน้ำแป้ง ส่งผลต่อความหนืดของน้ำแป้ง ซึ่งเมื่อความหนืดของน้ำแป้งมีค่าต่ำกว่าค่าการควบคุมจะส่งผลให้คุณภาพของแป้งที่ไปเคลือบผิวหน้ากระดาษมีคุณภาพต่ำ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกระดาษ โดยจากการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาพบว่าสิ่งที่ต้องปรับปรุงแก้ไขกระบวนการคือ วิธีการทำงานในการควบคุมปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมกับน้ำแป้ง ปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้ง

7.3 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

เมื่อทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนของการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งหมด 3 ปัจจัย มาทำการหาค่าตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความหนืดของน้ำแป้งอยู่ที่ค่ากลาง และหาค่าตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) และค่าหาตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (Response optimizer) จากการวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปพบว่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังให้อยู่ที่ค่ากลางคือความหนืดเท่ากับ 16 cPs ต้องมีปัจจัยนำเข้าดังนี้ ปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เท่ากับ 3.75 liter/min ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) เท่ากับ 4.0 liter/batch และความเข้มข้นของน้ำแป้ง 11.35 %

7.4 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

จากผลการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมา ซึ่งสามารถกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม จากนั้นทำการตรวจสอบผลลัพธ์เทียบกับค่าควบคุมเพื่อทำการควบคุมไม่ให้กระบวนการออกนอกเส้นควบคุม โดยหากมีค่าออกนอกขอบเขตควบคุมต้องดำเนินการแก้ไขทันที โดยหลังจากการแก้ไขพบว่า ค่าความแปรปรวนของน้ำแป้งลดลงเท่ากับ 1.38 ค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังอยู่ในค่าควบคุม 12-20 cPs ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.33 cPs และค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) เท่ากับ 1.03 ซึ่งจากการปรับปรุงสามารถลดการเกิดของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแป้งเป็น 0%

7.5 บทสรุปของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแป้งมันสำปะหลัง **ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย** โดยในงานวิจัยครั้งนี้จะดำเนินการศึกษาในเกรดกระดาษ II125 เนื่องจากมีสัดส่วนการผลิตต่อปีสูงที่สุด โดยจะมีประโยชน์ทั้งในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงสามารถลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้ง

ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 60

ค่าความแปรปรวนของน้ำแป้งลดลงเท่ากับ 3.46

ค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังอยู่ในค่าควบคุม 12-20 cPs ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.63 cPs

ค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) เท่ากับ 0.36

ของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแป้งเป็น 41.43%

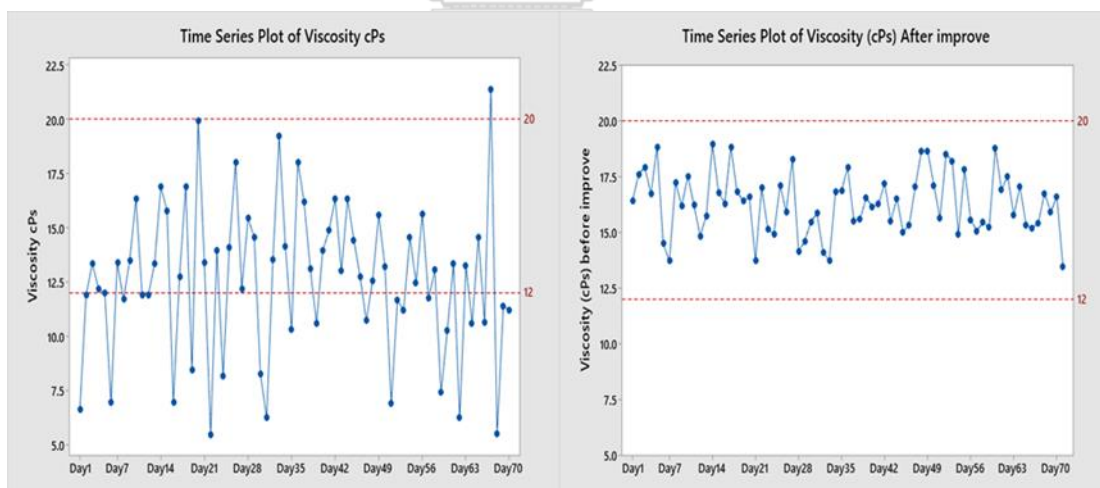
หลังการปรับปรุงกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 61

ค่าความแปรปรวนของน้ำแป้งลดลงเท่ากับ 1.38

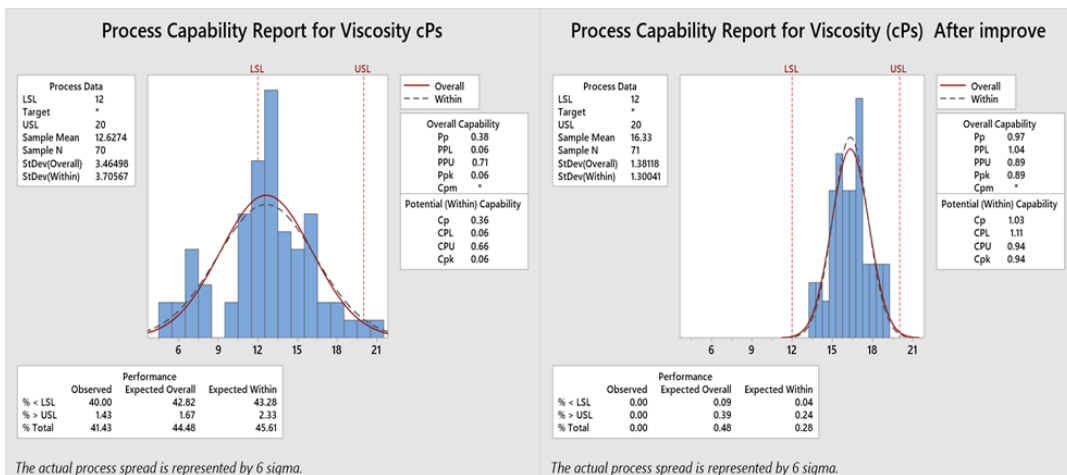
ค่าความหนืดของน้ำแป้งมันสำปะหลังอยู่ในค่าควบคุม 12-20 cPs ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.33 cPs

ค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) เท่ากับ 1.03

ของเสียที่เกิดจากการควบคุมความหนืดของน้ำแป้งเป็น 0%



รูปที่ 66 กราฟข้อมูลความหนืดของน้ำแป้งก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงกระบวนการ



รูปที่ 67 กราฟข้อมูลความสามารถของกระบวนการ และ %ของเสียในการควบคุมค่าความหนืดของน้ำแป้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืด

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดมากที่สุดอันดับที่ 1 คือ ความเข้มข้นของแป้งโดยวัดจากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเท่ากับ 3.562 ส่งผลในทางเพิ่มค่าความหนืดของแป้ง

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดมากที่สุดอันดับที่ 2 คือ ปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์โดยวัดจากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเท่ากับ 1.257 ส่งผลในทางลดค่าความหนืดของแป้ง

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดมากที่สุดอันดับที่ 3 คือ ปริมาณสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตโดยวัดจากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเท่ากับ 0.603 ส่งผลในทางลดค่าความหนืดของแป้ง

โดยแสดงดังสมการ สมการเส้นตรงเต็มรูป : $Y = \beta_0 + \beta_1X + \epsilon$

Viscosity cPs = -17.304 - 1.257 H2O2 - 0.603 CuSo4 + 3.562 %Solid

โดยทั้ง 3 ปัจจัยมีตัวชี้วัดความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความหนืดคือ R² มีค่าเท่ากับ 93.96 % และค่า P-Value < 0.05 แสดงว่าปริมาณสารเคมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และความเข้มข้นแป้ง (% Solid Content) เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของแป้งที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

7.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนกับแป้งมันสำล้งเพื่อให้แป้งมันสำปะหลังสุก ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาเลือกใช้อุณหภูมิ 115 °C เนื่องจากเป็นกลางของอุณหภูมิตามคู่มือของเครื่องจักร

2. เครื่องจักรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ของโรงงานกรณีศึกษา ในการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของความหนืดให้อยู่ในค่าควบคุม จะต้องทดลองบนเครื่องจักรทั้งหมดจริง ไม่สามารถจำลองในห้องปฏิบัติการได้ เนื่องจากอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการไม่สามารถที่จะต้มน้ำแป้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 115 °C แบบใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheat Steam) ทำให้ผลการทดลองและทดสอบที่ทำในห้องปฏิบัติการทดลองไม่เป็นไปตามข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นเทียบเท่ากับการทดลองในกระบวนการผลิตจริงบนเครื่องจักร (Mill Trial) ด้วยเหตุนี้ในการทดลองแต่ละครั้งในการเก็บข้อมูลจะขึ้นอยู่กับจำนวนการสั่งของลูกค้าในการผลิตกระดาษเกรดนั้น

บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Adebowale, A.-R. A., et al. (2013). "Effects of solid content and temperature on viscosity of tapioca meal." **50**(3): 573-578.

Debet, M. R. and M. J. J. C. P. Gidley (2006). "Three classes of starch granule swelling: Influence of surface proteins and lipids." **64**(3): 452-465.

Dias, A. R. G., et al. (2011). "Oxidation of fermented cassava starch using hydrogen peroxide." **86**(1): 185-191.

Janket, A., et al. (2018). "Seasonal variation in starch accumulation and starch granule size in cassava genotypes in a tropical savanna climate." **8**(12): 297.

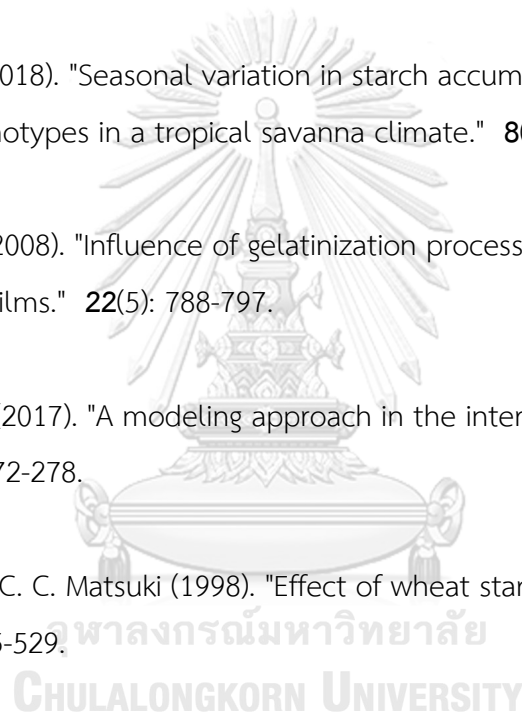
Paes, S. S., et al. (2008). "Influence of gelatinization process on functional properties of cassava starch films." **22**(5): 788-797.

Palabiyik, İ., et al. (2017). "A modeling approach in the interpretation of starch pasting properties." **74**: 272-278.

Sasaki, T. and J. J. C. C. Matsuki (1998). "Effect of wheat starch structure on swelling power." **75**(4): 525-529.

Vanier, N. L., et al. (2017). "Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review." **221**: 1546-1559.

Xiao, Y., et al. (2020). "Effect of Mesona chinensis polysaccharide on the pasting, rheological, and structural properties of tapioca starch varying in gelatinization temperatures."



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อธิตา บุญพร้อม
วัน เดือน ปี เกิด	20 เมษายน 2531
สถานที่เกิด	ปราจีนบุรี
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	210/4 หมู่ 2 ตำบลประจันตคาม อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี 25130
ผลงานตีพิมพ์	การลดความแปรปรวนของความหนืดในการเตรียมน้ำแ่งมันสำปะหลัง IE Network 2021

